

eSALENG

Revista Eletrônica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - Araçatuba (São Paulo)

ISSN 2448-1432



**Attribution-NonCommercial 4.0
International (CC BY-NC 4.0)**

**2019 - nº 8
2º Semestre**

Editorial

Chegamos ao final do ano de 2019, comemorando mais um ano exitoso de excelentes trabalhos, marca registrada resultante do incessante esmero que, à partir da Reitoria, Vice-Reitoria, Coordenações, Corpo Docente, Funcionários e Colaboradores desenvolvem na instituição em termos acadêmicos e científicos. E isto reflete no objeto foco do Unisalesiano, que é o acadêmico.

E aqui temos mais uma demonstração desta qualidade de trabalho. Os artigos permeiam diversos tipos de desenvolvimento tecnológico, abordando desde questões relacionadas à construção civil, até equipamentos para utilização industrial e, ainda, soluções para a saúde humana e animal.

Com isto, acreditamos que o Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Unisalesiano de Araçatuba, uma vez mais, cumpre com destaque e louvor seu papel social, não apenas em nível local e regional mas, sobretudo, atingindo alcance nacional e até internacional.

Neste sentido, à partir da primeira edição de 2020 teremos a participação e contribuição para a Revista eSALENG, de docentes de outras instituições, do Brasil e do exterior, quer na modalidade de referee, quer como colaboradores em artigos. Obviamente que, nesta configuração, teremos também a importante contribuição de acadêmicos de outras instituições.

Com isto acreditamos que o Unisalesiano ganha espaço, território de atuação em outros contextos, podendo, desta maneira, levar não apenas o nome da instituição secular mas, também, termos a rica e impar oportunidade de crescer, de expandir e de ampliar nossos horizontes científicos, acadêmicos.

Também dentro desta configuração vindoura, teremos o aporte técnico de empresas, no que diz respeito à publicação técnico-científica. Com isto, a academia aproxima-se ainda mais de seu tripé raiz “Ensino-Pesquisa-Extensão”.

Os Editores.

Sumário

Engenharia Civil

Análise da viabilidade estrutural de ligações soldadas e parafusadas em estruturas metálicas	5
---	----------

Beatriz Procópio Corazza, Eduarda Voltani de Abreu, Gabriela Alves dos Santos, Cleverson Arenhart

Análise experimental da aplicabilidade do RCD de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural em concreto massa	21
---	-----------

Rodrigo Andraus Bispo, Vinícius Keithy Higa Saito, André Lúis Gamino

Estudo comparativo entre duas estruturas de telhado para área de lazer, em aço e madeira convencional	40
--	-----------

Jonas Henrique Toyama Liria, Jonathan Cavalcante dos Santos, José David da Silva Terto, Luiz Felipe de Castro Antiqueira, Cleverson Arenhart

Utilização parcial e total de resíduos cinza no concreto auto adensável	76
--	-----------

Damareo Mariano P. Montanholi, Gisele Fugi Barufaldi, André Luis Gamino

Engenharia da Computação

Controle de entrada de alunos utilizando reconhecimento biométrico multi facial	98
--	-----------

Andrew Santana Castilho, Bruno Jyun Kometani, Thayrone de Moraes Costa, James Clauton da Silva

Interpretador de livros destinado a pessoas com deficiência visual ou baixa visão	109
--	------------

Lucas da Silva, James Clauton da Silva

Protótipo de prótese inferior controlada por pulsos musculares com o emprego de microcontroladores	123
---	------------

Danilo Sotto de Lima, Eduardo Lucas Mignoli Zanardo, Nicolás Bonfim dos Santos, James Clauton da Silva

Sistema integrado de segurança com reconhecimento facial adjunto de aplicação mobile	141
---	------------

Henrique dos Santos Garcia Proença, Marco Aurélio Ribeiro Rodriguero, Pedro Henrique Moreira Delamura, James Clauton da Silva

Sistema de alerta anticolisão frontal de automóveis	154
--	------------

Fabício Antônio Alexandre, Rafael de Souza Capelari, James Clauton da Silva, Amadeu Zanon Neto

Think 168

Luan Martins Mendes Rodrigues, Guilherme Giacomo Simões, Raul Juliete Sant'Ana, James Clauton da Silva.

Contraste nas transmissões de dados indoor entre cabo metálico de par trançado e Power Line Communication 181

Walter Braga Gois, Alexandre Marcelino da Silva, José Vital Ferraz Leão

S.A.C.P.C.A (Sistema de Automação e Controle de Processos para Cerveja Artesanal) 195

João Miguel Marinho Fornazieri, Alexandre Marcelino da Silva

Sistema de Segurança Automotivo Baseado em Reconhecimento Facial212

Fernanda Imaculada Pimenta, Joabe de Lima Souza, Liniker da Silva de Brito, Alexandre Marcelino da Silva, Fernando Gabriel Eguía Pereira Soares

Dispositivo Vestível Inteligente para Detecção de Quedas e Envio de Alertas em Tempo Real 228

Jonathan Manoel Pessoa, Samuel Antonio Rodrigues Carbalan, Anderson Kanegae Soares Rocha

Uma Solução utilizando a Rede LoRa para Geolocalização de Cães e Gatos 244

Israel José Mameli, Jean Carlos de Carvalho Gentil, Rosane Damaceno Rodrigues, Anderson Kanegae Soares Rocha

Princípios de Usabilidade e Design em IHC: Avaliação de Interface e apontamento de melhorias de acordo com as Heurísticas de Nielsen 256

Paula Alexandra Pavani, Lucilena de Lima, Francisco Antonio de Sousa

Engenharia Mecânica

Desenvolvimento e projeto de uma policorte automatizada 274

Artur Quessa de Souza, Gilson Roberto Criolézio Rodrigues Filho, José Erinaldo Alves Da Silva, José Matheus Viana Xavier, Kauê Fernandes de Oliveira, Lucas Loverdi, Marcelo Junior Rodrigues, Thiago Santana Aranha

Projeto e desenvolvimento de máquina de roscas helicoidais 291

Lucas Badaró Silva Rodrigues, Fernando Gabriel Eguía Pereira

Desenvolvimento e prototipação de exoesqueleto para neuroreabilitação de membros superiores 300

Alan Borges Ramos, Dyogo Henrique Pereira da Silva, Fabricio Consoni Bardella, Guilherme Hernandes Dias Meira, Kphefciana Garbossa Sena Rossi, Lucas César Araújo Galves, Flávio Medina Favarin, Jander Dantas Ferreira, André Tiago de Oliveira Canuto, Nelson Hitoshi Takiy, Carla Komatsu Machado, Fernando Henrique Alves Benedito, Edval Rodrigues Viveiros

Engenharia Mecatrônica

Dispositivo para reabilitação de pacientes em leitos hospitalares 318

Felipe Ferreira Doná, Jair de Almeida Pereira, Juliana Lima Rodrigues, Lucas Xavier, Thiago Santana Aranha

Cirurgia robótica através do robô da Vinci 333

Bruno Gines, Tiago Henrique Teixeira, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Estudo de Viabilidade de Chapisco Automatizada de Camisas de Moendas 345

Aguinaldo Iglesias, Felipe Saturnino Tonheiro Carlos, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Análise da viabilidade estrutural de ligações soldadas e parafusadas em estruturas metálicas

Analysis of the structural feasibility of welded and bolted connections in metallic structures

Cleverson Arenhart ¹

Beatriz Procópio Corazza ²

Eduarda Voltani de Abreu ³

Gabriela Alves dos Santos ⁴

RESUMO

O presente estudo abordou ensaio de chapas de aço submetidas a tração, com ligações soldadas e parafusadas. O objetivo desse estudo foi comparar os resultados obtidos em cálculo com os resultados obtidos em ensaio. Assim, conclui-se que as ligações soldadas possuem melhor custo-benefício do ponto de vista econômico, pois exigem menos materiais em sua confecção por conseguinte menor rigor e tempo na fabricação. E quanto as ligações parafusadas, foi possível constatar que tais conexões são mais resistentes e possuem maior agilidade na montagem em campo.

Palavras-chave: Eletrodo Revestido, Ligações Metálicas, Ligações Parafusadas, Ligações Soldadas, Parafusos Estruturais, Tração Direta.

ABSTRACT

The present study approached the test of steel plates subjected to traction, with welded and bolted connections. The objective of this study was to compare results of assays in calculation with results of components. Therefore, it is concluded that welded connections are more cost-effective from an economic point of view, since such connections require less materials and therefore less accuracy and time in the fabrication. As for the bolted connections, it was possible to verify that such connections are more resistant and have greater agility in the assembly field.

Keywords: Coated Electrode, Metallic Connections, Bolted Connections, Welded Connections, Structural Bolts, Direct traction.

¹ . Especialista em docência de ensino superior, Engenheiro Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba SP. Orientador.

² Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

³ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

⁴ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

INTRODUÇÃO

As vantagens da estrutura metálica (Figura 1) na construção civil são muitas, por exemplo, canteiros de obras mais organizados e limpos, alívio de fundações, qualidade e segurança, agilidade de execução, constante desenvolvimento em tecnologias específicas, correspondência com inúmeros materiais de fechamento, adaptabilidade e flexibilidade, economia global, possibilidade de vencer grandes vãos com estruturas leves e esbeltas, vantagens econômicas, estruturais e inclusive arquitetônicas (MENDES, 2008, p.1).

Porém, para construir utilizando estruturas metálicas, conexões metálicas tornam-se indispensáveis, as chapas e perfis laminados fornecidos pelas siderúrgicas aos fabricantes de estruturas metálicas possuem dimensões padronizadas, portanto a produção da peça estrutural, nas dimensões do projeto, irá requisitar cortes e conexões desses materiais (DIAS, 2008, p.101).

O projeto de ligação pode influenciar consideravelmente no custo da estrutura; o tipo de conexão deve ser selecionado levando-se em conta: comportamento da conexão, limitações construtivas, facilidade de fabricação, e montagem (DIAS, 2008, p.101). As ligações metálicas podem ser divididas em duas categorias, ligações com soldas, ou soldadas e ligações parafusadas.



Figura 1. Estrutura metálica. Fonte: autores.

Ligações soldadas podem ser definidas como técnica de união dois ou mais elementos constitutivos de um todo, proporcionando entre estas, o seguimento do

material e, em consequência, seus traços mecânicos e químicos. Geralmente a fusão do aço é ocasionada pelo calor produzido por um arco voltaico, que usualmente se dá entre o eletrodo metálico e o aço a se soldar, tendo deposição do eletrodo (PFEIL, 2009, p. 90).

As vantagens que a soldagem oferece, elimina antigos receios relacionados à fissura e fadiga, sendo os principais benefícios: economia de material, devido ao aproveitamento total de materiais; eliminação de grande porcentagem de chapas de ligação, o que em determinadas estruturas possibilita a economia de 15% ou mais de peso do aço; rigidez em razão de ser uma ligação direta, facilidade de alterações e correções de falhas, e menor tempo de detalhe. (BELLEI, 2010, p. 37).

As desvantagens dessa ligação são: rigidez, devido a necessidade de conexões simples com pouca resistência ao momento fletor, estruturas grandes sofrem redução no comprimento devido aos efeitos acumulativos de retração; emprego de geradores para acionar as máquinas em razão da energia elétrica insuficiente no local da montagem; maior análise de fadiga, o que poderia reduzir as tensões admissíveis em níveis baixíssimos; e exigência de um tempo maior de fabricação e montagem (BELLEI, 2010, p. 37).

As ligações parafusadas, assim como as soldadas são muito utilizadas, possuem vantagens e desvantagens, entre elas, as vantagens são: não é necessário muitas pessoas para a instalação (duas pessoas), agilidade nas ligações em campo, utiliza pouca energia para o seu enfatuamento, melhor resultados em tensões de fadiga; as desvantagens são: a quantidade de parafusos deve ser exata para não faltar, as vezes há a necessidade de montar em fábrica para que haja o encaixe perfeito das peça, necessidade de verificação de área líquida e de esmagamento para se caso necessário seja feito o reforço da peça (BELLEI, 2010).

Os parafusos de alta resistência são os mais utilizados juntamente a solda em peças com grandes cargas e nas principais ligações da estrutura sujeita a cargas dinâmicas. Também pode haver o esmagamento das chapas que compõem a ligação, devido às resistências das placas não forem o suficiente para as resistências dos parafusos, caso não haja a devida verificação pode haver o rasgamento da placa estando em conexões por contato (PFEIL, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados para a realização do trabalho são: *Máquina de ensaio de tração Universal Série 23* (Figura 2), utilizada para obtermos efeito de tração nos corpos de prova.



Figura 2. Máquina de ensaio de tração (Máquina Universal Série 23). Fonte: autores.

Máquina Hylong (figura 3), utilizada para realizar a soldagem tipo filete nos corpos de prova.



Figura 3. Máquina de solda (Máquina Hylong). Fonte: autores.

Corpos de prova cortados ao meio e com duas chapas de ligação, conforme mostra a figura 4.



Figura 4. Chapa de aço ASTM A-36. Fonte: autores.

Eletrodo revestido E-60 (figura 5), utilizado para soldagem dos corpos de prova.



Figura 5. Eletrodo revestido E-60. Fonte: autores.

Parafuso comum A307 (Figura 6) empregado nos corpos de prova de ligações parafusadas.



Figura 6. Parafuso comum. Fonte: autores.

Parafuso comum fora da norma (Figura 7) empregado nos corpos de prova de ligações parafusadas.



Figura 7. Parafuso comum fora da norma de estruturas. Fonte: autores.

Máquina Piranha (figura 8), utilizada para perfuração dos corpos de prova.



Figura 8. Furadeira de bancada (Máquina Piranha). Fonte: autores.

Métodos

Foram analisadas de acordo com a NBR 8800 (2008) as resistências em chapas de aço quando submetidas a esforços axiais de tração; tendo como protótipos chapas de aço 5 mm soldadas em sanduíche com eletrodo revestido (E-60), obtendo-se as resistências máximas das soldas subdimensionadas, dimensionadas e superdimensionadas; chapas de aço 5 mm parafusadas em sanduíche com parafusos A307 para dois ensaios, sendo esses o dimensionado e

outro para efeito de rasgamento. Também foram utilizados chapas de aço 5 mm parafusadas em sanduíche com parafusos comuns, fora da norma de estrutura. Os ensaios de tração foram realizados por meio da máquina Universal Série 23 (Figura 2).

Os corpos de provas soldados em formato sanduiche, foram preparados pelo processo de soldagem elétrica através da máquina de solda Hylong (Figura 3) com eletrodo revestido E-60 (Figura 5), a solda realizada foi a tipo filete de 45°, como mostra a figura 9.

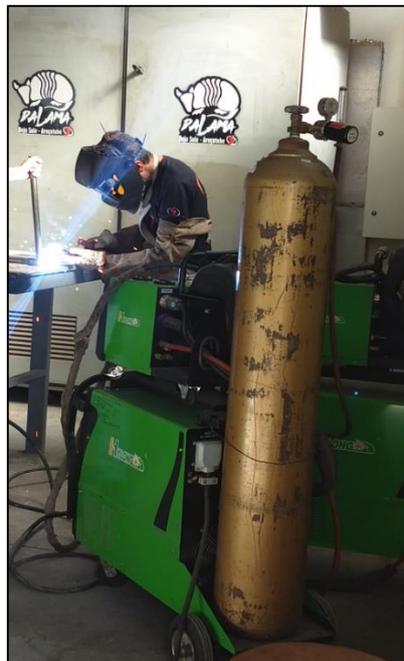


Figura 9. Soldagem dos corpos de prova. Fonte: autores.

Para as ligações soldadas foram produzidos para efeito de ensaio três tipos de corpos de prova (Figura 10), sendo estes respectivamente: corpo de prova subdimensionado, no qual a solda foi realizada propositalmente numa quantidade menor que a necessária para a resistência da ligação sendo assim, não obedecendo as diretrizes da norma de dimensionamento NBR 8800 (2008); corpo de prova dimensionado, onde a soldagem foi executada precisamente de acordo com as especificações da NBR 8800 (2008); e no corpo de prova superdimensionado a solda foi efetivada de forma superior a quantidade necessária, consequentemente não obedecendo as prescrições de dimensionamento da NBR 8800 (2008), entretanto favorecendo a segurança da ligação.



Figura 10. Corpos de prova soldados. Fonte: autores.

Para as ligações parafusadas do mesmo modo foram preparados para efeito de ensaio três corpos de prova como mostra a figura 11, sendo estes respectivamente: corpo de prova parafusado com parafusos fora da norma de estruturas, desobedecendo então as diretrizes de dimensionamento da NBR 8800 (2008); corpo de prova parafusado com parafusos comuns A307 realizado de acordo com as regras da NBR 8800 (2008); e corpo de prova parafusado com parafusos comuns A307, entretanto dimensionado ao rasgamento de forma a não respeitar as prescrições de dimensionamento de ligações parafusadas da NBR 8800 (2008).



Figura 11. Ligações com conectores. Fonte: autores.

Os ensaios foram realizados por meio da máquina de ensaio de tração Universal Série 23 (Figura 2), onde os corpos de prova foram submetidos a esforços axiais de tração, como demonstra a figura 12.



Figura 12. Corpo de prova modelo sendo submetido a tração. Fonte: autores.

Após a realização dos experimentos foi possível perceber as características de rompimento de cada um dos corpos de prova ensaiados, a figura 13 apresenta os corpos de prova soldados subdimensionado, dimensionado e superdimensionado, respectivamente, rompidos após o ensaio de tração realizado na máquina Universal Série 23 (Figura 2).



Figura 13. Corpos de prova soldados rompidos. Fonte: autores.

A figura 14 demonstra os corpos de prova parafusados rompidos após o ensaio de tração realizado na máquina Universal Série 23 (Figura 2), respectivamente, corpo de prova parafusado com parafusos forma da norma de estruturas, corpo de prova parafusado com parafusos comuns A307 preparado de acordo com as regras da NBR 8800 (2008), e corpo de prova parafusado com

parafusos comuns A307, dimensionado ao rasgamento não respeitando as normas de dimensionamento da NBR 8800 (2008).



Figura 14. Corpos de prova parafusados rompidos. Fonte: autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho apresentou o dimensionamento de dois tipos de ligações: ligações parafusadas e ligações soldadas.

O estudo foi embasado na norma NBR 6152 (2002) e NBR 8800 (2008) para efeito de comparação, as quais tratam-se sobre aos esforços atuantes e os esforços resistentes de cálculo para ligações soldadas e ligações parafusadas, quando submetidas a esforços axiais de tração.

Após análises do dimensionamento das ligações soldadas alcançamos os objetivos com os seguintes resultados (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados obtidos em ligações soldadas.

	Resultados resistentes calculados da solda (esperados)	Resultados calculados da chapa	Resultados obtidos em ensaio
Solda Subdimensionada	13,4 kN	25,9 kN	22,2 kN
Solda Dimensionada	25,82 kN	25,9 kN	38,01 kN
Solda Superdimensionada	99,1 kN	25,9 kN	43,15 kN

Fonte: autores.

Para o corpo de prova com solda subdimensionada (Figura 15), os cálculos alcançaram o rompimento na solda com a resistência de 13,4 kN. No ensaio o corpo de prova subdimensionado alcançou-se o rompimento na solda com 22,2 kN, portanto a resistência no ensaio foi um pouco maior que a calculada.

Contudo o objetivo foi atingido, pois a solda não superou a resistência da chapa de 25,9 kN.



Figura 15. Corpo de prova soldado subdimensionado. Fonte: autores.

O corpo de prova dimensionado (Figura 16) rompeu na solda como previsto, porém atingiu o objetivo, superando o esforço de 25,9 kN, obtendo uma resistência de 38,01 kN no ensaio.



Figura 16. Corpo de prova soldado dimensionado. Fonte: autores.

No corpo de prova superdimensionado (Figura 17), a resistência calculada para a solda foi de 99,1 kN e no ensaio a chapa rompeu ao atingir 43,15 kN, alcançando o objetivo, pois a solda teve uma resistência maior que a resistência da chapa.



Figura 17. Corpo de prova soldado superdimensionado. Fonte: autores.

Comparação dos rompimentos de ligações soldadas: superdimensionada, dimensionada e subdimensionada respectivamente demonstrado na figura 18.



Figura 18. Comparação de rompimentos das ligações soldadas. Fonte: autores.

Nas ligações parafusadas, os resultados calculados foram expostos na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados obtidos em ligações parafusadas.

	Resultados resistentes calculados do parafuso (esperados)	Resultados calculados da chapa	Resultados obtidos em ensaio
Dimensionado com parafusos fora de norma	79,8 kN	25,9 kN	66,39 kN
Dimensionado com parafusos A307	66,22 kN	25,9 kN	59,28 kN
Submetido ao efeito rasgamento	66,22 kN	12,45 kN	30,63 kN

Fonte: autores.

O dimensionamento de 66,22 kN utilizando o parafuso A307, que ultrapassa a resistência de chapa de 25,9 kN, assim ocasionou o rompimento da chapa; quando utilizado o parafuso fora da norma de estrutura, tem-se a resistência de 79,8 kN, porém devido à diferença de resistências, tipo de material do parafuso e o tipo de material da chapa A-36, ocorreu o rompimento dos parafusos, como era previsto. Quanto ao corpo de prova parafusado com o parafuso A307, foi submetido ao efeito de rasgamento, obteve-se uma resistência de 12,45 kN, devido a isso alcançamos o esperado rasgamento da chapa. Ainda, o corpo de prova dimensionado com parafusos A307, conforme (Figura 19), obteve resistência de 59,28 kN na chapa, porém ainda não havia chegado na resistência do parafuso, assim atingiu-se o objetivo de romper a chapa.

**Figura 19.** Corpo de prova o dimensionado com parafuso A307. Fonte: autores.

O corpo de prova em que foi utilizado parafusos fora da norma (Figura 20) alcançou resistência de 66,39 kN, porém romperam-se os parafusos atingindo o objetivo, e mostrando a importância da utilização de parafusos dentro das normas para estruturas.



Figura 20. Corpo de prova parafusado com parafusos da norma. Fonte: autores.

E o corpo de prova submetido ao rasgamento (Figura 21) obteve resistência de 30,63 kN, e alcançou o rasgamento na chapa.



Figura 21. Corpo de prova submetido ao rasgamento. Fonte: autores.

Comparação dos rompimentos ligações parafusadas: dimensionada com parafuso fora da norma, dimensionada com parafuso A307 e submetida ao rasgamento respectivamente demonstrado na figura 22.



Figura 22. Comparação de rompimentos das ligações parafusadas. Fonte: autores.

CONCLUSÕES

O trabalho tratou sobre o dimensionamento de dois tipos de ligações metálicas: soldadas e parafusadas.

Os resultados obtidos neste trabalho de conclusão de curso, mostraram que as ligações soldadas têm melhor custo-benefício com relação à materiais, e exigem menos rigor e tempo na fabricação dos elementos. Os perfis serão cortados tanto em fábricas ou canteiros e conduzidos para o local da obra; mas para a realização da soldagem faz-se necessário um profissional qualificado e a disponibilidade de cabos, geradores ou máquinas de soldas próximas aos pontos de soldagens, que na maioria das vezes são elevados, o que exigiria maior tempo no uso de guindastes.

No caso das ligações parafusadas, se mostraram mais resistentes que as ligações soldadas, e tem agilidade maior na montagem em campo, mas devido a perfurações dos perfis e chapas de ligação que geralmente são feitos em fábricas ou locais devidamente protegidos nos canteiros de obras, pode haver um atraso na fabricação, o que por consequência poderia atrasar a obra e elevar valores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6152: Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente – Procedimento. Rio de Janeiro, 2002.

NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço de edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2008.

ALMEIDA, Pedro H. V. Estudo e verificação de ligações metálicas parafusadas e soldadas. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, Brasília.

BELLEI, I. H. Edifícios Industriais em Aço, Projeto de Cálculo. 6. ed. São Paulo: Pini, 2010.

DIAS, L. A. M. Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem. 6. ed. São Paulo: Ziguarte, 2008.

MAYOR, I. M. S. Análise teórica-experimental de ligações tipo “k” e “kt” compostas por perfis tubulares de seção retangular e circular. Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA/CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO Ligações em estruturas metálicas (Série Manual de Construção em Aço). 3. ed. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2004.

MOLITERNO, A. Elementos para Projetos em Perfis leves de aço. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1989.

PEIXOTO, D. S. L. Patologia em elementos de ligação de estruturas metálicas. 2012. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Aço. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PIGNATTA, V. S. Dimensionamento de estruturas de aço, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica - Escola Politécnica. São Paulo, 2012.

PINHEIRO, A. C. F. B. Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005.

RODRIGUES, G. J. O. Notas de aula de estruturas metálicas, 2010.

Análise experimental da aplicabilidade do RCD de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural em concreto massa

Experimental analysis of applicability of red ceramics CDW in substitution to the natural fine aggregate in concrete paste

Rodrigo Andraus Bispo¹
Vinícius Keithy Higa Saito¹
André Luís Gamino²

RESUMO

A necessidade por materiais de construção civil devido ao alto ritmo construtivo implica em uma elevação da demanda da exploração mineral a fim de suprir tais condições. Junto a isto estão as formas irregulares de descarte do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) em locais inapropriados, causando danos irreversíveis ao meio. Faz-se necessária a implementação de métodos alternativos para reduzir o descarte e a exploração mineral de bens finitos. O emprego de RCD em concretos massa apresenta-se como solução, no entanto, depende do estudo de formas de implementação, visando um maior índice de aproveitamento dos materiais descartados e uma alta performance do produto de origem reciclada. Este projeto teve por finalidade a reciclagem de RCD de cerâmica vermelha, realizando-se sua caracterização e substituição gradual em forma de agregado miúdo em traços de concreto. Foram realizadas as etapas de coleta, seleção prévia e limpeza dos resíduos coletados em obras na cidade de Araçatuba-SP e posteriormente ensaios de granulometria, massa específica ($2,26 \text{ g/cm}^3$), absorção de água (7,29%) e teor de umidade (2,67%) que apontaram para índices próximos aos dos agregados naturais, viabilizando a substituição gradual em traços de concreto com diferentes classes de resistência. Os corpos de prova cilíndricos, moldados com agregado natural e reciclado, foram ensaiados à compressão axial aos 28 dias de idade e seus valores de resistência comparados com os traços controle. Os resultados apontaram para um ganho de resistência sucessiva conforme o aumento no percentual de inclusão. Notou-se que o ganho absoluto de resistência se deu nos dois traços, no entanto o efeito do ganho relativo é de maior representatividade nos traços de 5 MPa atingindo índices de 11,57 MPa quando substituído 15% de agregado natural pelo reciclado proposto.

Palavras-Chave: resíduo de construção e demolição de cerâmica vermelha; agregado miúdo reciclado; massa específica; agregado saturado superfície seca; concretos massa.

ABSTRACT

The need for construction materials due to the high constructive rate implies in a rise on demands for mineral exploration in order to meet such conditions. Along it are irregular forms for Construction and Demolition Waste (CDW) disposal in

¹ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

² Engenheiro Civil, Professor Doutor do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

inappropriate locals, causing irreversible damage to the environment. It is necessary to implement alternative ways to reduce the disposal and mineral exploitation of finite goods. The use of CDW on concrete paste is presented as a solution, however, it depends on the study on the ways of implementing, aiming a higher utilization rate of discarded materials and a higher performance from products of recycled origin. This work aims to recycle red ceramic CDW, performing its characterization and gradual replacement as fine aggregate in concrete mixtures. The stages of collection, previous selection and cleaning of the collected waste from constructions in the city of Araçatuba-SP were carried out, followed by tests for granulometry, specific gravity ($2,26 \text{ g/cm}^3$), water absorption (7,29%) and moisture content (2,67%), which indicated levels close to the natural aggregates, enabling the gradual substitution in concrete mixtures with different resistance classes. The cylindrical proof bodies, molded with natural and recycled aggregate, were tested in axial compression at 28 days of age and their resistance values compared to the control mixtures. The results indicated a successive resistance gain according to the increase in the percentage of inclusion. It was noted that the absolute gain occurred in the two mixtures, however the effect of the relative gain is of greater representativeness in the 5 MPa mixtures reaching levels of 11,57 MPa when substituted 15% of natural aggregate was replaced by the proposed recycled one.

Key-words: construction and demolition waste of red ceramic; fine recycled aggregate; specific gravity; saturated surface-dry aggregate; concrete paste.

Introdução

Ao decorrer da história, a população mundial veio a sofrer um grande aumento seguido de um maior consumo de bens materiais por conta da demanda, e por tal razão, a exploração de recursos fornecidos pelo meio ambiente tornou-se excessiva, assim como a quantidade de resíduos e de entulhos que degradam o meio ambiente (DIAS apud LIRA *et al.*, 2013). Notadas as consequências danosas provocadas por uma extração abusiva dos recursos naturais e de descartes inadequados, houve a necessidade de se criar métodos de reaproveitamento dos bens já descartados, de modo a reduzir o impacto do ser humano sobre o meio ambiente.

No setor da construção civil, materiais provenientes de extração mineral são utilizados em larga escala, considerando que boa parte das atividades praticadas pelo setor faz-se necessário o uso destes. Dentre os materiais encontrados com maior frequência em um canteiro de obras, estão os agregados, classificação dada a materiais minerais na forma de partículas, cuja ação química é considerada praticamente inexistente, e que pode ser encontrada em diversas proporções (BAUER, 2015a).

Além dos agregados, outros materiais de construção largamente utilizados são as cerâmicas, ou seja, aqueles que possuem argila em sua composição. Os materiais cerâmicos podem ser classificados conforme o seu uso, como também a partir da matéria-prima a ser usada em sua fabricação (cerâmica vermelha, cerâmica branca, entre outros) (BAUER, 2015b; ABCERAM, 2018).

O crescimento da indústria da construção civil no perfil econômico de uma nação é a indicação de desenvolvimento, porém também indica a degradação do meio ambiente (RODRIGUES *et al.*, 2014).

A quantidade de RCD produzido é correspondente a 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados (ANGULO, 2005). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), em 2016, a quantidade de RCD coletado em todo Brasil era de aproximadamente 120 mil toneladas por dia, evidenciando assim, um grande aumento quando comparado ao ano de 2007, no qual a coleta era de aproximadamente 72 mil toneladas por dia. Os dados apresentados pela ABRELPE não incluem os RCD descartados irregularmente, dessa forma, a quantia gerada torna-se ainda maior.

Dentre os RCD produzidos, grande parte é correspondente aos materiais cerâmicos. Segundo Battistele *et al.* (2006), na cidade de Bauru-SP os materiais cerâmicos são o segundo produto mais descartado, correspondente a 31% do total de RCD gerados na cidade. Em São Carlos-SP, estes também se constataram como segundo produto com maior número de descartes, correspondente a 19% do valor total (NETO *et al.*, 2010).

A reciclagem de RCD tem se mostrado viável e de grande importância, isso pelo fato de ainda existir dificuldade no descarte adequado (RODRIGUES *et al.*, 2014). A possibilidade de obtenção de novas alternativas de agregados para a manufatura de concreto também tem elevado o interesse pela reciclagem de RCD, isso por conta de que, segundo Cabral (2007), certas regiões têm apresentado escassez de materiais mineralógicos.

A obtenção de agregados miúdos reciclados (AMR) tem apresentado maior relevância do que a obtenção dos agregados graúdos reciclados (AGR), isso se deve ao fato de que a substituição do agregado miúdo aparentou variações favoráveis nas propriedades mecânicas do concreto, diferentemente da substituição pelo agregado graúdo, segundo pesquisas realizadas por Leite (2001).

Agregados reciclados formados por resíduos de cerâmicas apresentam um consumo superior de água à mistura em comparação aos agregados naturais, porém devidos a sua possível atividade pozolânica na mistura, mencionada por Leite (2001), o concreto produzido com a substituição de agregados miúdos naturais pelos reciclados, apresenta melhora em suas propriedades mecânicas, principalmente em concretos com maior idade (SCHULZ apud CABRAL, 2007).

Materiais e métodos

O presente trabalho contou com ensaios físicos que foram realizados atendendo às respectivas exigências normativas da ABNT e cumprindo as normas de utilização do Laboratório Multidisciplinar de Engenharia e Arquitetura do Centro Universitário Católico UniSALESIANO de Araçatuba – SP.

O resíduo utilizado foi proveniente de suscetíveis coletas que buscaram captar a maior quantidade de RCD de diferentes origens, visando alcançar uma maior variabilidade do material, uma vez que o tipo de obra influi no tipo de resíduo gerado. Com toda a amostragem coletada, deu-se início ao processo de seleção para a identificação dos resíduos de construção e demolição com base cerâmica vermelha, tais como telhas e blocos cerâmicos.

Após coleta e seleção, o material passou por limpeza para eliminação de elementos alheios ao estudado. Esta limpeza se deu por imersão em água e posterior exposição solar.

Com isto, se iniciou o processo de britagem, com auxílio de um reciclador de entulho, Modelo: Queixada 200, N. 282, FAB: 02/2014 da marca VEGEDRY. Tal britagem foi realizada com todo o material recolhido, a fim de aproximar o diâmetro das partículas britadas ao intervalo granulométrico de areia média especificado na NM 248 (2009).

Em seguida foi realizado o ensaio granulométrico do material britado (Figura 1) seguindo a NM ISO 2395 (1997). Foram utilizadas dez peneiras com seus valores de abertura de malhas em milímetros (Tabela 1). A vibração do conjunto de peneiras se deu com auxílio da mesa vibratória da marca ENGETEST 220V e o tempo do ensaio foi de 60 (sessenta) segundos para cada amostra de 1 (um) quilograma.



Figura 1 - Resíduo de construção e demolição de cerâmica vermelha britado.

Fonte: autores.

Tabela 1 - Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio granulométrico das amostras de RCD de cerâmica vermelha britado

Peneiras	ABNT/ASTM	Abertura (mm)	Tara(g)
1	8	2,36	358,2
2	16	1,18	396,4
3	20	0,85	407,6
4	30	0,6	341,5
5	40	0,425	368,6
6	50	0,3	337,6
7	70	0,212	349
8	100	0,15	346,7
9	140	0,106	312,3
10	200	0,075	340,2
Fundo		-	319,5

Fonte: autores.

Todo o resíduo coletado passou pelos processos de britagem e peneiramento acima especificados a fim de traçar a curva granulométrica da amostra estudada. O peneiramento contou, a partir de então, com apenas duas peneiras. A primeira delas, a de número 16 (ABNT/ASTM), logo abaixo a 50 (ABNT/ASTM) e por fim o fundo do jogo de peneiras.

Com este processo foram obtidos três grupos de resíduos conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Característica e critérios de aproveitamento dos grupos de resíduos encontrados após peneiramento

Grupo de Resíduos	Características dos Grupos	Critérios de Aproveitamento	Diâmetro dos Grãos (mm)
1	Retidos na peneira 16	Segunda Britagem	$d > 1,2$
2	Retidos na peneira 50	Aproveitamento Imediato	$1,2 > d > 0,3$
3	Depositados no fundo	Descarte	$d < 0,3$

Fonte: autores.

Fez-se necessária uma segunda britagem para maior aproveitamento dos resíduos de granulometria elevada. Este procedimento foi repetido até que o material retido na peneira 16 (ABNT/ASTM) fosse de massa desprezível ao experimento.

Com todo o material britado e peneirado obteve-se o agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha no intervalo granulométrico de areia média. Este agregado reciclado foi, a partir de então, ensaiado quanto à massa específica do agregado na condição saturado superfície seca da maneira prescrita pela NM 52 (2009).

Para tanto, foi necessário levar em consideração a condição de estado de Agregado Saturado Superfície Seca (SSS). Tal condição se caracteriza por apresentar partículas do agregado sem possibilidade de absorver mais água, mantendo, no entanto, a superfície seca. As partículas de água que estão contidas nos poros do grão não influem nas reações químicas do processo (NEVILLE, 2013).

Fez-se necessária uma amostra de 1 (um) quilograma de agregado miúdo de RCD, obtida através de quarteamento, guardando as prescrições da NM 27 (2001) (Figura 2).



Figura 2 - Quarteamento do agregado miúdo de RCD. Fonte: autores.

Após o levantamento amostral, o ensaio de tronco de cone foi realizado a fim de apresentar a condição SSS do agregado reciclado.

A adição do agregado umedecido no interior do tronco cônico antecedeu sua compactação com 25 golpes da haste de compactação, com (340 ± 25) g de massa e superfície de (25 ± 3) mm de diâmetro. Após este processo, o tronco foi retirado verticalmente para cima e o comportamento do agregado analisado.

O agregado, mantendo a forma do molde (Figura 3a), deve passar pelo processo de ventilação, diminuindo a umidade superficial, para realização de novos ensaios consecutivos, até que o cone de agregado desmorone com a retirada do molde (Figura 3b).



a)



b)

Figura 3 - a) Agregado de RCD ainda com umidade inadequada para condição Saturado Superfície Seca; b) Agregado de RCD após secagem superficial e com umidade adequada.

Fonte: autores.

Neste instante, obteve-se o agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha na condição Saturada Superfície Seca.

A este material foram aplicados os procedimentos de dosagem e formulação contidos na NM 52 (2009) para caracterização da massa específica do agregado Saturado Superfície Seca de origem reciclável, possibilitando a comparação com o valor correspondente do agregado natural.

Este material serviu também como parâmetro para o ensaio de determinação de absorção de água de uma amostra de agregado miúdo através do método estabelecido pela NM 30 (2001) e aplicação da expressão fornecida pela norma que guarda o percentual de absorção de água do agregado reciclado na condição SSS em relação à sua condição seca, obtida através do processo de secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Os ensaios revelaram seu percentual de absorção de água, índice que também foi comparado com o de seu correspondente natural.

Ao agregado reciclado proposto neste trabalho, foi ainda realizado o ensaio de determinação de umidade superficial por meio do frasco de Chapman, seguindo as orientações da NBR 9775 (2011).

Assim, obteve-se um novo parâmetro caracterizador do material estudado, com o intuito da substituição da areia por este; o novo parâmetro serviu também como índice comparativo entre os agregados.

Após estes ensaios e levantamentos, deu-se por encerrada a produção e caracterização do agregado reciclado de cerâmica vermelha em condição de substituir a areia em traços de concreto. A partir de então traços referência de concreto foram calculados pelo método INT (TARTUCE, 1989) e traços contendo a substituição parcial de agregados naturais propostos (Tabela 3).

Tabela 3 - Frações de substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado de cerâmica vermelha

Traço referência (MPa)	5			30		
Substituições de agregados (%)	5	10	15	5	10	15

Fonte: autores.

No entanto, para tal substituição, foi necessário que se fizesse uma compensação na dosagem dos agregados de origem reciclada, uma vez que existe divergência entre sua massa específica SSS do agregado miúdo natural e a do reciclado.

Para tanto se utilizou da formulação adotada por Cabral *et al.* (2008) (equação 1):

$$M_{AR} = M_{AN} \times \frac{\gamma_{AR}}{\gamma_{AN}} \quad (1)$$

Onde:

M_{AR} : massa do agregado reciclado (kg);

M_{AN} : massa do agregado natural (kg);

γ_{AR} : massa específica SSS do agregado reciclado (kg/cm³);

γ_{AN} : massa específica SSS do agregado natural (kg/cm³);

Este cálculo foi realizado para cada valor percentual proposto de M_{AN} na Tabela 3, com a finalidade de convertê-lo em M_{AR} . Com esta ponderação, um novo valor para massa de agregado miúdo passa a ser utilizado em cada amostra, respeitando a porcentagem que será substituída.

Foram moldados 12 corpos de prova (CP's) cilíndricos para cada traço conforme a NBR 5738 (2016), com dimensões de 20 cm por 10 cm.

A homogeneização dos componentes seguiu os procedimentos de mistura da NBR 12821 (2009).

Os elementos foram ensaiados quanto à compressão axial da maneira prescrita pela NBR 5739 (2018) após 28 dias de cura em um tambor submersos com água a temperatura ambiente. Para os ensaios se dispôs de uma prensa hidráulica para ensaios de caracterização à compressão axial de corpos de prova de concreto da marca EMIC, modelo: PCE100C, responsável pelo levantamento de resultados de resistência à compressão que auxiliaram no estudo do implemento de agregados recicláveis à traços convencionais de concreto.

Com a obtenção dos resultados, foi aplicada uma das equações fornecidas pela NBR 5739 (2018), para a conversão dos valores obtidos através do ensaio axial com prensa hidráulica.

Conforme a NBR 12655 (2015), o concreto preparado para o experimento seguiu a condição A, ou seja, o cimento, os agregados e a água foram medidos em massa. Por meio das equações, também fornecidas pela norma, calculou-se os desvios-padrões para os resultados das amostras ensaiadas, e seus valores foram verificadas quanto ao desvio-padrão tolerado para o concreto preparado conforme a condição A.

Através das equações e tabelas proporcionadas pela norma NBR 5739 (2018) foi possível avaliar a confiabilidade do ensaio realizado com base nos valores obtidos por meio da prensa hidráulica. Dessa forma, possibilitou-se a classificação da qualidade do ensaio em: excelente, muito bom, bom, razoável ou deficiente.

Os corpos de prova ensaiados passaram ainda por uma última análise, esta visual, quanto à forma de ruptura, uma vez que o ensaio de compressão axial tem caráter destrutivo e o elemento se rompe de acordo com as apresentações do Anexo A (informativo) da NBR 5739 (2018).

Resultados e discussões

A partir dos procedimentos experimentais propostos para a uniformização granulométrica do RCD pôde-se, através dos resultados do ensaio granulométrico, apresentar a característica física do diâmetro dos grãos, exposta na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização do percentual de RCD de cerâmica vermelha britado e seco retido nas peneiras de granulometria

Peneiras	ABNT/ASTM	Abertura (mm)	Tara (g)	Massa retida (g)	(%) retida	(%) acumulada	(%) passante
1	8	2,36	358,2	51	5,1	5,1	94,9
2	16	1,18	396,4	228,8	22,9	28	72
3	20	0,85	407,6	117,7	11,8	39,8	60,2
4	30	0,6	341,5	92,7	9,3	49,1	50,9
5	40	0,425	368,6	123,1	12,3	61,3	38,6
6	50	0,3	337,6	202,2	20,2	81,6	18,4
7	70	0,212	349	116,2	11,6	93,2	6,8
8	100	0,15	346,7	46	4,6	97,8	2,2
9	140	0,106	312,3	15,1	1,5	99,3	0,7
10	200	0,075	340,2	4,9	0,5	99,8	0,2
fundo		-	319,5	2,1	0,2	100	
				999,8	100		

Fonte: autores.

Este diâmetro diz respeito à menor dimensão da partícula ensaiada, uma vez que com a agitação mecânica da mesa vibratória o particulado movimentava-se no intervalo de tempo estipulado pelo ensaio até que uma de suas dimensões se adequasse à abertura da peneira em que está depositado. Os agregados reciclados de cerâmica vermelha, no entanto, não apresentaram formato lamelar devido a sua origem argilosa.

O material retido em cada uma das peneiras granulométricas distingue-se exclusivamente pelo diâmetro dos grãos. A Figura 4 expõe amostras de RCD de cerâmica vermelha retiradas das dez peneiras constituintes do ensaio granulométrico e do fundo do jogo.

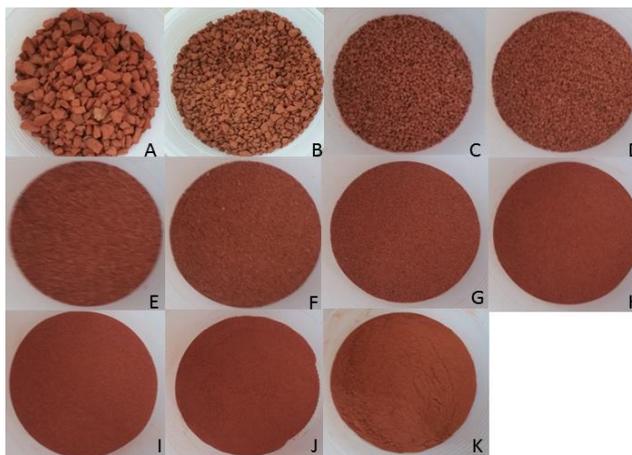
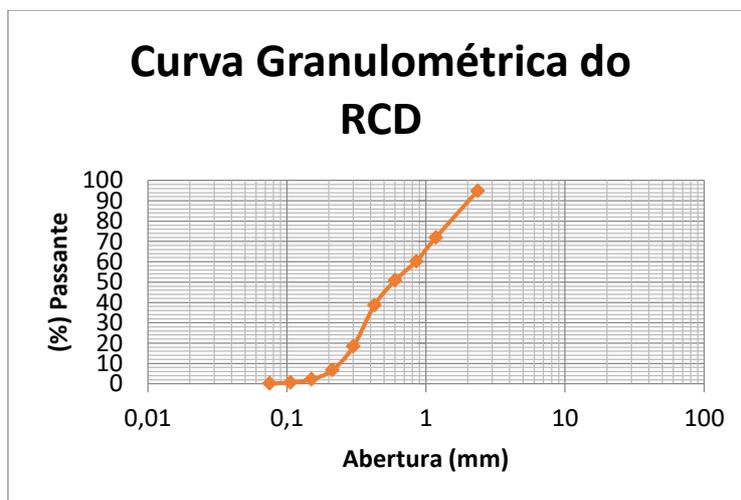


Figura 4 - A) Amostra retida na peneira 1; B) Amostra retida na peneira 2; C) Amostra retida na peneira 3; D) Amostra retida na peneira 4; E) Amostra retida na peneira 5; F) Amostra retida na peneira 6; G) Amostra retida na peneira 7; H) Amostra retida na peneira 8; I) Amostra retida na peneira 9; J) Amostra retida na peneira 10; K) Amostra depositada no fundo do conjunto de peneiras granulométricas. Fonte: autores.

Por meio destes dados pode-se traçar o perfil granulométrico do material.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da amostra de RCD de cerâmica vermelha



Fonte: autores.

O intervalo granulométrico aproveitado foi o $1,2 > d > 0,3$ milímetros, intervalo de areia média, com isto foram somadas as (%) retidas nas peneiras 3, 4, 5 e 6 totalizando 53,6% (Tabela 4) de material imediatamente aproveitado, os que continham diâmetro dos grãos menores foram descartados do estudo e os com diâmetro dos grãos maiores foram novamente britados, secos e peneirados a fim de atingir então o diâmetro desejado, visando um aumento do aproveitamento de material e do grau de reciclagem.

Com o material selecionado foi realizado os ensaios de massa específica na condição saturado superfície seca, seguindo a NM 52 (2009), apresentando um valor de $2,26 \text{ g/cm}^3$ idêntico ao da pesquisadora Etxeberria *et al.* (2015) e próximo ao obtido por Cabral *et al.* (2008). O valor também se aproximou aos índices de massa específica do agregado miúdo natural nas mesmas condições apontada por Cabral *et al.* (2008) de $2,64 \text{ g/cm}^3$.

Os valores de absorção de água das amostras de RCD ensaiadas foram calculados. Seus valores apontaram para um índice de 7,29%, atendendo à concordância de resultados, presente na NM 30 (2001), de variação máxima entre os ensaios de 0,05%. A amostra 3 variou excedendo o limite de 0,05% contido nas prescrições da norma, portanto não foi considerada para cálculo da absorção de água. As amostras 1 e 2 atenderam a variação máxima e a média aritmética simples entres elas foi calculada.

Cabral *et al.* (2008) chegaram a um resultado de 10,69% de absorção de água para agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha. Seu trabalho apontou para 0,42% de absorção para o agregado miúdo natural. O valor obtido neste trabalho apresenta semelhança ao de Cabral *et al.* (2008) e se aproxima mais ao percentual de absorção do agregado miúdo natural.

A determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman NBR 9775 (2011) apontou para um índice de 2,67%, levando em consideração a massa específica na condição saturado superfície seca calculada através da NM 52 (2009).

Tais resultados foram fundamentais na etapa de caracterização do material estudado e serviram de base para a análise da influência da utilização de agregados com origem reciclada em concretos massa. Com eles foram moldados os CP's referência para o controle dos resultados obtidos com substituição de agregados.

A resistência média a compressão dos CP's referência, seus valores foram de 5,58 MPa e 30,53 MPa. Estes valores atenderam ao desvio padrão contido nas normas. O desvio padrão para o traço de 5 MPa foi de 0,68 MPa, enquanto o de 30 MPa foi de 1,23 MPa. Ambos apresentaram como desvio padrão, valores inferiores à 4 MPa, como pede a NBR 12655 (2015).

As resistências à compressão característica dos traços de concreto foram de 4,45 MPa para o concreto referência utilizando traço de 5 MPa, e de 28,49 MPa para o de 30 MPa de acordo com a equação fornecida pela NBR 12655 (2015).

Com os traços referência calculados, deu-se início aos cálculos de substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha conforma a equação (1).

Com os cálculos de substituição é possível observar que a massa correspondente a fração substituída de agregado natural por reciclado diminui, isso se deve a massa específica dos materiais.

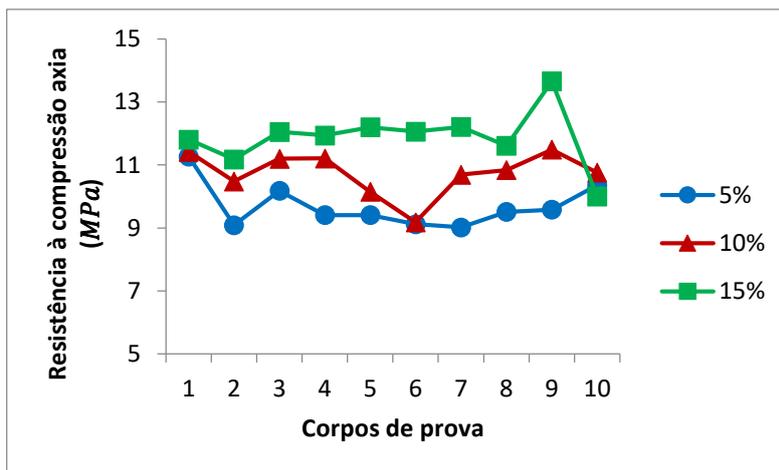
Assim como foi realizado para o concreto de referência, também foram calculados os valores de resistência média para os traços com substituição. Para o concreto de 5 MPa os resultados foram de 9,70 MPa, 10,74 MPa e 11,77 MPa, para as porcentagens de substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente. O concreto de 30 MPa obteve como valores 30,99 MPa, 32,15 MPa e 34,27 MPa, também respectivos às substituições de 5%, 10% e 15%.

Os desvios-padrões foram de 0,71 MPa, 0,69 MPa e 0,97 MPa para o concreto de 5 MPa com substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente. Já o concreto de 30 MPa obteve os valores de 1,16 MPa, 1,54 MPa e 1,42 MPa respectivamente para 5%, 10% e 15% de substituição. Todas as amostras obtiveram valores aceitáveis, isso por serem inferiores a 4 MPa.

As resistências características para as misturas de 5 MPa foram de 8,53 MPa, 9,60 MPa e 10,16 MPa respectivamente para as porcentagens de 5%, 10% e 15%. O traço de 30 MPa obteve como valores 29,07 MPa, 29,60 MPa e 31,93 MPa respectivamente para 5%, 10% e 15% de substituição.

Com os valores de resistência à compressão axial dos corpos de prova ensaiados, pode-se expressar os gráficos que guardam a resistência de cada amostra.

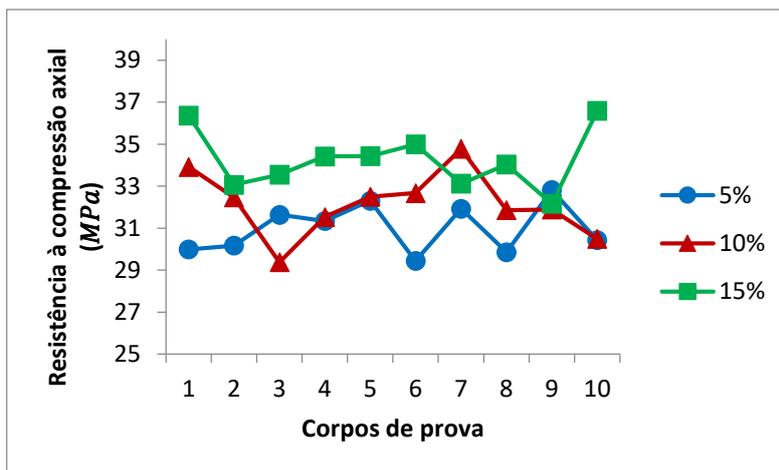
Gráfico 2 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova com resistência calculada de 5 MPa



Fonte: autores.

Gráfico 3 - Resistência à compressão axial dos corpos de prova com resistência calculada de 30

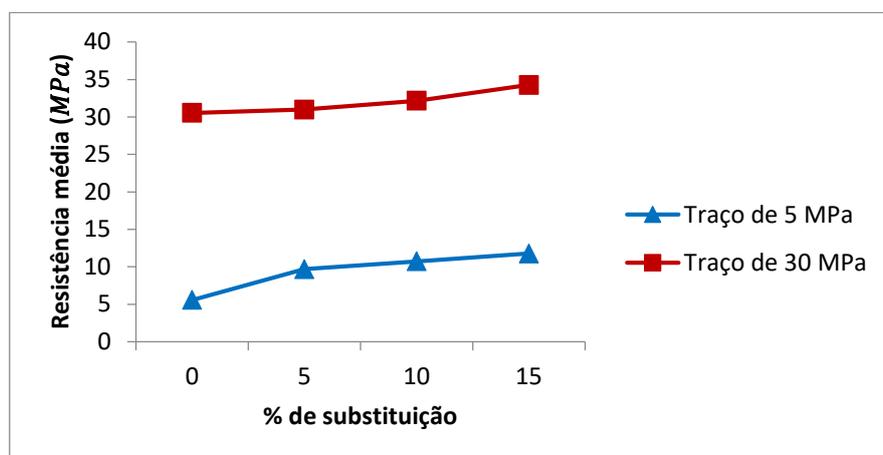
MPa



Fonte: autores.

Como pode ser visto nos Gráficos 2 e 3, as maiores resistências à compressão axial obtidas foram nos CP's onde houve maior índice de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, salvo por poucas amostras que variaram do padrão dos resultados.

Gráfico 4 – Resistência média à compressão dos corpos de prova com relação à % de substituição



Fonte: autores.

Por meio do Gráfico 4, onde se utilizou a resistência média para cada traço, o aumento com relação à porcentagem de substituição tornou-se mais evidente. A maior evolução ocorreu no traço de 5 MPa, apesar do traço de 30 MPa também ter apresentado resultados significantes. A diferença na amplitude dos valores pode estar relacionada à maior quantidade de areia substituída por agregado de RCD.

Por fim foi realizada a análise da forma de ruptura dos CP's, esta se deu de forma visual e em conformidade com a NBR 5739 (2018).

Após os ensaios destrutivos dos corpos de prova de diferentes traços e com variadas proporções de substituição de areia por agregado reciclado, pode-se analisar a forma de ruptura dos CP's, comparando-as com as prescrições do Anexo A (informativo): Tipos de Ruptura de Corpos e Prova da respectiva norma.

As formas de ruptura reveladas nos ensaios foram: Tipo A: Cônica, Tipo D: Cônica e Cisalhada e Tipo E: Cisalhada. Notou-se que não houve uma relação entre a origem do concreto com a forma de ruptura.

Conclusões

Por meio dos estudos realizados, pôde-se concluir que a utilização de um agregado miúdo reciclado em substituição a seu análogo natural contribui para a diminuição da exploração mineral, reduzindo, portanto, o impacto ambiental que esta atividade gera. Apresentou-se ainda, a utilização dos resíduos da construção civil na confecção do concreto como um meio alternativo ao descarte, possibilitando assim,

reduções significativas na quantidade de resíduos sólidos que são tratados em aterros e em uma possível queda na quantidade de descartes irregulares.

O beneficiamento do RCD de cerâmica vermelha após a coleta nos processos de limpeza, britagem mecânica e avaliação granulométrica representaram vital influência na qualidade e quantidade de material reciclado. Sua caracterização física quanto à umidade, absorção de água e massa específica na condição Saturado Superfície Seca apontou para valores próximos aos da areia, o que viabiliza sua substituição gradual.

Por conta da massa específica encontrada do material estudado ser inferior ao do natural, foi possível concluir que com a substituição a massa de agregado reciclado é menor que a do natural que seria empregado originalmente no traço.

A resistência à compressão do concreto apresentou em ambos os traços, incremento para todas as taxas de substituição de agregado miúdo propostos neste trabalho com relação àquele onde não houve uso da cerâmica vermelha, aparentando-se o melhor resultado para o concreto cujo índice de substituição foi maior.

Referências Bibliográficas

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concreto**. São Paulo, 2005. 167p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil – 2007**. São Paulo. 151p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil – 2016**. São Paulo. 60p. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016. _____. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 9775: **Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 12821: **Preparação do concreto em laboratório - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 27: **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR NM 52: **Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM ISO 2395: **Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento - Vocabulário**. Rio de Janeiro, 1997.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. 1. v. 471p. Inclui anexos. Rio de Janeiro: LTC, 2015a.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. 2. v. 523p. Inclui anexos. Rio de Janeiro: LTC, 2015b.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem em propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. São Carlos, 2007. 254p. Inclui anexos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CABRAL, A. E. B, SCHALCH, V., DAL MOLIN, D. C. C., RIBEIRO, G. L. D. **Influence of the type of recycled aggregate from construction and demolition waste on the module of deformation of recycled aggregate concrete.** IBRACON, vol. 1, n. 2, p. 171-192, São Paulo, 2008.

ETXEBERRIA, M.; VEGAS, I. **Effect of fine ceramic recycled aggregate (RA) and mixed fine RA on hardened properties of concrete.** Magazine of Concrete Research, vol. 67, n. 12, p. 645-655, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1680/macrc.14.00208>> Acesso em: 10 de agosto de 2018.

INFORMAÇÕES TÉCNICAS - DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO. Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM). Disponível em: <<https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>> acesso em: 15 de março de 2018.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre, 2001. 270p. Inclui anexos. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LIRA, W, S., CÂNDIDO, G. A. **Gestão Sustentável dos Recursos Naturais: uma abordagem participativa.** Campina Grande: EDUEPB, 2013. p. 150.

NEVILLE, A., M., **Tecnologia do concreto.** 2. ed. 52p. Porto Alegre: Brookman, 2013.

RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALE, S. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil.** Ambiente Construído, vol. 14, n. 1, p.99-111, Porto Alegre, 2014.

TARTUCE, R., **Dosagem Experimental do Concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini: IBRACON, 1989. 25-7p.

Estudo comparativo entre duas estruturas de telhado para área de lazer, em aço e madeira convencional

Comparative study between two roof structures for leisure area, in steel and conventional wood

Jonas Henrique Toyama Liria¹
Jonathan Cavalcante dos Santos¹
José David da Silva Terto¹
Luiz Felipe de Castro Antikeira¹
Cleverson Arenhart²

RESUMO

Este trabalho teve o intuito de analisar de forma comparativa a viabilidade econômica e funcional de duas estruturas para telhado, dimensionadas com materiais de maior uso neste quesito como o aço ASTM A36 e a madeira do gênero *Goupia glabra Aubl*, mais conhecida como Peroba do Norte. Por meio de pesquisas bibliográficas sobre as características e propriedades de cada material, foi apresentado suas principais vantagens e desvantagens, considerando inclusive seus respectivos comportamentos estruturais. Segundo a NBR 7190 (1997) que descreve sobre projetos de estrutura de madeira, foi realizado a caracterização simplificada da madeira para determinar as propriedades estruturais de tração e compressão paralela às fibras. O dimensionamento das estruturas foi realizado por meio do *software* CYPE 3D 2016 segundo os critérios da NBR 7190 (1997), juntamente com a NBR 8800 (2008) que descreve sobre projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, a NBR 6650 (1986) que descreve sobre chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural e a NBR 6123 (1988) que descreve sobre as forças devido ao vento em edificações. Foi utilizada ligação por solda do tipo filete com eletrodo E60 para a estrutura metálica e a estrutura de madeira foi ligada por meio de parafusos com auxílio de chapas metálicas. Por fim o levantamento de custos foi realizado por meio de pesquisas de mercado na região de Araçatuba- SP. Conclui-se que as estruturas apresentaram um custo final muito semelhante, porém, nos demais quesitos, a estrutura metálica ofereceu mais benefícios à edificação.

Palavras-Chave: telhado em madeira, telhado em aço, dimensionamento estrutural, viabilidade econômica e funcional, vantagens e desvantagens.

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP

² Engenheiro Civil – Especialista em Docência do Ensino Superior pela faculdade de Tecnologia Paulista de Lupércio/SP. Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP

ABSTRACT

The objective of this work was to compare the economic and functional feasibility of two roof structures, which are dimensioned with materials of greater use in this area such as ASTM A36 steel and wood of the genus *Goupia glabra Aubl*, better known as Peroba do Norte. Through bibliographic research on the characteristics and properties of each material, its main advantages and disadvantages were presented, considering also their respective structural behaviors. According to NBR 7190 (1997) describing on wood structure projects, the simplified characterization of the wood was carried out to determine the structural properties of tensile and compressive tests. The design of the structures was carried out using the *software* CYPE 3D 2016 according to the criteria of NBR 7190 (1997), along with NBR 8800 (2008) describing steel structures and mixed steel and concrete structures, NBR 6650 (1986) describing thin plates at carbon steel for industrial use and NBR 6123 (1988) describing the forces due to wind in buildings. It was used a wire-type welding with E60 electrode for the metal structure and the wood structure was connected by means of screws with the help of metal plates. Finally, the costing was carried out through market research in the region of Araçatuba-SP. It is concluded that the structures presented a very similar final cost, however, in the other questions, the metallic structure offered more benefits to the building.

Key-words: wooden roof, steel roof, structural design, economical and functional feasibility, advantages and disadvantages.

INTRODUÇÃO

A competitividade no setor da construção civil é cada vez mais evidente e a busca por materiais mais qualificados, econômicos, ecológicos e duráveis são características cada vez mais visadas neste contexto. Materiais como o aço e a madeira estão diretamente ligados a isso por serem extremamente utilizados em diversas obras do mesmo tipo. A madeira apresenta boas características como facilidade de manuseio e de fabricação de produtos industrializados, além proporcionar um bom isolamento térmico. A madeira é um dos materiais de construção mais antigo usado pelo homem, sendo que até o século XIX as grandes obras de engenharia eram executadas com pedra e madeira (PFEIL, 2015). Com isso, a madeira é tradicionalmente muito usada em estruturas, inclusive sendo o material mais procurado para compor a estrutura de telhados. Entretanto, sua grande demanda ao longo dos anos afetou as florestas provocando escassez de matéria-prima e elevação de seu custo. Dessa forma, a indústria desse ramo passou a investir em madeiras industrializadas e de reflorestamento para evitar uma busca inconsciente por material qualificado sem causar graves impactos ambientais. Além disso, a madeira é muito suscetível à ação de intempéries como chuva, insolação solar e neve, afetando diretamente suas propriedades, facilitando o aparecimento de patologias como empenamentos, torções, deterioração e entre outras, exigindo a necessidade de manutenções em curtos períodos de tempo. Devido a esses problemas pertinentes nas estruturas de madeira e pela crescente escassez de recursos vegetais na construção civil, o aço passou a ser um material cada vez mais viável em estruturas para telhado. Trata-se de um material industrializado que além de ter grande resistência e durabilidade, tem a vantagem de minimizar o desperdício de material, ajudando a manter a obra mais limpa e organizada. Suas peças oferecem maior precisão de encaixes e rapidez na fabricação, sendo possível fabricá-las em tamanhos maiores sem causar prejuízos ambientais. Entretanto, as estruturas em aço sofrem com o fenômeno da corrosão e para solucionar esse problema, o aço precisa passar por um processo de tratamento para evitar a ocorrência dessa patologia sem precisar passar por manutenções em curto prazo. Portanto, durante a elaboração de um projeto de um telhado, é preciso decidir qual dos dois materiais formarão a estrutura. Para isso, levar em conta a relação custo-benefício de ambos é fundamental para decidir a melhor opção.

As Figuras 1 e 2, exemplificam uma estrutura em aço e madeira respectivamente.



Figura 1 - Telhado com estrutura em aço de acordo com Ecoframe (2018).
Fonte: autores.



Figura 2 - Telhado com estrutura em madeira convencional. Fonte: autores.

A abordagem principal deste trabalho foi comparar dois tipos específicos de telhados para área de lazer, um no qual os elementos estruturais são em aço ASTM A36 e outro com elementos em madeira convencional do gênero *Goupia glabra Aubl.* No modelo de estrutura adotado, foi utilizado telha termoacústica com isolamento em poliuretano rígido e cobertura em duas águas, com inclinação de 38,6%. Para demonstrar qual dos dois telhados tem um custo benefício melhor, fatores como dimensionamento da estrutura e ligações, custos com material e suas respectivas vantagens e desvantagens foram considerados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estrutura do telhado

O telhado é um elemento fundamental para garantir segurança à construção. Sua função é proteger o interior da edificação de intempéries como chuva, vento, insolação solar e neve, impedindo também a entrada de poeira, vegetações e ruídos. Além disso, o telhado desempenha a função de oferecer uma boa estética à obra e garantia de um bom isolamento térmico, oferecendo comodidade e conforto interno. Sua estrutura é dividida em cobertura e armação. A cobertura é constituída de materiais impermeáveis e resistentes a intempéries. Os materiais utilizados são as telhas cerâmicas, telhas de concreto, chapas onduladas de fibrocimento, aço galvanizado, madeira aluminizada, PVC e *fiberglass*. Esteticamente, os telhados variam de simples coberturas planas compostas de uma, duas ou mais águas até projetos mais complexos em superfície curvas com arco, cúpula ou múltiplos arcos. Já a armação constitui os elementos estruturais que garantem a sustentação da cobertura como os caibros, ripas, terças, tesouras e contraventamentos. Esses elementos podem ser executados totalmente ou parcialmente em madeira, aço, alumínio ou concreto armado (MOLITERNO, 2010). A Figura 3 ilustra os elementos estruturais de um telhado.

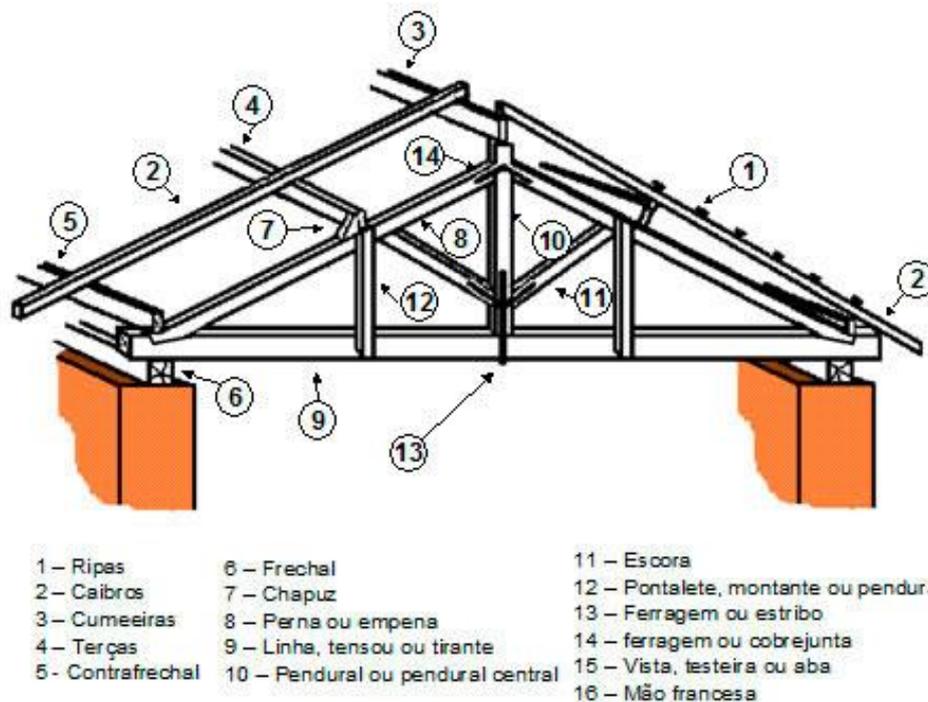
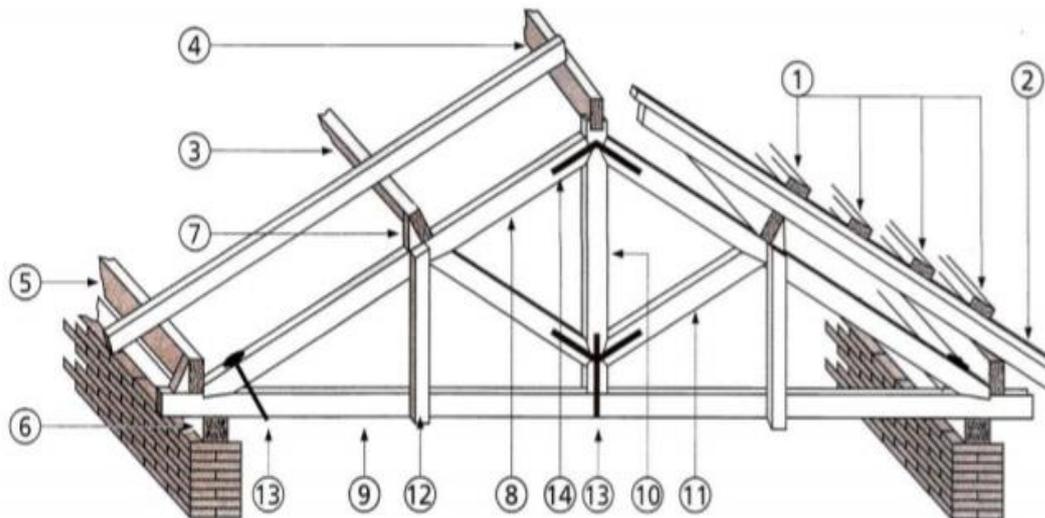


Figura 3 - Elementos estruturais de um telhado. Fonte: Metalica (2018).

A estrutura de um telhado é dividida em estrutura principal (tesouras), estrutura secundária que corresponde às ripas, caibros e terças e o sistema de contraventamento.

Estrutura principal (tesoura)

A tesoura é a estrutura principal do telhado com a função de manter o sistema estrutural do telhado estático e suportar o peso da cobertura e as sobrecargas do telhado. Suas barras recebem esforços de tração ou compressão. As cargas atuam paralelamente ao seu plano e são transmitidas aos apoios por estruturas treliçadas (CALIL; CESAR, 2010). A Figura 4 apresenta a terminologia dos principais elementos de uma tesoura.



1 a 5) **Trama**, é o conjunto formado pelas ripas, caibros e terças, que servem de lastro ao material da cobertura. 6) Frechal. 7) **Chapuz**, pedaço de madeira, geralmente de forma triangular, pregado na asna da tesoura, destinado a sustentar ou apoiar a terça. **Conjunto de peças 8 a 12** – Tesoura, viga em treliça plana vertical, formada de barras dispostas de maneira a compor uma rede de triângulos, tornando o sistema estrutural indeslocável. 8) **Asna, perna, empena ou membrura superior**. 9) **Linha, rochante, tirante, tensor, olivel ou membrura inferior**. 10) **Pendural ou pendural central**. 11) **Escora**. 12) **Pontaletes, montante, suspensório ou pendural**. 13) **Ferragens ou estribos**. 14) **Ferragem ou cobrejunta**.

Figura 4 - Terminologia da tesoura. Fonte: Moliterno (2010)

Estrutura secundária

Os elementos estruturais secundários de um telhado são as ripas, caibros e as terças.

Ripas

As ripas são peças de sustentação das telhas fixados perpendicularmente sobre os caibros como mostra a Figura 5. Normalmente sua largura é maior do que sua altura e o espaçamento entre duas ripas depende do tipo de telha, da seção da ripa e da inclinação do telhado para determinação de sua galga, que é o espaçamento máximo da parte de cima entre duas ripas. Em caso de telhas pequenas é necessário a execução de um ripamento com a ajuda de uma guia para o assentamento das telhas. Quanto maior for a inclinação do telhado, maior será o vão entre as ripas (CALIL JÚNIOR; CESAR, 2010).

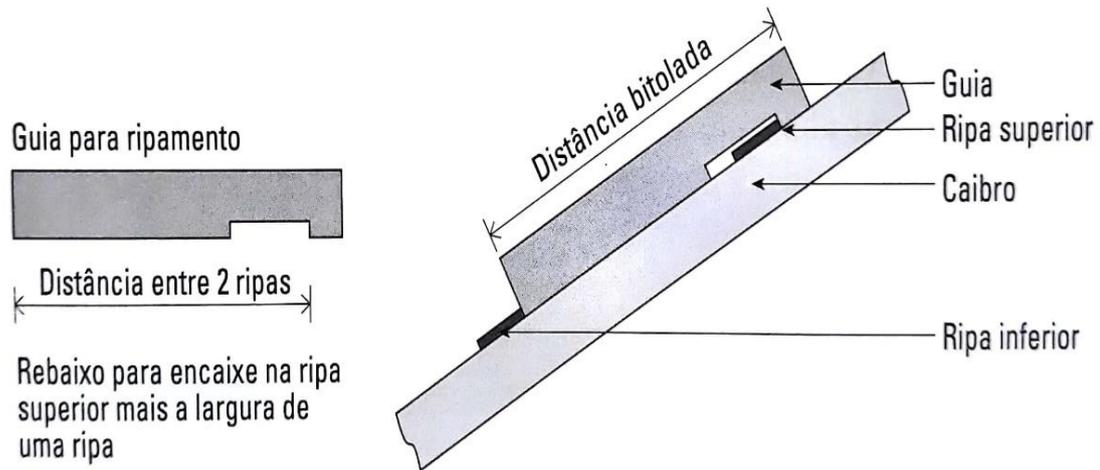


Figura 5 - Fixação das ripas. Fonte: Borges (2009)

Caibros

Os Caibros são peças fixadas perpendicularmente sobre as terças para sustentação das ripas. Sua seção é aproximadamente quadrada e o espaçamento entre caibros é determinado em função do vão estabelecido entre as ripas. O vão do caibro depende também da inclinação do telhado, do tipo de telha e de sua seção transversal. A inclinação dos caibros determina a inclinação do telhado (CALIL JÚNIOR; CESAR, 2010).

Terças

A terça é uma viga de sustentação dos caibros que pode ser apoiada sobre os nós das tesouras, ou sobre as paredes. Sua função é apoiar os caibros quando existirem ou, caso contrário, apoiar diretamente as telhas. O vão das terças é igual ao vão dos caibros ou igual ao tamanho das telhas, quando o sistema estrutural dispensar o uso de ripas e caibros. Terças de grandes vãos reduzem o número de tesouras e estas passam a sofrer carregamentos mais intensos. Terças com vãos menores aumentam o número de tesouras e estas passam a receber carregamentos de menores intensidades, garantindo maior segurança estrutural (CALIL JÚNIOR; CESAR, 2010).

Contraventamentos

Os contraventamentos são elementos que garantem a estabilidade necessária de uma cobertura quando submetida às ações do vento que atuam na direção horizontal. O contraventamento é composto por barras transversais e podem ser classificados em contraventamento temporário e permanente. O temporário é executado durante a fase de montagem da estrutura, de modo a garantir que as estruturas principais fiquem seguras até ser executado o contravento permanente que garantirá a estabilidade da estrutura final. É importante salientar que as tesouras não devem ser carregadas sem a execução final do contraventamento permanente para evitar que elas se desloquem (CALIL JÚNIOR; CESAR, 2010).

Vantagens da estrutura em aço

Segundo Pinheiro (2005, p. 1), as vantagens da estrutura em aço são:

- ✓ *Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;*
- ✓ *Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;*
- ✓ *Material resistente a vibração e a choques;*
- ✓ *Possibilidade de execução de obras mais rápidas e limpas;*
- ✓ *Em caso de necessidade, possibilita a desmontagem das estruturas e sua posterior montagem em outro local;*
- ✓ *Alta resistência estrutural, possibilitando a execução de estruturas leves para vencer grandes vãos;*
- ✓ *Possibilidade de reaproveitamento dos materiais em estoque, ou mesmo, sobras de obra.;*

Segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (2011), o aço possui um potencial de reciclagem acima de 90% garantindo pouco desperdício de material, deixando a obra mais organizada e livre de entulhos. Outra grande vantagem é que todos os detalhes e possíveis problemas de projeto numa estrutura em aço são resolvidos antes mesmo da obra começar garantindo maior eficiência, rapidez na montagem e pouco desperdício.

Desvantagens da estrutura em aço

Apesar de ser um material com características amplamente favoráveis para uso em estruturas para telhado, o aço apresenta também algumas desvantagens, conforme descrito por Pinheiro (2005, p. 1):

- ✓ Limitação de execução em fábrica, em função do transporte até o local de sua montagem final;
- ✓ Necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação, devido ao contato com o ar atmosférico;
- ✓ Necessidade de mão de obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- ✓ Limitação de fornecimento de perfis estruturais;

Vantagens da estrutura em madeira

A madeira é um material extremamente versátil e com características que permitem seu uso desde as fundações até o uso em complexas estruturas de telhado. Por ser um material renovável, seu processo produtivo envolve poucos gastos de energia, enquanto que para a produção de aço, concreto e cimento é necessário a realização de queima de minérios que emitem CO₂ na atmosfera. Estruturas de madeira apresentam um excelente isolamento térmico, garantindo poucos gastos com a climatização interna. Trata-se de uma matéria-prima abundante, de fácil manuseio e execução em estruturas (PFEIL, 2015).

Segundo Zenid (2009, p.61) as características de trabalhabilidade e secagem da Cupiúba são:

[...] a madeira de cupiúba é fácil de trabalhar com ferramentas manuais ou máquinas. É fácil de serrar, aplainar, torneiar, colar e parafusar. O uso de pregos sem furação pode provocar rachaduras. Recebe bom acabamento. Aceita bem a colagem mas não é adequada para a fabricação de compensados, por apresentar rachaduras na tora. Boa aceitação de tinta, verniz, emassamento e polimento. [...] a secagem ao ar é lenta, sem a ocorrência de sérios defeitos como rachaduras ou empenamentos.

Desvantagens da estrutura em madeira

Apesar de possuir características que permitiram seu amplo uso na construção civil desde as civilizações antigas, a madeira apresenta também algumas desvantagens que devem ser cuidadosamente consideradas em projetos. Trata-se de um material sujeito à deterioração por ataque de organismos xilófagos como fungos e cupins, além de ser suscetível à ação de intempéries, umidade e do fogo.

Além disso, a madeira naturalmente apresenta defeitos como nós e fendas que prejudicam sua resistência, aspecto e sua durabilidade.

Outro aspecto importante a ser considerado é o fato da madeira ser suscetível ao fenômeno da fluência. Por ser um material viscoelástico, quando submetida a esforços constantes por um longo período de tempo, a madeira sofre uma deformação lenta chamada de fluência. Nessas condições, um material viscoelástico apresenta duas deformações, a elástica e uma outra deformação ocasionada pelo período de tempo de duração dos esforços e assim, com o término do carregamento, a peça não retorna ao seu formato original totalmente. Dessa forma, é comum o surgimento de deformações ocasionadas pela fluência em estruturas de madeira.

Ligações

Neste estudo de caso, a ligação para a estrutura em aço ASTM A36 foi por solda do tipo filete e no caso da de madeira, as peças foram ligadas por meio de parafusos metálicos com auxílio de chapas metálicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

materiais

Os materiais em estudo foram o aço ASTM A36, caracterizado pela sua boa resistência e soldabilidade adequada. A madeira adotada foi a do tipo Cupiúba do gênero *Goupia glabra Aubl*, conhecida popularmente como Peroba do Norte e caracterizada como média resistência mecânica e boa resistência a organismos xilófagos. A telha foi do tipo termoacústica com chapas em aço galvanizado e com isolamento em poliuretano rígido com 30 mm de espessura.

Métodos

Ensaio de caracterização da madeira

O ensaio de caracterização da madeira é descrito pelo anexo B da NBR 7190 (1997) para determinar as propriedades necessárias para projeto estrutural de lotes considerados homogêneos, isentos de defeitos e qualquer tipo de tratamento especial. Este estudo limitou-se aos ensaios de compressão e tração paralela às fibras para realizar a caracterização simplificada da madeira do gênero *Goupia glabra Aubl* pela quantidade mínima estabelecida de 6 corpos de prova por ensaio.

Ensaio de compressão paralela às fibras

Segundo a NBR 7190 (1997), o objetivo deste ensaio é a determinação da resistência e rigidez à compressão paralela às fibras da madeira.

Observação: não foi possível determinar a rigidez e conseqüentemente o módulo de elasticidade da madeira devido à falta de relógios comparadores com precisão de 0,001 mm e extensômetros com exatidão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ para determinar as medidas de deformações específicas.

Corpo de prova

Os corpos de prova para a realização do ensaio de compressão paralela às fibras possuem seção transversal quadrada de cinco centímetros de lado e comprimento de quinze centímetros conforme mostra a Figura 6.



Figura 6 - Corpo de prova para o ensaio de compressão paralela às fibras adaptada. Fonte: NBR 7190 (1997).

Ensaio de tração paralela às fibras

Segundo a NBR 7190 (1997), o objetivo deste ensaio é a determinação da resistência e rigidez à tração paralela às fibras da madeira.

Observação: não foi possível determinar a rigidez e conseqüentemente o módulo de elasticidade da madeira devido à falta de relógios comparadores com precisão de 0,001 mm e extensômetros com exatidão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ para determinar as medidas de deformações específicas.

Corpo de prova

Os corpos de prova utilizados para a realização do ensaio de tração paralela às fibras são ser alongados e com extremidades mais resistentes que sua região central, justamente para que a sua ruptura aconteça neste local.

A Figura 7 apresenta dois modelos de corpos de prova que podem ser utilizados para o ensaio.

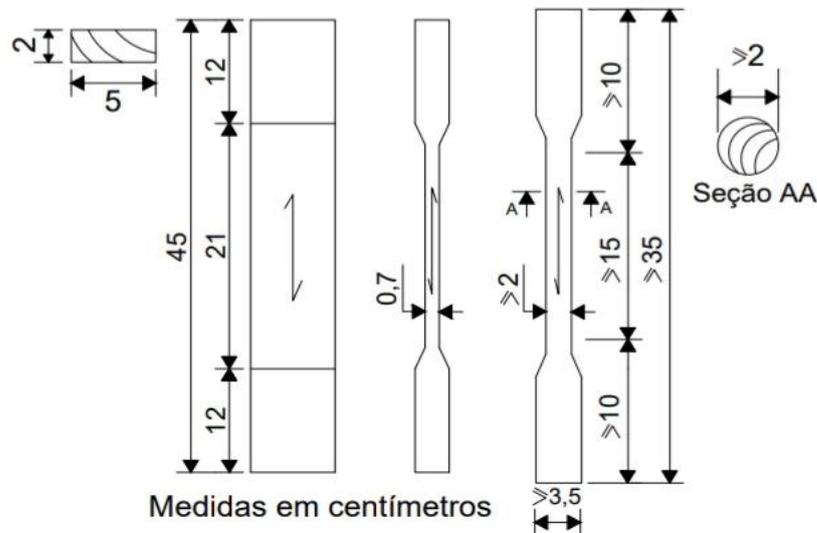


Figura 7 - Corpos de prova para o ensaio de tração paralela às fibras adaptada.

Fonte: NBR 7190 (1997).

Dimensionamento das estruturas

Neste estudo de caso, o dimensionamento das duas estruturas foi realizado com base no modelo de planta fictício de uma área de lazer com área de 117 m², localizado na cidade de Araçatuba-SP.

Com base no modelo de projeto apresentado nas Figuras 8 e 9, o dimensionamento das estruturas para telhado foi executado com o auxílio do programa computacional CYPE 3D 2016. Este programa é um software para cálculo estrutural e dimensionamento de estruturas em concreto, aço, mistas de aço e concreto e também de estruturas de madeira.

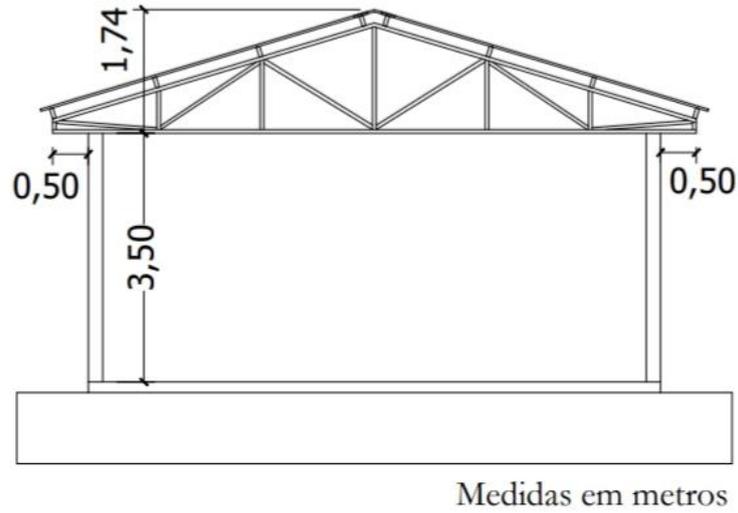


Figura 8 - Modelo de planta utilizado com vista em corte, sem escala. Fonte: autores.

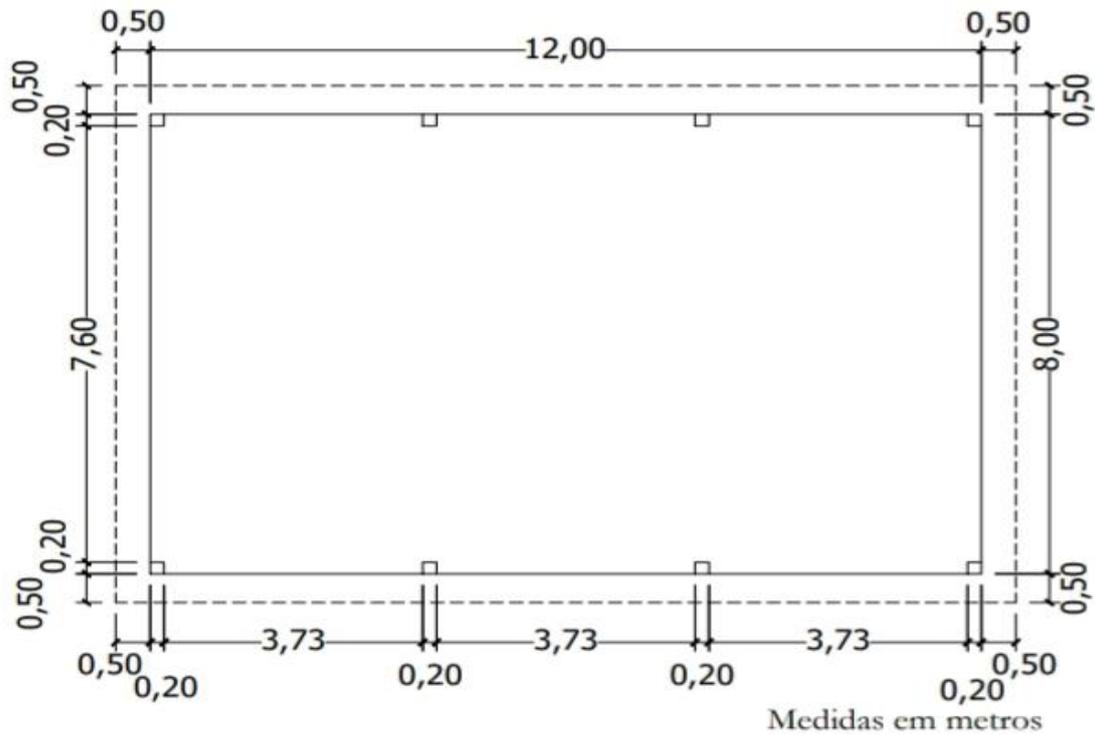


Figura 9 - Modelo de planta utilizado com vista em planta, sem escala. Fonte: autores.

Cargas atuantes nas estruturas (peso próprio, sobrecarga e vento)

O peso próprio está relacionado com o peso da cobertura, portanto, para a telha termo acústica adotou-se o carregamento de 15 kgf/m². Para o valor da sobrecarga, adotou-se o valor de 25 kgf/m² segundo os critérios estabelecidos pela NBR 8800 (2008) item B.5.1. A ação do vento foi determinada pela velocidade básica obtida por meio da Figura 1 da NBR 6123 (1988), juntamente com os coeficientes de pressão internos e externos, obtidos pelas Tabelas 4 e 5 da NBR 6123 (1988).

Primeiramente foi dimensionado o elemento principal que é a tesoura, adotando entre ela um vão elas de 3,73 metros. Em seguida, foi acrescentado as terças formando as duas estruturas tridimensionais.

Ligações

A estrutura metálica foi ligada por solda do tipo filete e para a estrutura de madeira utilizou-se ligações parafusadas com chapas metálicas. Ambas foram dimensionadas segundo os critérios estabelecidos pela NBR 8800 (2008) e pela NBR 7190 (1990) respectivamente.

Na estrutura metálica, utilizou-se o aço ASTM A36, aço de maior comercialização em virtude da sua resistência e facilidade de soldagem. Segundo as especificações da NBR 6650 (1986) que descreve sobre chapas finas a quente de aço-carbono para uso estrutural, adotou-se o grau CF-26.

Na estrutura de madeira, utilizou-se a espécie *Goupia glabra Aubl*, conhecida popularmente como Cupiúba ou Peroba do Norte, com classe de resistência C40, valor obtido por meio do ensaio de compressão paralela às fibras da madeira.

Levantamento de custo das estruturas

O levantamento de custo das estruturas foi realizado com base no quantitativo de materiais, valor da mão de obra, valor do tratamento das peças e do valor unitários dos perfis adotados no dimensionamento. O *software* CYPE 3D 2016 fornece uma tabela resumo com os quantitativos de peças e perfis utilizados no dimensionamento final das estruturas.

Resultados e discussões

Ensaio de compressão paralela às fibras da madeira

Realizou-se este ensaio por meio de 6 corpos de prova para efeito da caracterização simplificada da espécie *Goupia glabra* Aubl. Para isso, os lotes utilizados foram homogêneos, livres de qualquer defeito e tratamento especial como mostra a Figura 10. A norma estabelece que os corpos de prova sejam ensaiados com 12% de umidade, porém, pela disponibilidade de tempo e condições, não foi possível realizar o ensaio de umidade no laboratório do Unisalesiano. Portanto, os corpos de prova foram ensaiados em condições naturais de umidade.



Figura 10 - Corpo de prova confeccionado para o ensaio de compressão paralela às fibras da madeira. Fonte: autores.

Para a realização do ensaio, utilizou-se a prensa hidráulica manual com capacidade máxima de 15 tf apresentada na Figura 11.



Figura 11 - Prensa hidráulica manual para ensaio de compressão paralela às fibras. Fonte: autores.

Após o ensaio, obteve-se os seguintes valores de resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0}) apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de resistência do ensaio de compressão paralela às fibras

Corpo de prova	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
f_{c0} (MPa)	41,6	41,6	38,0	41,2	42,0	43,2	41,27

Fonte: autores.

Em seguida, os valores de resistência foram colocados em ordem crescente: $38,0 \leq 41,2 \leq 41,6 \leq 41,6 \leq 42,0 \leq 43,2$. Para se estimar o valor característico do lote ($f_{c0,k}$), utilizou-se os $n/2 = 3$ valores menores: $38,0 \leq 41,2 \leq 41,6$.

Dessa forma, o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras foi determinado pela expressão abaixo:

$$f_{c0,k} = \left(2 \times \frac{38,0 + 41,2}{\frac{6}{2} - 1} - 41,6 \right) \times 1,1$$

$$\therefore f_{c0,k} = 41,36 \text{ MPa}$$

Não se deve tomar para $f_{c0,k}$ valor inferior ao menor valor de resistência determinado no ensaio ($f_{c0} = 38,0$ MPa) e nem a 70% do valor médio das resistências obtidas ($0,7 \times 41,27 = 28,89$ MPa). Portanto, o valor característico da resistência da espécie *Goupia glabra Aubl* no ensaio realizado de compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) foi de 41,36 MPa, classificando a madeira na classe de resistência C40 da NBR 7190 (1997).

Observação: O valor da resistência média à compressão paralela às fibras obtido no ensaio (41,27 MPa) foi a favor da segurança já que o valor que consta na NBR 7190 é de 54,4 MPa para a madeira Cupiúba.

A rigidez da madeira é determinada em função de seu módulo de elasticidade (E_{c0}). Para isso é necessário o uso de instrumentos fixados nos corpos de prova como relógios comparadores com precisão de 0,001 mm e extensômetros com exatidão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ para determinar as medidas de deformações específicas. Dessa forma, não foi possível determinar o módulo de elasticidade da espécie *Goupia glabra Aubl* para o ensaio de compressão paralela às fibras em função da dificuldade

de fixar esses instrumentos adequadamente conforme os parâmetros estabelecidos pelo anexo B da NBR 7190 (1997) e pelas limitações da prensa manual utilizada.

Ensaio de tração paralela às fibras da madeira

Realizou-se este ensaio por meio de 6 corpos de prova para efeito da caracterização simplificada da espécie *Goupia glabra Aubl.* Para isso, os lotes utilizados foram homogêneos, livres de qualquer defeito e tratamento especial como mostra a Figura 12. A norma estabelece que os corpos de prova sejam ensaiados com 12% de umidade, porém, pela disponibilidade de tempo e condições, não foi possível realizar o ensaio de umidade no laboratório do Unisaesiano. Portanto, os corpos de prova foram ensaiados em condições naturais de umidade.



Figura 12 - Corpo de prova confeccionado para o ensaio de tração paralela às fibras.

Fonte: autores.

Para a realização do ensaio, utilizou-se a máquina universal da EMIC DL com capacidade de carga de 10 tf conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 -Máquina universal EMIC DL para ensaio de tração paralela às fibras.

Fonte: autores.

Após o ensaio, obteve-se os seguintes valores de resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}) apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de resistência do ensaio de tração paralela às fibras

Corpo de prova	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	Média
f_{t0} (MPa)	43,93	24,83	47,6	59,55	66,51	72,45	52,48

Fonte: autores.

Em seguida, os valores de resistência foram colocados em ordem crescente: $24,83 \leq 43,93 \leq 47,6 \leq 59,55 \leq 66,51 \leq 72,45$. Para se estimar o valor característico do lote ($f_{t0,k}$), utilizou-se os $n/2 = 3$ valores menores: $24,83 \leq 43,93 \leq 47,6$.

Dessa forma, o valor característico da resistência à tração paralela às fibras foi determinado pela expressão abaixo:

$$f_{t0,k} = \left(2 \times \frac{24,83 + 43,93}{\frac{6}{2} - 1} - 47,6 \right) \times 1,1$$

$$\therefore f_{t0,k} = 23,28 \text{ MPa}$$

Não se deve tomar para $f_{t0,k}$ valor inferior ao menor valor de resistência determinado no ensaio ($f_{c0} = 24,83$ MPa) e nem a 70% do valor médio das resistências obtidas ($0,7 \times 52,48 = 36,74$ MPa). Portanto, o valor característico da resistência da espécie *Goupia glabra Aubl* no ensaio realizado de tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) foi de 36,74 MPa.

Observação: O valor da resistência média à tração paralela às fibras obtido no ensaio (52,48 MPa) foi a favor da segurança já que o valor que consta na NBR 7190 é de 62,1 MPa para a madeira Cupiúba.

A rigidez da madeira é determinada em função de seu módulo de elasticidade (E_{c0}). Para isso é necessário o uso de instrumentos fixados nos corpos de prova como relógios comparadores com precisão de 0,001 mm e extensômetros com exatidão mínima de 50 $\mu\text{m}/\text{m}$ para determinar as medidas de deformações específicas. Dessa forma, não foi possível determinar o módulo de elasticidade da espécie *Goupia glabra Aubl* para o ensaio de tração paralela às fibras em função da dificuldade de fixar esses instrumentos adequadamente conforme os parâmetros estabelecidos pelo anexo B da NBR 7190 (1997).

Cálculo da ação do vento nas estruturas

Para a região de Araçatuba-SP, adotou-se para a velocidade básica do vento o valor de $V_0 = 40$ m/s. Além disso, considerou-se a categoria IV do terreno e a classe A, pelo fato da maior dimensão da edificação ser menor que 20 m. Para o fator S_3 , considerou-se o grupo 2, pois o estudo de caso trata-se de uma área de laser com alto fator de ocupação.

$$S_1 = 1,0 \text{ (Terreno plano ou fracamente acidentado)}$$

$$S_2 = 0,79 \text{ e } z = 5,0 \text{ m}$$

$$S_3 = 1,00$$

Sendo assim, a velocidade característica do vento foi calculada abaixo:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

$$V_k = 40 \times 1,0 \times 0,79 \times 1,00$$

$$V_k = 31,6 \text{ m/s}$$

Em seguida, por meio da velocidade característica foi possível determinar a pressão dinâmica (q):

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

$$q = 0,613 \times 31,6^2$$

$$q = 612,11 \text{ N/m}^2 \text{ ou } 0,61 \text{ kN/m}^2$$

Cálculo dos coeficientes de pressão externos (C_{pe}):

$$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$$

$$\frac{13}{9} = 1,44 \text{ m}$$

$0,2 \times b$ ou h (o menor dos dois)

$$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$$

$$\frac{3,5}{9} = 0,39 \text{ m}$$

Sendo que:

a: comprimento da edificação retangular;

h: altura do pé direito da edificação retangular;

b: largura da edificação retangular;

Para α igual a 0°

Parede 1: $C_{pe} = -0,8$

Parede 2: $C_{pe} = -0,8$

Telhado 1: $C_{pe} = -0,7$

Telhado 2: $C_{pe} = -0,7$

Para α igual a 90°

Parede 1: $C_{pe} = 0,7$

Parede 2: $C_{pe} = -0,4$

Telhado 2: $C_{pe} = -0,4$

Para obter o valor de (C_{pe}) para o telhado 1 a 90° foi necessário fazer a interpolação.

✓ **Ângulo do telhado;**

$$tg^{-1}(0,386) = 21,14^\circ$$

✓ **Interpolação do ângulo**

Os ângulos presentes na Tabela 10 que estão entre estão entre o ângulo real de $21,14^\circ$ são os ângulos de 20° e 30° e seus respectivos coeficientes de pressão externos equivalem a -0,4 e 0 respectivamente.

Por regra de 3 definiu-se o valor do C_{pe} para o telhado 1:

$$30^\circ - 20^\circ = 10^\circ$$

$$21,14^\circ - 20^\circ = 1,14^\circ$$

$$10^\circ - 1,46^\circ = 8,86^\circ$$

Por regra de 3 definiu-se o valor do C_{pe} para o telhado 1:

$$10 \rightarrow 0,4$$

$$8,86 \rightarrow X$$

$$X = 8,86 \times 4 = 35,4 = \frac{35,4}{10} = 0,354$$

$$\therefore \text{Telhado 1: } C_{pe} = 0,354$$

Coefficientes de pressão internos (C_{pi}):

Neste estudo de caso, cujo objetivo é o estudo da cobertura, considera-se como sendo uma edificação de planta retangular com as 4 faces permeáveis, adotando-se $C_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo). Em seguida, é apresentado as combinações dos coeficientes de pressão a 0° (Figura 14) e a 90° (Figura 15).

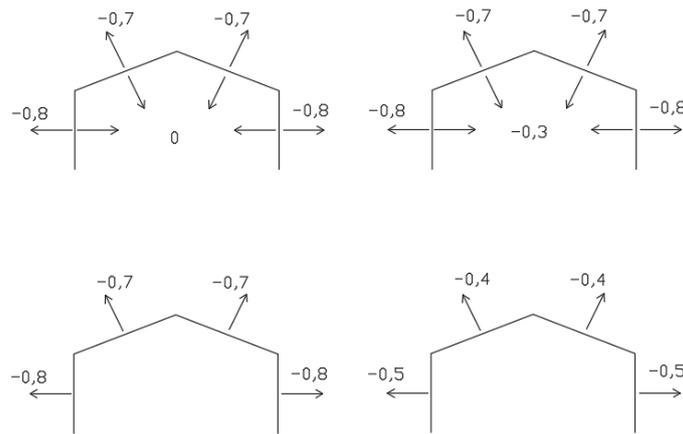


Figura 14 - Combinações dos coeficientes de pressão a 0°. Fonte: autores.

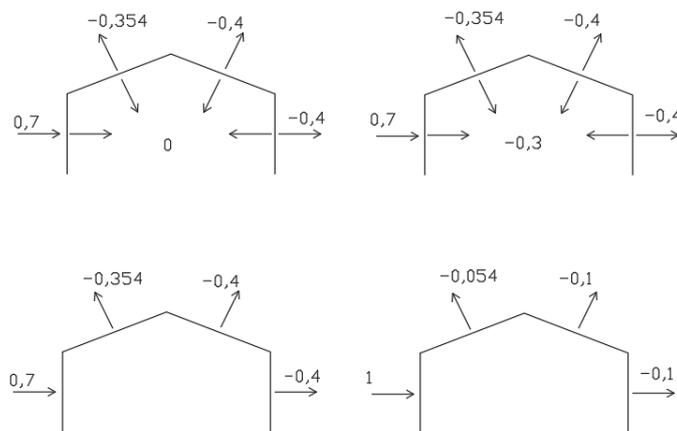


Figura 15 - Combinações dos coeficientes de pressão a 90°. Fonte: autores.

Em seguida soma-se o C_e com o C_{pi} e multiplica-se com a coeficiente de pressão (q) para determinar os esforços resultantes (Figura 16 e 17).

$$C_e + C_{pi} \times q$$

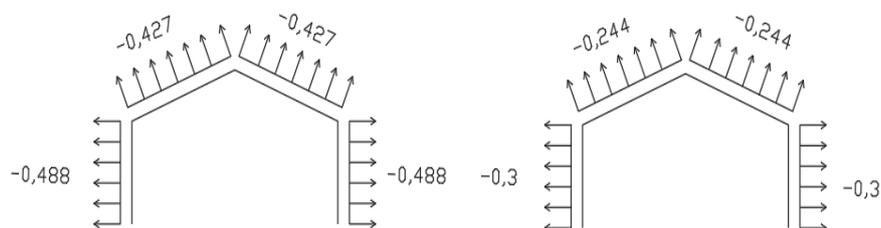


Figura 16 - Esforços resultantes a 0°. Fonte: autores.

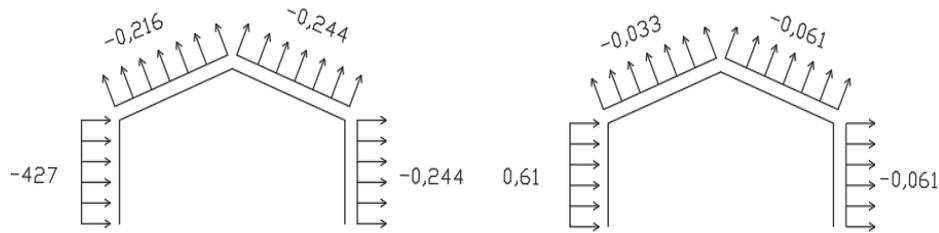


Figura 17 - Esforços resultantes a 90°. Fonte: autores.

Dimensionamento das ligações soldadas

Nesse projeto todas as forças solicitantes das terças são menores que 45kN, com isso, para essas peças, foi dimensionado as ligações por solda baseado nessa condição. Dessa forma, a ligação soldada foi calculada conforme o número de barras indicado na Figura 18.

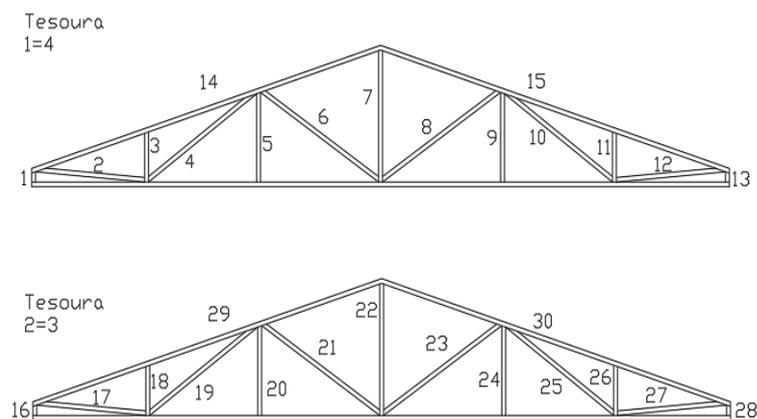


Figura 18 - Número de barras das tesouras. Fonte: autores.

✓ Comprimento mínimo do cordão;

$$L \geq 4b \leq 40 \text{ mm}$$

$$4 \times 3 = 12 \text{ mm ou } 1,2 \text{ cm}$$

Todas as barras precisam ter o comprimento do cordão $\geq 1,2$ cm.

✓ Espessura da garganta do filete

$$t = 0,707 \times 0,3 = 0,2121 \text{ cm}$$

✓ **Comprimento efetivo do cordão de solda (l) para cada barra;**

Eletrodo E60: $f_w = 415 \text{ MPa}$ ou $41,5 \text{ kN/m}^2$

Barra 1:

$$4,39 = \frac{A_w \times (0,6 \times 41,5)}{1,35} \rightarrow A_w = \frac{4,39 \times 1,35}{0,6 \times 41,5} \rightarrow A_w = 0,238 \text{ cm}^2$$

$$l = \frac{0,238}{0,212} = 1,12 \text{ cm}$$

Considerando-se a repetição dos cálculos, os demais valores referentes às demais barras numeradas são apresentadas na Tabela 3.

Para as terças:

Comprimento efetivo do cordão de solda para as terças com a solicitação máxima de $2,33 \text{ kN} < 45 \text{ kN}$.

$$45 = \frac{A_w \times (0,6 \times 41,5)}{1,35}$$

$$A_w = 2,44 \text{ cm}^2$$

$$t = 0,707 \times 3 = 0,212 \text{ cm}$$

$$l = \frac{2,44}{0,212} = 11,5 \text{ cm para cada tesoura}$$

A Tabela 3 apresenta o dimensionamento da solda para todas as barras

Tabela 3 – Cálculos do dimensionamento da ligação soldada

Barras	Normal máxima (kN)=Rd	Aw (cm ²)	b (cm)	t = 0,707 x b (cm)	L (comprimento efetivo do Filete em cm)
1	4,39	0,24	0,30	0,2121	1,20
2	9,35	0,51	0,30	0,2121	2,39
3	2,46	0,13	0,30	0,2121	1,20
4	2,70	0,15	0,30	0,2121	1,20
5	0,42	0,02	0,30	0,2121	1,20
6	2,43	0,13	0,30	0,2121	1,20
7	2,86	0,16	0,30	0,2121	1,20
8	2,66	0,14	0,30	0,2121	1,20
9	0,44	0,02	0,30	0,2121	1,20
10	2,80	0,15	0,30	0,2121	1,20
11	2,61	0,14	0,30	0,2121	1,20
12	9,57	0,52	0,30	0,2121	2,45
13	4,52	0,25	0,30	0,2121	1,20
14	8,18	0,44	0,30	0,2121	2,09
15	8,15	0,44	0,30	0,2121	2,08
16	10,67	0,58	0,30	0,2121	2,73
17	23,50	1,27	0,30	0,2121	6,01
18	5,99	0,32	0,30	0,2121	1,53
19	7,26	0,39	0,30	0,2121	1,86
20	1,05	0,06	0,30	0,2121	1,20
21	5,77	0,31	0,30	0,2121	1,47
22	6,78	0,37	0,30	0,2121	1,73
23	6,35	0,34	0,30	0,2121	1,62
24	1,09	0,06	0,30	0,2121	1,20
25	7,32	0,40	0,30	0,2121	1,87
26	6,36	0,34	0,30	0,2121	1,63
27	18,51	1,00	0,30	0,2121	4,73
28	11,05	0,60	0,30	0,2121	2,82
29	20,69	1,12	0,30	0,2121	5,29
30	20,64	1,12	0,30	0,2121	5,28

Fonte: autores.

O fator de redução β só se aplica a soldas longas, levando-se em conta a desconformidade na distribuição de tensões onde $L > 100 \times b$, portanto:

$$100 \times 0,3 = 30 \text{ cm}$$

Então $100 \times b$ é maior que L, portanto o fator de redução não se aplica ao caso.

Dimensionamento das ligações parafusadas

Para efeito de cálculo foi considerado os coeficientes Y_q e Y_g seguintes para cada carga, sendo que Y_q é o coeficiente de ponderação para o peso próprio e Y_g o coeficiente de ponderação para a sobrecarga e vento. ($Y_g = 1,4$; $Y_q=1,4$).

Todas as peças de madeira utilizadas têm a menor dimensão de 6 cm, como mostra a Figura 19.

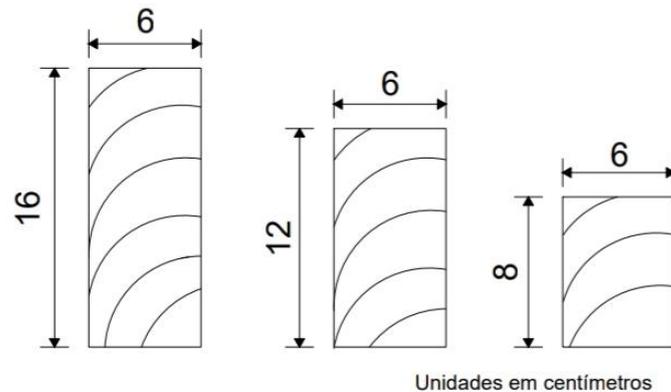


Figura 19 - Dimensões das peças de madeira adotadas. Fonte: autores.

✓ **Cálculo do embutimento da madeira;**

Determinou-se os valores para os coeficientes de modificação:

$K_{\text{mod},1} = 0,6$ (classe de carregamento permanente)

$K_{\text{mod},2} = 1,0$ (umidade relativa do ambiente de 70%, classe de umidade 2)

$K_{\text{mod},3} = 1,0$ (madeira serrada de primeira categoria)

$$K_{\text{mod}} = 0,6 \times 1,0 \times 1,0 = 0,6$$

$$f_{c0,d} = 0,6 \times \frac{41,36}{1,4} = 17,72 \text{ MPa}$$

$$f_{e90,d} = 0,25 \times 17,72 \times 1,68 = 7,44 \text{ MPa}$$

✓ **Cálculo do diâmetro de pré-furação;**

$$d_0 = 12,5 + 0,5 = 13 \text{ mm}$$

✓ **Cálculo da resistência do pino;**

$$\beta = \frac{6}{1,25} = 4,8 \text{ cm}$$

$$\beta_{lim} = 1,25 \sqrt{\frac{240/1,1}{17,72}} = 4,38 \text{ cm}$$

$$\beta > \beta_{lim}$$

$$R_{vd,1} = 0,40 \times \frac{60^2}{4,8} \times 17,33 = 5199 \text{ N} = 5,2 \text{ kN}$$

✓ **Flexão do pino;**

$$R_{vd,1} = 0,625 \times \frac{1,25^2}{4,38} \times 218,18 = 48,64 \text{ MPa} = 4,86 \text{ kN}$$

✓ **Dimensionamento do parafuso ao cisalhamento;**

$$A_p = \frac{\pi \times (1,25^2)}{4} = 1,23 \text{ cm}^2$$

$$R_{nv} = 0,7 \times 1,23 \times 0,6 \times 82,5 = 42,62 \text{ kN}$$

$$\text{Resistência ao cisalhamento: } 0,65 \times 42,62 = 27,7 \text{ kN}$$

✓ **Dimensionamento por pressão de contato em furos;**

Esmagamento sem rasgamento ($\alpha = 3,0$)

$$A_b = 1,25 \times 0,5 = 0,625 \text{ cm}^2$$

$$R_n = 3 \times 0,625 \times 82,5 = 154,7 \text{ kN}$$

$$\text{Resistência de pressão de contato: } 0,75 \times 154,7 = 116,02 \text{ kN}$$

Esmagamento com rasgamento entre dois furos consecutivos ($\alpha_s = 3,0$)

$$3 = \frac{S}{1,3} - 0,5$$

$$S = 4,55 \text{ cm}$$

Esmagamento com rasgamento entre um furo e uma borda situada à distância “e” do centro do furo ($\alpha_e = 3,0$)

$$3 = \left(\frac{e}{1,3} \right) - 0$$

$$e = 3 \times 1,3 \rightarrow e = 3,9 \text{ cm}$$

Como as cargas atuantes na tesoura 1 são idênticas as da tesoura 4 e as da tesoura 2 são idênticas a tesoura 3, determinou-se as ligações da tesoura 1 e 2 e depois multiplicou-se pelo total de ligações de acordo com o número de nós indicados Figura 20. A Tabela 4 demonstra os cálculos das ligações.

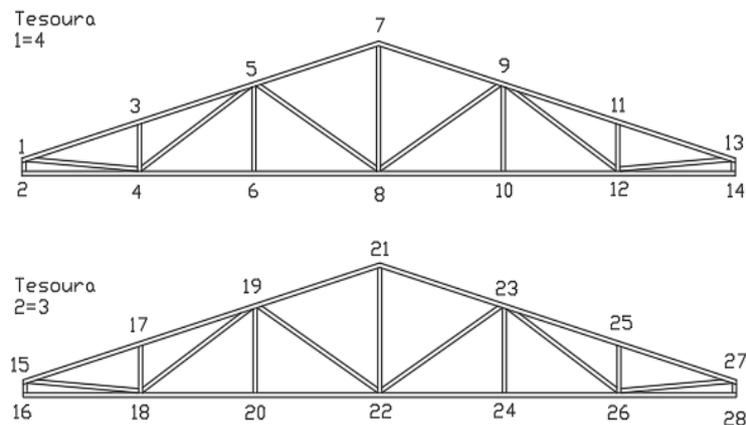


Figura 20: Número de nós das tesouras. Fonte: autores.

Tabela 4 – Cálculos do dimensionamento da ligação soldada

Nó	Normal máxima (kN)	Sd/Rvd,1	Número de pinos exigido/nó
1	5,25	1,08	2
2	3,56	0,73	2
3	2,39	0,49	2
4	3,04	0,63	2
5	2,37	0,49	2
6	1,15	0,24	2
7	7,98	1,64	2
8	2,77	0,57	2
9	2,98	0,61	2
10	0,50	0,10	2
11	2,53	0,52	2
12	5,36	1,10	2
13	5,36	1,10	2
14	3,67	0,76	2
15	14,25	2,93	3
16	9,34	1,92	2
17	6,03	1,24	2
18	14,25	2,93	3
19	5,65	1,16	2
20	1,27	0,26	2
21	20,91	4,30	5
22	6,90	1,42	2
23	8,32	1,71	2
24	1,30	0,27	2
25	6,40	1,32	2
26	14,63	3,01	4
27	14,63	3,01	4
28	9,62	1,98	2

Portanto, para as tesouras 1 e 2 foram necessários 65 pinos metálicos, totalizando 130 pinos para as tesouras 1, 2, 3 e 4.

Levantamento de custo das estruturas

Após o dimensionamento final das estruturas de acordo com as normas exigidas e verificações em E.L.U, o software gerou uma Tabela resumo com o quantitativo de materiais e dimensões das peças utilizadas presente no apêndice A deste trabalho. Com isso, o levantamento de custo das estruturas foi realizado por meio dessa Tabela e com base em pesquisas de mercado na cidade de Araçatuba-SP. As Tabelas 5 e 6 apresentam os custos finais da estrutura de madeira e da metálica respectivamente.

Tabela 5 – Custo da estrutura de madeira

Peças	Unidades	Preço (R\$)	Quantidade	Preço total (R\$)
Tesoura, viga 16 x 6 cm	m	17,50	36,00	630,00
Tesoura, caibros 8 x 6 cm	m	7,75	103,76	804,1245
Terças, caibros 12 x 6 cm	m	12,00	89,52	1074,24
Cantoneira de aço 15 x 8 x 0,5 cm	Unidade	50,00	4,00	200,00
Chapa metálica pé de galinha 16 x 10 x 8 x 0,5 cm	Unidade	50,00	4,00	200,00
Chapa metálica 15 x 8 x 0,5 cm	Unidade	3,50	16,00	56,00
Chapa metálica 30 x 25 x 0,5 cm	Unidade	20,00	8,00	160,00
Chapa metálica 25 x 20 x 0,5 cm	Unidade	13,50	16,00	216,00
Parafuso fixação da telha na madeira	Unidade	0,75	156,00	117,00
Parafuso francês 1/2' x 10 cm	Unidade	3,00	130,00	390,00
Verniz 3,6 L, 110 m ² por demão	Unidade	69,90	2,00	139,80
Aguarrás 900 ml	Unidade	14,90	2,00	29,80
Cumeeira 30 x 30 x 100 cm	Unidade	30,00	13,00	390,00
Telha termoacústica	m ²	58,70	126,62	7432,59
Mão de obra	m ²	45,00	117,00	5265,00
Mão de obra para aplicação do verniz na madeira	m ²	10,00	117,00	1170,00
Valor total da estrutura				18.274,56

Fonte: autores.

O material utilizado foi a madeira serrada da espécie *Goupia glabra Aubl* de primeira categoria. O valor da mão de obra foi determinado de acordo com a quantidade de metros quadrados em planta baixa da edificação. As peças de madeira receberam duas demãos de verniz para proteção contra intempéries e organismos xilófagos. Por conta do pé direito

ter sido de apenas 3,5 m, a edificação dispensou o uso de guincho para içamento das tesouras no processo de montagem.

Tabela 6 – Custo da estrutura metálica

Peças	Unidades	Preço (R\$)	Quantidade	Preço total (R\$)
Tesoura, U 150 x 60 x 20 x 3,75 mm	m	26,60	37,60	1000,16
Tesoura, U 75 x 40 x 15 x 2,00 mm	m	11,70	102,158	1195,25
Terças, U 150 x 60 x 20 x 2,00 mm	m	15,00	89,52	1347,27
Parafuso com gancho de fixação da telha no aço	Unidade	0,70	156,00	109,20
Telha termoacústica	m ²	58,70	126,62	7432,59
Fundo para aço 3,6 L, 40 m ² por demão	Unidade	109,00	2,00	218,00
Aguarrás 900 ml	Unidade	14,90	2,00	29,80
Cumeeira 30 x 30 x 100 cm	Unidade	30,00	13,00	390,00
Mão de obra	m ²	40,00	117,00	4680,00
Mão de obra para aplicação do fundo no aço	m ²	10,00	117,00	1170,00
Valor total da estrutura				17.572,27

Fonte: autores.

O material utilizado foi o aço ASTM A36. Para as tesouras adotou-se o perfil U simples e para as terças o perfil U enrijecido. O valor da mão de obra da estrutura metálica também foi determinado de acordo com a quantidade de metros quadrados em planta baixa da edificação, sendo incluso também os custos com eletrodo E60 para a execução das ligações por solda de filete. As peças de aço receberam duas demãos de fundo para proteção contra intempéries que ocasionam ferrugem e corrosão. Por conta do pé direito ter sido de apenas 3,5 m, a edificação dispensou o uso de guincho para içamento das tesouras no processo de montagem.

CONCLUSÕES

Com base no projeto escolhido para o estudo de caso, as duas estruturas tiveram custos muito parecidos, sendo que a estrutura de madeira apresentou um custo ligeiramente maior. A montagem da estrutura de aço pode ser executada parcialmente ou totalmente fora do canteiro de obras, ao contrário da estrutura de madeira que é executada totalmente in loco, aumentando os custos com mão de obra, gerando entulhos e atrasando o processo de montagem.

Em relação às ligações, parte fundamental para garantir a estabilidade do telhado, a estrutura metálica foi mais vantajosa pelo fato da solda permitir um aproveitamento total do material, garantindo uma quantidade menor de peças, reduzindo o tempo de detalhe, fabricação e montagem. Além disso, as estruturas soldadas são mais rígidas, pois suas peças são ligadas diretamente umas nas outras, ao contrário da ligação parafusada que é ligada com auxílio de chapas metálicas.

Apesar das estruturas terem um custo final muito parecido, deve-se considerar os futuros gastos com manutenção das mesmas. Enquanto a estrutura de madeira sofre com o ataque de organismos xilófagos e com a presença de nós e fendas nas peças que causam torções e perda de suas propriedades estruturais, a estrutura metálica sofre com a ferrugem e corrosão. Contudo, mesmo quando tratadas, a estrutura metálica possui uma vida útil maior, enquanto que a estrutura de madeira deve ser tratada anualmente contra intempéries e organismos deterioradores.

Portanto, de acordo com o estudo de caso realizado, conclui-se que a estrutura metálica foi mais vantajosa economicamente e funcionalmente frente a de madeira para as condições fixadas neste trabalho.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se que os ensaios de compressão e tração paralela às fibras da madeira sejam feitos com corpos de prova com 12% de umidade como descreve a NBR 7190 (1997), utilizando inclusive extensômetros e relógios comparadores para determinar o módulo de elasticidade da madeira. Recomendam-se também, cálculos mais aprofundados sobre a deformabilidade, flechas e fluência dos materiais.

Referências bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR 6650**: Chapas finas a quentes de aço-carbono para uso estrutural. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 8800**: Projeto de estruturas em aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – método dos estados limites. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 7190**: Projeto de estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BELLEI, I. Hélio. **Edifícios industriais em aço**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

BORGES, A. de C. **Prática das pequenas construções**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

BROGNI, J. P. **Estruturas de aço para telhado**: Uma visão comparativa entre o tradicional e o inovador. Porto Alegre, RS. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

CALIL, C. Júnior; Brito L. Dussarrat. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 1. ed. São Carlos: EESC/USP, 2010.

CALIL, C. Júnior; CESAR, J. M. **Coberturas em estruturas de madeira**: Exemplos de cálculo. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **CSN**. 2011. Disponível em <http://coral.ufsm.br/decc/ECC8058/Downloads/Aco_na_Construcao_Civil_CSN.pdf> Acesso em 27 mar. 2018.

ECOFRAME. **Perfis estruturais para telhados**. 2018. Disponível em <<http://www.ecoframe.inb.br/produtos>> acesso em 05 maio 2018.

LORENZI, Harry. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009.

METALICA. **Cobertura: os diversos tipos e suas características**. 2018. Disponível em <<http://wwwo.metallica.com.br/coberturas-os-diversos-tipos-e-suas-caracteristicas>> Acesso em 01 maio 2018.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de projetos de telhados em estrutura de madeira**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

PFEIL, Walter. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e europeia EUROCODE 5**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

PINHEIRO, A. C. da Fonseca B. **Estruturas metálicas: Cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2005.

REGIONALTELHAS.COM.BR. **Telha Termoacústica PU**. 2018. Disponível em <<http://www.regionaltelhas.com.br/produto/2/45/telha-termoacustica-pu>> Acesso em 30 ago. 2018.

SOBRAL, Leonardo *et al.* **Acertando o alvo 2**: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. 1. ed. Belém: Imazon, 2002.

ZENID, G.J. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2 ed. São Paulo: SVMMA, 2009.

Utilização parcial e total de resíduos cinza no concreto auto adensável

Partial and total use of gray waste in self-compacting concrete

Dameres Mariano P. Montanholi¹

Gisele Fugi Barufaldi²

André Luis Gamino³

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo minimizar os impactos ambientais e viabilizar o concreto auto adensável (CAA) nas obras. Tomando ciência de seu custo para a construção o considerando uma das matérias primas mais utilizadas nos dias de hoje. A intenção é de unir resíduos cinzas, derivados de concreto, CP's, blocos estruturais, grautes entre outros no CAA, com o foco de economizar. Foi substituído parcialmente o agregado graúdo do CAA, com os resíduos gerados pela construção. Para comprovar essa ideia, realizou-se vários ensaios visando as propriedades do concreto fresco, para otimizar sua resistência no estado endurecido com o menor custo possível. O agregado é utilizado na sua fração graúdo em três percentuais 30%, 50% e 100% de substituição, com o objetivo de atingir a resistência de 20MPa. Feito uma análise com os mesmos ensaios em um concreto auto adensável referência para o comparativo do concreto substituído com os resíduos cinza. Com isso se deixa economicamente um concreto mais rentável e ainda sim ter a mesma ou até maior a segurança e resistência a compressão axial.

Palavras-Chave: Concreto auto adensável (CAA); Resíduo Cinza (RC); Sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this paper is to minimize the environmental impacts and to make feasible the self-compacting concrete (CAA) in the works. Taking science of its cost to the building considering one of the most used raw materials these days. The intention is to join ash residues, concrete by-products, CP's, structural blocks, grates among others in the CAA, with the focus of economizing. The CAA aggregate was partially replaced with the residues generated by the construction. To prove this idea, several tests were carried out aiming the properties of the fresh concrete, to optimize its resistance in the hardened state with the lowest possible cost. The aggregate is used in its large fraction in three percentages 30%, 50% and 100% of substitution, aiming to reach the resistance of 20MPa. Made an analysis with the same assays in a self-compacting concrete reference to the comparative of the concrete replaced with the gray residues. This leaves a more cost effective concrete

¹ Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

² Acadêmico de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

³ Prof. Dr. do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP. Orientador de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

economically and still has the same or even greater safety and resistance to axial compression.

Keywords: Self-compacting concrete (CAA); Gray residue (RC); Sustainability.

Introdução

Sustentabilidade é uma palavra que vem crescendo cada vez mais em todas as áreas, com a preocupação ao meio ambiente hoje em dia é cada vez mais presente o reaproveitamento de água e geração de energia limpa. Mas a indústria da construção civil é pouco sustentável, pois são completamente esquecidos os entulhos gerados em grandes volumes pela mesma. As cidades crescendo exageradamente vem criando um problema para o meio ambiente, toda obra seja pequena ou de grande porte gera entulhos da construção civil que pode acabar sendo despejado em lugares indevidos, sendo que a maior parte desses materiais podem ser reciclados.

Resolução CONAMA 307 e a atribuição de responsabilidade compartilhada sob os resíduos sólidos da construção civil aos geradores, transportadores e gestores municipais. Com atualização realizada posteriormente – Resolução 348/2004 – que determina que o gerador como principal responsável pelo gerenciamento desses resíduos.

Se a indústria da construção civil que mais consome recursos naturais reciclar seus resíduos e reutilizar nas suas obras conseqüentemente reduz a extração de matéria-prima e ajuda diminuir os custos na obra. De acordo com a ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), a construção civil é responsável por 1/3 dos gases lançados na atmosfera em todo o mundo. Em porcentagem, isto significa algo em torno de 25% a 30%, sendo assim, um dos setores que mais poluem no planeta.

O entulho chega a representar 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos. Segundo dados internacionais, o total de geração de resíduos varia de 163 a mais de 300 quilos por habitante/ano (MESQUITA, 2012). Pensando em soluções para estes problemas, este trabalho trata da reutilização de resíduos cinzas oriundos de construções, como mostra na figura 1, para a produção do concreto auto adensável.



Figura 1: Resíduo Cinza gerado pela construção civil.

Fonte: Dantas (2017).

A construção civil é um grande consumidor de materiais que em muitos casos não tem uma destinação correta, como observado na figura 2. Observando que o volume gerado é duas vezes maior que os resíduos urbanos, as empresas responsáveis precisam agir e ter uma postura mais rígida a respeito da destinação dos entulhos.



Figura 2: Resíduos descartados irregularmente.

Fonte: Dantas (2017)

Quando destinada de forma inadequada, como mostra na figura 2, degrada a qualidade de vida nas zonas urbanas, pois o acúmulo de entulho pode facilitar a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças.

Reciclar resíduos oriundos da construção traz vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como:

- Reutilizar os resíduos da obra para novas operações sem a necessidade de novas compras, ajuda tanto na economia quanto na parte ambiental;

- O descarte incorreto dos entulhos pode causar assoreamento, entupimento de bueiros e valas que é totalmente contra a saúde pública;
- Todo o resíduo obtido na obra pode ser triturado e transformado em novos agregados miúdos e graúdos para utilização;

Neste trabalho será proposto mostrar uma possibilidade de utilizar resíduos cinza de construção na confecção do concreto auto adensável. O objetivo é minimizar a geração de entulhos nas obras, áreas urbanas, reduzir o consumo e a extração de matérias-primas, assim atuando a sustentabilidade na construção civil.

Materiais e métodos

NBR NM 67 (1998) Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone

Esta norma é aplicável para concretos plásticos com adensamento superior ou igual a 10 mm, e somente para agregados inferiores a 37,5mm. Todo material é feito de metal para não ser atacado pelo cimento e ser facilmente danificado.

“Slump Test”

Dimensões do cone:

- ✓ Diâmetro da base inferior: 200 mm \pm 2 mm;
- ✓ Diâmetro da base superior: 100 mm \pm 2 mm;
- ✓ Altura: 300 mm \pm 2 mm ante o ensaio

Nivelou-se a placa metálica para receber o cone para efetuar o “Slump Test” e umedeceu-a. Feito isto foi coletada uma amostra de concreto em aproximadamente 30 litros com o auxílio de um balde de metal, posicionou-se com o orifício de 100mm voltado para baixo apoiado com os pés sobre a placa metálica para manter o cone estável. O cone foi preenchido em 3 camadas iguais e encheu-se cada camada

rapidamente aplicando uma sequência de 25 golpes com a haste, tomando cuidado para não atingir a camada inferior.

Ao final da última camada já compactada com seus 25 golpes, retirou-se o excesso de concreto que havia sobre a superfície do cone, com o auxílio de uma régua metálica e da haste, retirou-se o cone lentamente e na vertical e o foi posicionado invertido ao lado do abatimento do concreto, com o auxílio da haste sobre o cone invertido e com a régua.

Imediatamente mediu-se o resultado entre o ponto médio do concreto e o eixo da haste para resultado do *slump*.

Abaixo nas figuras 3 e 4 ilustra os passos para o *slump*.



Figura 3 Posicionamento sobre a placa Fonte: Autores.



Figura 4: Cone e Slump. Fonte: Autores.

NBR 15823-2 (2017) Método do cone de Abrams “Flow

Test” – Para concretos auto adensáveis.

Cone de Abrams, conforme a ABNT NBR NM 67 (1998).

Nivelou-se a placa metálica e após o resultado do “*Slump Test*” adicionou-se o aditivo e alguns instantes depois, coletou-se uma amostra aproximada a 18 litros com o auxílio de um balde metálico, com o orifício do cone maior de 200mm voltado para baixo apoiado sobre a placa metálica, adicionou-se essa amostra ao cone e puxou-se na vertical, para que fosse medido o espalhamento do concreto com o auxílio da régua, já com a haste, passou-se ela sobre o concreto “espalhado” para verificar sua plasticidade e trabalhabilidade como mostra nas figuras 5, 6 e 7.



Figura 5: Cone na Vertical

Fonte: Próprio autores.



Figura 6: Resultado do flow.

Fonte: Próprio autores.

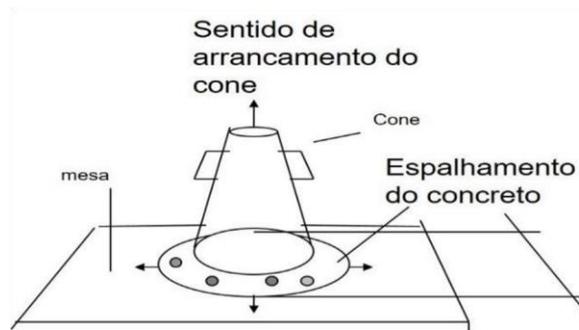


Figura 7: Cone do Flow com a abertura maior voltada para baixo.

Fonte: Centro Universitário Luterano de Palmas.

NBR 5738 (2016) Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova

Como o concreto em que estamos trabalhando se trata de um concreto especial, vale ressaltar a nota que a NBR 5738 – (2016) nos traz no item 7.4.1 dizendo: *“Para concretos especiais, o procedimento de moldagem pode ser modificado de modo a simular o adensamento a ser empregado na obra, de acordo com o responsável pela obra”*.

- Quantidade de CP's.

Lembrando mais uma das notas da NBR 5738 – (2016), *“Em casos especiais, os corpos-de-prova podem ser desmoldados em idades mais recentes e esse fato deve constar no relatório do ensaio.”*

Baseando-se na NBR 5739 (2018) foi adotado as seguintes idades de rompimento, seguindo a formula que estipula a norma.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \cdot S_d$$

Fonte: NBR 5739 (2007)

Onde:

f_{cm} é resistência média à compressão de concreto, em megapascals (MPa); f_{ck} é resistência característica à compressão de concreto, em megapascals (MPa); S_d é desvio-padrão, em megapascals (MPa).

15 corpos de prova (10x20) com idade de rompimento de 12 horas (3 CP's), 3 dias (3 CP's), 7 dias (3 CP's), 14 dias (3 CP's) e 28 dias (3 CP's) (se um corpo de prova aos 28 dias não atingir a resistência requerida em projeto, romperemos o último com 63 dias) como mostra na tabela 1.

Tabela 1 - Cronograma de rompimento dos CP's

Quantidade de CP's	Tempo de Rompimento
3	12 horas
3	3 dias
3	7 dias
3	14 dias
3	28 dias

Fonte: Próprio autor

Como mostra na figura 9, a moldagem deve-se respeitar as seguintes orientações, por se tratar de um concreto que se auto adensa sem a necessidade de nenhum tipo de vibrador. Com o auxílio do balde metálico utilizado para retirar o *flow*, se adicionou-se todo concreto fluido nos CP's apenas preenchendo todo espaço do corpo de prova (100 mm x 200 mm).

No Item 7.5 da NBR 5738 – (2016), fala que *“Independentemente do método de adensamento utilizado, após o adensamento da última camada deve ser feito o rasamento da superfície com a borda do molde, empregando para isso uma régua metálica ou uma colher de pedreiro adequada.”*



Figura 8: Quantidade total de CP's para os ensaios de 30% de RCC
Fonte: Autores.



Figura 9: Quantidade total de CP's para os ensaios de 30% de RCC
Fonte: Autores.

Já para rompimentos destes CP's, foi utilizada uma prensa locada “in loco” na obra modelo, calibrada e automática em questões de força e velocidade a ser aplicado em virtude dos resultados a ser obtido pelo ensaio a compressão axial.

Conforme ilustra-se na figura 10.



Figura 10: Prensa locada na obra

Fonte: Autores.

Dados da Prensa: Marca:
Solotest
Modelo: 1501110

Resultado em: kgf

Força aplicada: 1000 a 6000 kgf

Especificação: Bomba elétrica / indicador digital

O laudo de calibração desta prensa se encontra como anexo no final deste trabalho como cópia do original.

- *Efeito escala.*

5 corpos de prova (150x300mm) com idades de rompimento de 12 horas (1 CP), 3 dias (1 CP), 7 dias (1 CP), 14 dias (1 CP) e 28 dias (1 CP) (tabela 2).

Tabela 2 - Cronograma de rompimento dos CP' para efeitos comparativos

Quantidade de CP's	Tempo de Rompimento
1	12 horas
1	3 dias
1	7 dias
1	14 dias
1	28 dias

Fonte: Autores.

Como mostra a figura 11, a moldagem deve-se respeitar as seguintes orientações por se tratar de um concreto que se auto adensável sem a necessidade de nenhum tipo de vibrador. Com o auxílio do balde metálico utilizado para retirar o *flow*, se adicionou-se todo concreto fluido nos CP's apenas preenchendo todo espaço do corpo de prova (150 mm x 300 mm).



Figura 11: Quantidade de CP's para os ensaios de 30% de RCC.

Fonte: Autores.



Figura 12: Quantidade de CP's 15x30 para os ensaios de RCC. Fonte: Autores.

Resíduos cinza da construção civil

Foram utilizados resíduos cinzas oriundos de CP's, blocos estruturais e grautes da obra escolhida em Araçatuba. Estes resíduos foram preparados em uma Usina (JC) (figura 13) de reciclagem e triagem em São José do Rio Preto - SP a fim de se obter o material reciclado a ser utilizado nesse trabalho em substituição parcial do agregado graúdo.



Figura 13: Trituradora da Usina JC em São José do Rio Preto

Fonte: Autores.



Figura 14: Resíduos cinza no processo de trituração. Fonte: Autores.

Todo resíduo que chega na Usina JC (Figura 14) é separado conforme sua classificação, após o processo de triagem todo material de construção civil é jogado através de uma pá carregadeira na trituradora. A trituradora tem capacidade de separar agregados miúdos (Figura 15) e agregados graúdo, para a realização do nosso trabalho escolhemos agregados graúdo, mais especificamente brita 0 (Figura 16).



Figura 15: Peneira de agregado miúdo.

Fonte: Autores.



Figura 16: Peneira de agregado graúdo.

Fonte: Autores.

Os resíduos que não caem através das peneiras são deslocados através de uma esteira sendo assim jogados no solo com a opção de ser triturado novamente ou ter outros fins (Figura 17).



Figura 17: Resíduos maiores sendo jogado ao solo

Fonte: Autores.

A Usina JC não separa resíduos cinza de outros, então para a execução do nosso trabalho a fim de obter um resultado melhor, separamos e levamos nosso próprio resíduo cinza, para que não houvesse contaminação com outros resíduos de construção a trituidora foi desligada e limpa, no final de cada peneira colocamos uma lona para que não tivesse contato com o solo ou outros resíduos.

Cálculo do traço.

Para cálculo do traço do concreto a ser produzido (tabela 3), usou-se o método INT de dosagem; desta forma como modo inicial determinou-se a resistência a compressão axial desejada de 20 MPa a ser usada para início dos cálculos.

Tabela 3: Quantitativo de materiais 2

CIMENTO	29,69 kg
AGREGADO MIÚDO	45,42 kg
AGREGADO GRAÚDO	72,44 kg
ÁGUA	16,09 l

Fonte: Autores.

Cálculo resistência de dosagem.

A NBR 12655 (2015) estabelece que a resistência de dosagem deva seguir as premissas de oscilação presente na construção, desta forma após a resistência estabelecida anteriormente deve ser aplicada a equação abaixo para cálculo do desvio padrão estabelecido.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 * S_c$$

Fonte: NBR 12655 (2015) Onde:

f_{cm} : é resistência média à compressão de concreto, em megapascals (MPa);

f_{ck} : é resistência característica à compressão de concreto, em megapascals (MPa);

S_d : é desvio-padrão, em megapascals (MPa);

A relação água/cimento é dada pela forma abaixo.

Relação a/c :

$$a/c = 1,05616 e^{(-0,002487 * f_{c28})}$$

Fonte: Tartuce (1989) Onde:

f_{c28} : é resistência característica à compressão de concreto, em (kgf/cm²).

Observando a formula acima é possível analisar que a proporção de água/cimento e a resistência f_{c28} são inversamente proporcionais.

A partir da relação água/cimento estabelecido é possível definir a porcentagem de agregados miúdos, aplicando novamente o valor f_{c28} já estabelecido acima, na equação abaixo, determinando assim a porcentagem de agregados miúdos.

A porcentagem de agregados miúda diretamente a resistência f_{c28} , a quantidade de agregado miúdo em excesso ou em falta demanda mais água ou menos água afetando diretamente a relação de resistência.

% Areia:

$$Areia = 97,27494 * f_{c28}^{(-0,17257)}$$

Fonte: Tartuce (1989)

Após a determinação de porcentagem de agregados miúdos, é estabelecido a finalidade de aplicação do concreto relacionado à trabalhabilidade do mesmo.

Esta trabalhabilidade é estabelecida com o resultado que se deseja ter no teste *slump*.

Esta relação de água/materiais secos é utilizada na sequência para auxiliar na determinação do agregado graúdo a ser usado, ou seja, a partir do *slump test* desejado, utiliza-se a tabela 4 a seguir para escolha da brita a ser usada.

Tabela 4: Relação *Slump* test e diâmetro nominal da brita

Diâmetro Nominal (mm)			ST
9,5	19	25	(cm)
11,40	10,25	9,75	14
11	10	9,5	12
10,90	9,75	9,25	10
10,70	9,50	9	8
10,20	9,25	8,75	6
10	9	8,50	4

Fonte: Tartuce (1989)

Assim a quantidade de agregado pode ser obtida por meio de a equação a seguir.

$$h(\%) = \frac{A/c}{(1 + m)}$$

Fonte: Tartuce (1989) Onde: $h(\%)$: é o valor do diâmetro nominal encontrado na tabela, sendo aplicado em (%) m é quantidade total em proporção dos agregados.

Desta forma, ao encontrar o valor de m , é necessário que se faça a determinação das proporções dos diferentes agregados aplicados, esse cálculo é feito utilizando as seguintes equações.

$$a = \% \text{ areia} * m$$

Fonte: Tartuce (1989) Onde:

a : é a proporção de agregado miúdo.

$$p = m * a \text{ Fonte:}$$

Tartuce (1989) Onde:

p : é a proporção de agregado graúdo.

Após os cálculos para encontrar os componentes utilizados para produção do concreto, tendo assim a fração ou traço em massa.

$$\text{fração: } 1; a; p; a/c$$

O traço a seguir foi o encontrado nos cálculos para aplicação e sequência do trabalho.

$$\text{fração: } 1; 1,53; 2,44; 0,542$$

A composição do quantitativo de cimento este indicado na expressão abaixo, sendo ela apresentada em quilogramas por metro cúbico.

$$C = \frac{1000}{\left(\frac{1}{315}\right) + \left(\frac{a}{2,65}\right) + \left(\frac{p}{2,65}\right) + a/c} = 424,16 \text{ kg/m}^3$$

O consumo de cada material presente no concreto é feito com a multiplicação das frações calculada pela quantidade encontrada de cimento.

A expressão abaixo determina as quantidades de material a ser usado para a produção de um metro cúbico de concreto.

Areia:

$$424,16 * 1,53 = 648,96 \text{ kg/m}^3$$

Brita:

$$424,16 * 2,44 = 1034,95 \text{ kg/m}^3 \text{ Água:}$$

$$424,16 * 0,542 = 229,89 \text{ kg/m}^3$$

Partindo-se do fato no qual a quantidade de concreto muito grande em relação ao gasto na prática experimental, a norma NM 33 (1998) permite uma produção mínima de 30 litros de amostra para ensaio de resistência a compressão axial.

A partir dessa premissa da norma foi feito o cálculo de relevância dos consumos encontrados anteriormente para se obter uma nova quantidade de amostra mínima imposta pela norma.

$$\text{Consumo de água} \rightarrow x = 424,16 * 0,05$$

$$x = 21,20 \text{ kg para cada 50 litros de concreto}$$

Aditivo Superplastificante tipo II (aditivo de alta redução de água)

Segundo a NBR 11768 (2011) no item 3.8 descreve que esse aditivo sem modificar a consistência no estado fresco, permite elevadíssima redução no conteúdo de água de um concreto ou que sem alterar a quantidade de água, aumenta consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto, ou, ainda, aditivo que produz esses dois efeitos simultaneamente. Nesta classificação o aditivo não apresenta função secundária sobre a pega.

Para este trabalho foi adotado a cada 1m³ de concreto será acrescentado o equivalente à 2,5 litros de Aditivo e para cada m³ adicionado, foi agitado por 1 minuto.

Traço do Aditivo.

1:2,5:1

Água

A água destinada ao amassamento do concreto é responsável pelas propriedades ligantes, oriundas da reação química entre esses materiais. Quanto maior for a relação água/cimento em massa, a porosidade da pasta obtida será menor, portanto, maior a resistência do concreto.

Resultados

Após obter todos os resultados mostrado na tabela 4, pode-se notar a viabilidade das britas recicladas, observando o resultado de 7 dias substituindo 100% das britas por britas recicladas obtendo um resultado de 19,17 MPa, sendo maior que o mesmo período para o concreto referência.

O fato de que as britas recicladas já possuem um certo percentual de cimento CPV e o aditivo superplastificante, sendo eles os responsáveis por acelerar todo processo de cura desse concreto para torná-lo mais eficaz pelo seu curto tempo de se obter altas resistências, ajudam com que no traço novo tenha uma alta resistência

Tabela 4 - Resultado dos Resultados mais satisfatórios em MPa

Idade / Ensaio	Concreto ref	30% (frio)	50%	100%
Slump (cm)	6,01	6,42	5,85	6,34
Flow (cm)	69	71	70	73
12 horas (MPa)	4,14	3,96	7,79	10,68
3 dias (MPa)	12,45	9,07	10,81	15,82
7 dias (MPa)	14,72	12,54	13,98	19,97
14 dias (MPa)	23,57	18,73	20,24	30,43
28 dias (MPa)	27,85	23,46	23,78	33,21

Fonte: Autores.

Diferente das demais análises a análise que continham 100% das britas recicladas mostrado na figura 17 apresentou um resultado mais que satisfatório sendo de 10,68 MPa com apenas 12 horas, superando o resultado de 4,14 MPa do concreto referência.

Já para as idades de rompimento de 3, 7, 14 e 28 dias foram superadas todas as resistências do concreto referência sendo ainda maior do que a esperada de projeto sendo 33,21 MPa.

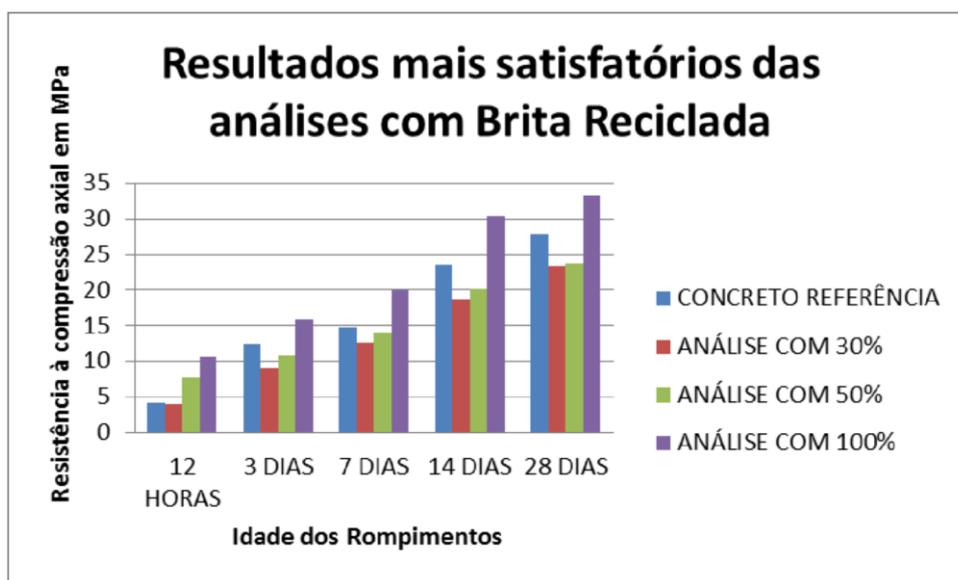


Figura 18: Resíduos maiores sendo jogado ao solo.

Fonte: Autores.

Observou-se também que os valores já recalculados de fck de cada concreto analisado se mostraram satisfatórios sendo de 26,47 MPa para o concreto referencia, 22,46 MPa para a análise com 30% de brita reciclada, 20,32 MPa para a análise com 50% de brita reciclada e por fim 31,33 MPa para a análise com 100% de brita reciclada.

E observando atentamente estes resultados, vale ressaltar a maneira no qual as britas agem com o traço, mostrando que sua maior viabilidade e melhores resistências, acontecem melhor quando utilizadas de uma maneira total sobre o traço a ser aplicado.

Conclusão

A partir das análises do ensaio mecânico de compressão axial, é possível concluir que o uso dos resíduos cinza é viável não somente na substituição parcial do agregado graúdo, mas também na substituição total usado no concreto auto adensável.

O concreto referência e o concreto com o resíduo cinza apresentaram uma trabalhabilidade adequada para a moldagem dos corpos de prova, dentro dos limites abordados pelas normas, conforme a norma NM 67 (1998). O teste de espalhamento atingiu os níveis necessários para considera-lo auto adensável.

Na substituição do agregado graúdo por 30% de resíduo cinza os valores superaram desde as primeiras idades os valores referência, indicando sua possibilidade de uso, já na idade de 14 dias de cura do concreto, alcançando os valores de resistência a compressão axial esperados.

Ao observar os resultados da análise que continha 50% de resíduo cinza, notou-se que o mal manuseio dos CP's no momento no qual foi moldado, não o deixando perfeitamente estático (sem movimentação), atingiu de maneira direta na resistência desta análise, o deixando com a menor resistência entre as demais, sendo que ela deveria ser o resultado intermediário das análises, sendo caracterizado com uma resistência de 20,32 MPa.

O resultado encontrado de rompimento com adição de 100% de resíduos cinza na idade de 28 dias teve um aumento de 5,36 MPa comparado com o concreto de referência, sendo caracterizado com a resistência a compressão axial de 31,33 MPa, possibilitando inicialmente o seu uso como concreto não estrutural devido a necessidade de maiores estudos em relação a suas características físico-químicas. No presente estudo realizado observou-se que a utilização dos resíduos cinza em uma obra, poderia deixá-la mais econômica, pelo fato de não precisar descartar o material e sim utilizar no CAA. Com isso conseguiu-se alcançar o objetivo proposto que era a substituição do agregado graúdo pelos resíduos cinzas da construção civil conseguindo superar a resistência a compressão axial inicial estipulada projeto a 20 Mpa.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR 15823-1: Concreto auto adensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. NBR 15823- 2: Concreto auto adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento– Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. NBR 5738 - Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. NBR 5739 - Concreto: ensaios de compressão de corpo-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. NBR 15823-6: Concreto auto adensável. Parte 6: Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação. Rio de Janeiro, 2010. _____. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 7211: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. NBR ISO 3310-1 - Peneiras de ensaio: requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. NBR NM 33 - Concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. NBR NM 67 - Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. NBR 11768 – Aditivos para Concreto de Cimento Portland requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7ª ed. São Paulo: ABCP, 2002.

TU, T. Y.; CHEN, Y. Y.; HWANG, C. L. Properties of HPC with recycled aggregates.

Cement and Concrete Research, Elmsford, v. 36, p. 943-950, 2006.

TURATSINZE, A.; GARROS, M. On the modulus of elasticity and strain capacity of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates. Resources, Conservation and Recycling, Amsterdam, v. 52, n. 10, p. 1209-1215, 2008. PROF. PAULO HELENE E PAULO TERZIAN. Manual de Dosagem e Controle do Concreto São Paulo (1993) Ed. Pini.

VIEIRA, L. G; DAL MOLIN, C. D; LIMA, B. F. Corrosão em armaduras de concretos obtidos com agregados reciclados de construção. In: SEMINÁRIO

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6. (2003) São Paulo. Anais... São Paulo: IBRACON, 2003. 1 CD-ROM.

HANSEN, T.C. RILEM Report 6 - Recycling of Demolished Concrete and Masonry. London, E& FN SPON na imprint of Chapman & Hall. 1992.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Diário Oficial da Resolução nº 307, de 17 de julho de (2002).

MESQUITA, E. F. T. et al. Avaliação das propriedades reológicas da pasta auto adensável com incorporação de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA – ENICIT, 9. (2009),

Fortaleza. Anais... Fortaleza: IFCE (2009)

CAVALCANTI, D. J. H. Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto adensável visando sua aplicação em elementos estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió (2006).

ZHANG, S. Q. et al. Self-compacting concrete, worldwide experience. In: SHI, C. et al. (Eds.). Proceedings of 2nd. International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC. Bagnoux: RILEM (2009). p. 831–840 MELO, K. A. Contribuição a dosagem de concreto auto adensável com adição de fíler calcário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (2005).

BAZUCO, R. S. Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

GOMES, P.C.C.; BARROS, A.R. Métodos de dosagem de concreto auto adensável. 1 ed. São Paulo: PINI, 2009 p.165-169.

BRANCO, R. P. Utilização de resíduos de concreto em concreto auto adensável. Ilha Solteira. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2012.

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Disponível em: <<http://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>>. Acesso em: 12 de maio 2018.

MESQUITA A. S. G; Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em teresina, Piauí. Instituto Federal do Piauí (2012)

KUNZLER R. S. Influência da substituição parcial de agregados de rcd classe cinza em concretos auto adensáveis. Trabalho de conclusão de curso. Universidade federal do Pampa (2015).

FERNANDA GIANNOTTI DA SILVA(1); JEFFERSON B. L. LIBORIO (2).

Departamento de Engenharia de Estruturas – LMABC. A importância da seleção de materiais para concretos de elementos estruturais submetidos à ação de cloretos.

ALMENDRA, F. J. – Aditivos e adições minerais para concreto. Ministério da Educação Universidade Federal do Paraná Setor de Tecnologia Departamento de Construção Civil (2014).

ANAIS do 52º Congresso Brasileiro do concreto CBC2010. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/marcosanjos/artigos-publicados/efeito-da-adicao-decinza-da-biomassa-da-cana-de-acucar-como-finos-no-concreto-auto-adensavel>.

Acesso em: 14 de maio 2018.

WEBARTIGOS - Concreto auto adensável: sua característica e aplicação. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/concreto-auto-adensavel-suacaracteristica-e-aplicacao/127070>. Acesso em: 17 Junho 2018

Controle de entrada de alunos utilizando reconhecimento biométrico multi facial

Access control of students using multi-facial biometric recognition

Andrew Santana Castilho¹
Bruno Jyun Kometani²
Thayrone de Moraes Costa³
James Clauton da Silva⁴

RESUMO

Este trabalho se constitui na construção de um sistema de reconhecimento facial, que captura a imagem em tempo real e realiza o processo de reconhecimento por meio das imagens salvas e treinadas, onde a presença do indivíduo será computada quando ele for reconhecido e identificado por carteira de estudante em um sistema de catracas. O objetivo deste trabalho é a concepção de um sistema de reconhecimento de múltiplas faces para o controle de entrada/presença de alunos, trabalhando em conjunto com a autenticação feita pela catraca. O reconhecimento facial é uma das formas e técnicas de reconhecimento encontradas dentro da área de biometria, sendo uma forma não intrusiva de se realizar o reconhecimento de faces de pessoas. O reconhecimento é realizado através da detecção da face do indivíduo e em seguida é feita a análise, o processo de reconhecimento e, por último, a identificação da pessoa. O sistema proposto realiza a autenticação por dois fatores, sendo uma feita pelo reconhecimento facial do indivíduo e a outra feita por meio de cartões RFID nas catracas. Os testes demonstraram que o sistema realiza o reconhecimento de múltiplas faces embora o número de faces influencia diretamente no tempo de processamento, ou seja, quanto mais faces encontradas na imagem, o tempo para processá-las aumenta gradativamente. O sistema desenvolvido é capaz de realizar o reconhecimento de múltiplas faces e computar a presença através de cartões RFID embora o tempo de processamento seja alto. Uma possível solução para tal lentidão é implementar um processamento em paralelo onde o trabalho de processamento das imagens seja dividido entre os núcleos com o objetivo de diminuir o tempo de processamento das imagens.

Palavras-Chave: Biometria Facial. Controle de Entrada. Reconhecimento Multi Facial. Autenticação por dois fatores.

ABSTRACT

This paper constitutes the construction of a facial recognition system, which captures the image in real time and performs the recognition process through saved and trained images, where the individual's presence will be computed when he is recognized and identified by a card. student in a turnstile system. The objective of this work is the conception of a system of recognition of multiple faces for the control of entrance / presence of students, working together with the authentication made by the turnstile. Facial recognition is one of the forms and techniques of recognition found within the area of biometrics, being a non-intrusive

¹ Acadêmicos do 12º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: andrew-castilho@hotmail.com

² Acadêmicos do 12º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: kometanijyun@gmail.com

³ Acadêmicos do 12º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: thayrone_moraes@hotmail.com

⁴ Engenheiro da Computação, Mestre em Engenharia Elétrica, Doutorando, pela UNESP - Ilha Solteira; docente dos cursos de Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas, Tecnologia em Jogos Digitais e Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professorjames@unisalesiano.com.br

way of performing the recognition of people's faces. The recognition is carried out through the detection of the individual's face and then the analysis, the recognition process and, finally, the identification of the person are made. The proposed system performs authentication by two factors, one made by facial recognition of the individual and the other made by means of RFID cards in turnstiles. The tests showed that the system performs the recognition of multiple faces although the number of faces directly influences the processing time, that is, the more faces found in the image, the time to process them gradually increases. The developed system is capable of performing the recognition of multiple faces and computing the presence through RFID cards although the processing time is high. A possible solution to this slowness is to implement parallel processing where the image processing work is divided among the cores in order to decrease the processing time of the images.

Keywords:

Facial Biometrics. Entry Control. Multi-Face Recognition. Authentication by two factors.

INTRODUÇÃO

A rápida evolução da tecnologia possibilitou um aumento na velocidade de processamento dos computadores, tornando viável a realização de tarefas que, até então, não seriam possíveis. Tarefas como análises de dados, processamento paralelo, robótica, redes neurais e processamento de imagens. Uma das áreas da computação que foi impactada diretamente pelo avanço do processamento de redes neurais, juntamente com estudos sobre visão biológica, foi a Visão Computacional.

Os estudos sobre Visão Computacional vêm ganhando um papel significativo na sociedade. As pessoas estão interessadas na capacidade de segurança que a tecnologia pode proporcionar no meio. Um dos tipos de investimentos que ganharam destaque no uso de visão computacional foram os sistemas de segurança, que tem como objetivo a verificação da autenticidade do indivíduo. (SILVA, 2008)

Existem alguns pontos negativos ao utilizar um fator conhecido pelo indivíduo como autenticação, como por exemplo: Ao utilizar senhas, as mesmas podem ser facilmente visualizadas, tanto a olho nu como em seu meio de transporte, caso não seja criptografada; um intruso que consiga invadir um computador do sistema de autenticação pode obter as senhas; uma senha fácil ou mal escolhida pode ser descoberta e/ou um intruso pode “quebrar a senha” tentando exaustivamente por meio de algoritmos de força bruta que tentam todas as possíveis combinações de um vocabulário.

Mas com o uso de características biológicas (biometria) para autenticação, há uma garantia da identidade da pessoa na autenticação, pois são utilizadas características únicas do indivíduo presente.

Um dos tipos de biometria muito utilizada para a área da segurança é o reconhecimento facial. O reconhecimento facial funciona através de 3 etapas, sendo elas: a detecção da face, o reconhecimento e a identificação do indivíduo.

Neste trabalho será apresentado a concepção de um projeto de sistema de reconhecimento multi facial, integrado a um controle de acesso, neste caso, a catraca, para controlar a entrada de alunos na instituição de ensino, visando uma maior segurança e eficácia, eliminando possíveis falhas de identificação de alunos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algoritmo para Detecção de Faces

Existem diversos algoritmos e bibliotecas que fornecem métodos para se realizar a detecção de faces. Entre eles, OpenCV, OpenBR, OpenFace, Dlib, Caffe e outros. A escolha do algoritmo para realizar a detecção de faces foi baseada na velocidade do processamento de uma imagem e detecção das faces imersas no *frame*. Os algoritmos citados foram testados e, dentre eles, foi escolhido o Caffe.

Caffe (Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding) é um *framework* de aprendizado profundo (*deep learning*), feito com expressão, velocidade e modularidade. Foi desenvolvido pela Berkeley AI Research (BAIR) e por colaboradores da comunidade. Yangqing Jia criou o projeto durante seu doutorado na UC Berkeley. O Caffe é liberado sob a licença BSD 2-Clause.

Algoritmo para Reconhecimento Facial

K-NN: O algoritmo K-Vizinhos mais próximos (*K-Nearest Neighbor*) funciona como um classificador de dados onde o objetivo é definir a classe do objeto que está sendo analisado. O processo de classificação, considerando a regra do vizinho mais próximo (do inglês, *Nearest Neighbor*), é conduzido por meio da comparação entre tal objeto em análise e os objetos armazenados em um conjunto de dados de treinamento. Todos os objetos, em análise ou armazenados, são representados por um conjunto de características, as quais têm seus valores representados por objetos

do conjunto de treinamento, além de serem descritos por atributos característicos, eles ainda possuem um atributo classificatório (KOTSIANTIS, 2007).

Em termos formais, um objeto qualquer x_i de um conjunto de treinamento, X , é descrito por $x_i = \{x_1, x_2, \dots, x_d, c\}$, sendo x_d um atributo que descreve o objeto em características e c um atributo de classe. Desta maneira, para atribuir uma classe a um objeto em análise x (ou desconhecido por não se saber a classe c do objeto em análise) é necessário realizar uma comparação com os outros objetos do conjunto de treinamento, por meio das características descritivas. Quando os objetos do conjunto de treinamento têm disponível a informação da classe, ou seja, são objetos rotulados, diz-se que o algoritmo será utilizado para aprender sobre o conjunto de dados de treinamento utilizando um processo de treinamento supervisionado (DUDA *et al.*, 2000).

O processo de treinamento desse algoritmo é baseado em distância. Isto é, durante o processo de classificação é necessário realizar um cálculo de distância entre o objeto em análise e cada objeto armazenado no conjunto de treinamento (realizado por meio da distância euclidiana, baseado no teorema de Pitágoras), ordenar os objetos armazenados pelas menores distâncias e, finalmente, atribuir como classe do objeto em análise aquela que é a maioria das classes dos vizinhos mais próximos (WETTSCHERECK, 1994). Quanto menor for a distância euclidiana entre duas instâncias, mais similaridades estas instâncias terão. Logo, quanto menor o valor da distância euclidiana maior a eficiência na classificação de uma nova instância (MOREIRA, 2016), que receberá como classificação o classificador do vizinho mais próximo.

Python

Python é uma linguagem de programação de propósito geral. Portanto, foi projetada e desenvolvida para a implementação de softwares para uma ampla variedade de aplicações. Python tem sido muito usado para desenvolver aplicações para resolver problemas em biologia, computação, química, análise financeira, análise numérica, robótica e muitos outros campos. Também é amplamente usada como uma linguagem de script para os administradores de sistemas, que a usam para capturar e reproduzir sequências de comandos de sistemas operacionais (KALB, 2016).

Segundo a Python Software Foundation (1997), o Python permite trabalhar mais rapidamente e integrar seus sistemas de maneira eficaz através de uma codificação de alto nível utilizando variadas bibliotecas disponíveis para diferentes aplicações.

Trabalhos Relacionados

No trabalho de conclusão de curso de (SILVA; OSÓRIO, 2017) foi desenvolvido um sistema autônomo e inteligente de automação por reconhecimento facial para autorização de entrada de pessoal em ambientes restritos, compondo-se de um painel web para administração do sistema, um sistema de reconhecimento facial e um sistema para abertura/trancamento de portas. O sistema obteve 87% de acurácia para a detecção de vida e 92% de acurácia para o reconhecimento facial, tomando 71 segundos para responder a um requisitante. Apesar dos resultados obtidos, o projeto ainda está inviável como um produto final, devido ao algoritmo de detecção de vida e reconhecimento facial demorarem muito para autorizar um requisitante de acesso. Isso ocorreu pelo baixo poder computacional da Raspberry Pi 3 para processamentos em larga escala. A biblioteca utilizada, *OpenFace*, é otimizada para arquiteturas 64bits utilizando núcleos CUDA, porém a Raspberry Pi possui arquitetura 32bits sem suporte a CUDA. Dessa forma, a performance do sistema foi prejudicada.

O trabalho de conclusão de curso de (COSTA, 2015) foi proposto para o desenvolvimento de um sistema de reconhecimento facial utilizando redes neurais artificiais, sem peso para o reconhecimento de padrões. A rede neural, sem peso, foi implementada na linguagem Python. A rede neural, sem peso, pôde ser classificada como versátil, podendo ser utilizada em diferentes aplicações, uma vez que o sistema apresentou uma resposta satisfatória para o reconhecimento facial. Uma das maiores dificuldades mencionadas por Costa (2015) foi a luminosidade das imagens. A resposta da rede neural utilizada no reconhecimento foi dependente da luminosidade das imagens, ou seja, uma imagem de um mesmo rosto em diferentes intensidades de luminosidade resulta em respostas significativamente diferentes para a rede neural sem peso desenvolvida. Embora a luminosidade tenha sido uma barreira, pode-se concluir que o uso de redes neurais artificiais sem peso para o reconhecimento facial é promissor.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é projetar e elaborar um sistema biométrico de reconhecimento multi facial, que trabalhe em conjunto com uma ou mais catracas. O trabalho visa detectar e reconhecer uma ou várias pessoas ao mesmo tempo dentro de um ambiente e identifica-las se são ou não pessoas autorizadas a entrar.

O objetivo específico é garantir que pessoas não autorizadas a entrar, portando a carteira estudantil de um aluno ou alunos portando a carteira de um aluno colega não entrem na instituição de ensino.

METODOLOGIA

A abordagem proposta neste trabalho para o controle de entrada de alunos utilizando reconhecimento de múltiplas faces é composta por 4 fases. A primeira fase consiste em realizar o cadastro das informações do aluno e a captura de sua face; a segunda fase consiste em realizar o treinamento destas imagens capturas; a terceira fase é relacionada ao próprio reconhecimento facial, que faz a detecção e reconhece as faces obtidas de imagens em tempo real; e, a quarta fase consiste em fazer a emulação da catraca identificando a sua *tag* e verificando se o aluno foi reconhecido pelo sistema.

- Sistema

O sistema de reconhecimento facial foi desenvolvido em Python utilizando a biblioteca gráfica TKInter, para realizar a captura, treinamento e o reconhecimento foi utilizado as bibliotecas OpenCV e Dlib.

- Cadastro e Captura

No cadastro é feito a coleta de informações do aluno como o seu nome, o seu RA, e a *tag* da carteira, entre outros dados, e guardado em um banco MySQL. No próprio cadastro também é feita a captura da face do aluno. São tiradas *n* fotos do rosto do aluno, em cada uma das fotos o aluno deve virar o rosto em direções diferentes, além de fazer expressões diferentes, como fechar os olhos, fazer caretas, sorrir e abrir a boca. Se o aluno possuir óculos, deve também tirar as fotos com e sem óculos, com o intuito de fazer captura de faces que tenham a maior variabilidade possível de posições e expressões faciais. Estas fotos da face do aluno

são guardadas em uma pasta. Para a captura foi utilizado o Haar Cascade da biblioteca OpenCV para detecção de face.

- Treinamento

A parte do treinamento foi realizada de forma independente ao cadastro e captura, pelo motivo de ser um processo demorado, dependendo da quantidade de imagens capturas pelo sistema. O treinamento é a parte em que o sistema pega as faces das imagens tiradas dos alunos e realiza o treinamento para obter os valores e definir a classe da face. Primeiramente, o sistema identifica os 68 pontos faciais, depois estas faces passam em uma rede neural convolucional (CNN) que é fornecida pelo Dlib, fornecendo dados á arquivos que serão utilizados no reconhecimento.

- Reconhecimento

A fase do reconhecimento é realizada após o treinamento e foi feito da seguinte forma: após o treinamento, o sistema irá, de forma permanente, executar o reconhecimento, capturando as imagens em tempo real através de uma câmera⁵ e realizando o processo de reconhecimento, utilizando os arquivos fornecidos pelo treinamento. Quando alguma face é reconhecida pelo sistema, o RA é obtido através do arquivo de índice e assim altera o status de não reconhecido para reconhecido. Para reconhecer é feita, primeiramente, a detecção da face que é realizado através do *framework* Caffe, depois é feita a comparação dos valores do treinamento, com os valores da imagem obtida em tempo real, utilizando-se KNN. A imagem da face, em tempo real, também é aplicada aos pontos faciais e à rede neural, para obter os valores. Se a imagem mais próxima estiver abaixo do limiar, o aluno é reconhecido.

- Catraca

A emulação da catraca foi feita através de um leitor de RFID e um sistema que recebe a *tag* do cartão RFID e verifica se esta *tag* existe ou não no banco, identificando a quem pertence e se foi reconhecido pelo sistema, permitindo, assim, a autorização de entrada do aluno, quando este aluno passa o cartão. O sistema também utiliza a linguagem Python e biblioteca gráfica TKInter.

⁵ Webcam HD 720p C270 Logitech (3 megapixels)

- Materiais Utilizados

Para os testes foram comprados e utilizados os seguintes materiais:



Figura 1: Materiais Utilizados (Webcam, Leitor RFID, Cartões RFID e Câmera IP Intelbras).
Fonte: Autores.

Tabela 1: Preço dos materiais utilizados no trabalho

Produtos	Valor Cotação	Data Cotação	Valor Compra	Data Compra
Webcam HD 720p C270 Logitech	R\$ 119,80	13/10/2019	R\$ 123,09	22/05/2019
Leitor RFID 125Khz USB	R\$ 78,90	13/10/2019	R\$ 82,85	05/05/2019
10 Cartões Proximidade Rfid 125khz Em4100	R\$ 36,80	13/10/2019	R\$ 50,90	16/06/2019
Câmera IP Intelbras VIP 1220 Infravermelho, Full HD	R\$ 293,50	13/10/2019	R\$ 302,89	07/07/2019

Total: R\$ 559,73

Fonte: Autores.

- MÁQUINAS UTILIZADAS

Para os testes, foram utilizadas as seguintes máquinas e configurações:

a) Notebook Acer:

SO	Processador	Placa de Vídeo	Memória RAM	Armazenamento
Windows 10	Intel Core i7-7700HQ 2.80 GHz	NVIDIA GeForce GTX 1060 6 GB GDDR5	16GB DDR4 2400MHz	HD 2TB 5400 RPM

Comprado em 12 de agosto de 2018 por R\$ 4.800,00

b) Desktop:

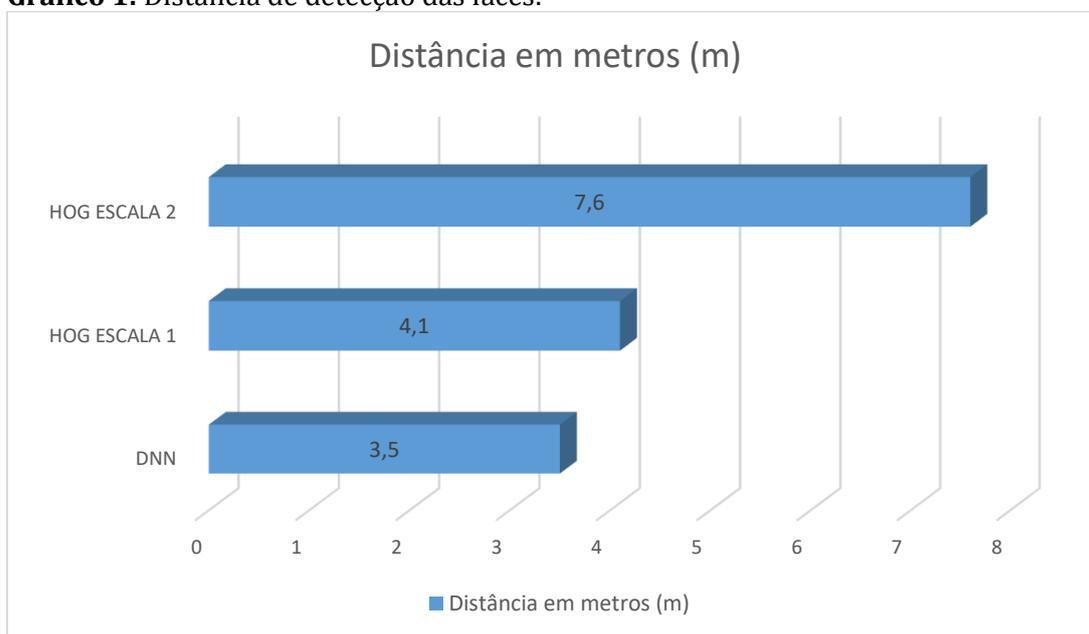
SO	Processador	Placa de Vídeo	Memória RAM	Armazenamento
Windows 10	AMD Ryzen 5 2400g, 3.6GHz	AMD Radeon RX 570 4GB GDDR5	8GB DDR4 2666MHz	HD 1TB 7200 RPM e SSD 240GB

Comprado em 25 de maio de 2019 por R\$ 2.500,00

RESULTADOS

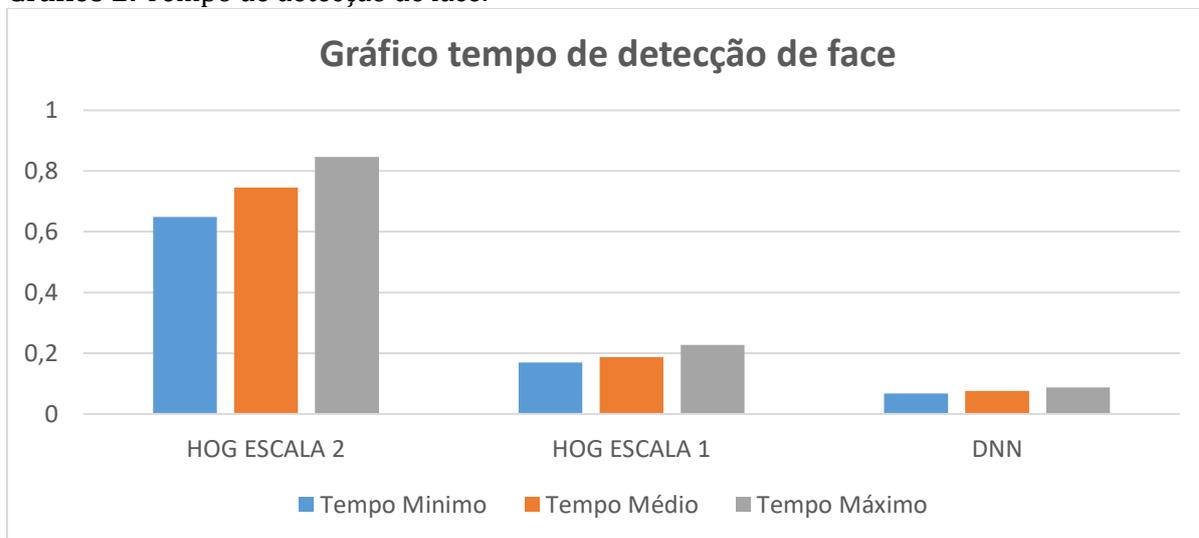
Utilizando o *Framework* Caffe e HOG como algoritmos de detecção facial, obtive-se os seguintes resultados:

Gráfico 1: Distância de detecção das faces.



Fonte: Autores.

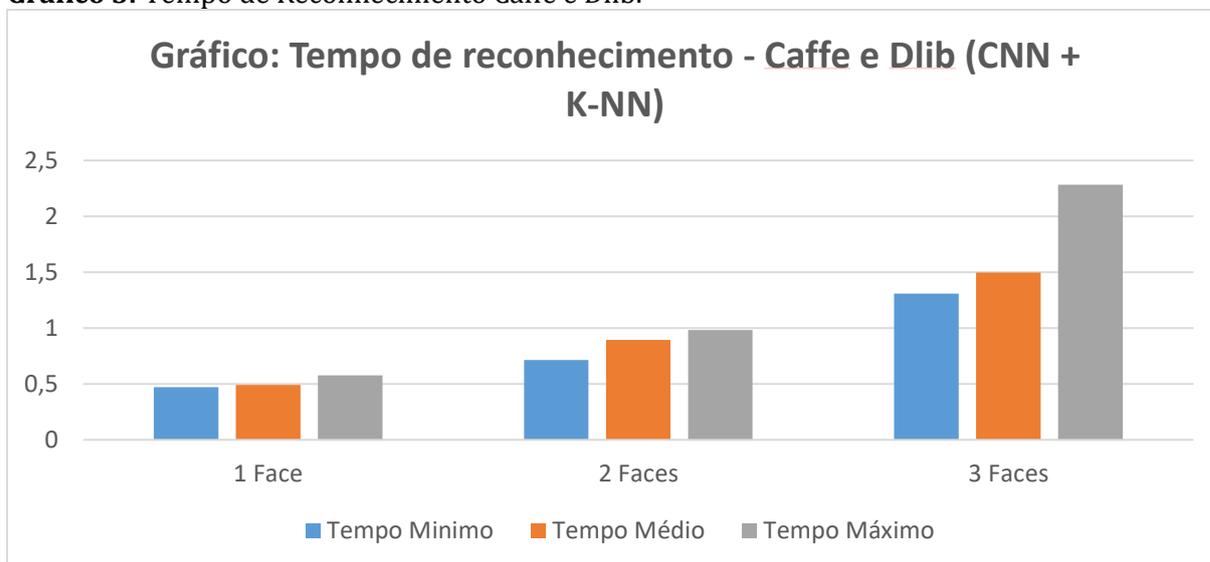
Gráfico 2: Tempo de detecção de face.



Fonte: Autores.

Nos resultados, a seguir, foram medidos o tempo de reconhecimento, dependendo do número de faces detectadas na imagem, utilizando os algoritmos, que foram implementados no projeto. Caffe, para detecção, e CNN + K-NN, para o reconhecimento:

Gráfico 3: Tempo de Reconhecimento Caffe e Dlib.



Fonte: Autores

CONCLUSÕES

O protótipo proposto no projeto foi capaz de realizar o reconhecimento de mais de uma face integrando com o sistema de catraca. A autenticação por 2 fatores, realizada pelo reconhecimento facial e pelo cartão RFID do aluno, apresentou ótimos resultados. O sistema computa a presença apenas se os dois fatores da autenticação forem satisfeitos.

Através dos testes, o sistema realizou o reconhecimento de 3 faces simultaneamente. É possível reconhecer mais de 3 faces, entretanto, para cada nova face detectada no *frame* capturado o tempo de processamento total aumenta aproximadamente 0,50 segundos. Este fator ocorre devido ao processamento de reconhecimento ser realizado de forma linear, ou seja, o sistema obtém a *frame* da imagem em tempo real e processa uma face por vez até finalizar todas as faces detectadas no *frame*.

Uma possível solução para a lentidão no processamento de várias faces no *frame* é implementar um processamento paralelo que consiga, para cada face de entrada, executar a Rede Neural Convolutacional extraindo as características

principais e realizar o reconhecimento através do algoritmo K-NN mencionado anteriormente. Esta pesquisa e implementação será realizada em trabalhos futuros.

Trabalhos Futuros

Como propostas de trabalhos futuros com o objetivo de melhorar o protótipo proposto, tem-se:

- Como mencionado anteriormente, o protótipo apresentou bons resultados, apesar do tempo de processamento aumentar para cada face detectada. Com o objetivo de melhorar o tempo de processamento para que seja possível reconhecer inúmeras faces em horários de pico (entrada na primeira aula e saída dos alunos), propom-se a pesquisa e implementação de um algoritmo que seja capaz de realizar o processamento de reconhecimento em paralelo, para reduzir o tempo de processamento.

REFERÊNCIAS

BRADSKI & KAEHLER, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, October 2008.

KALB, Irv. Learn to Program with Python. 1ª edição - Apress, 2016.

Python Software Foundation. Python.org. Disponível em: <<https://www.python.org/>> Acesso em: 15 fev.2019

Python Software Foundation. Comparing Python to Other Languages. Python.org. Disponível em: <<https://www.python.org/doc/essays/comparisons/>> Acesso em: 10 abr.2019

SILVA, Gabriel Pitágoras & BIZARRIA, Walter. Sistema de Controle de Acesso com Biometria Digital, Associação Educacional Dom Bosco, 2011.

SILVA, J, I, S. Reconhecimento facial em imagens de baixa resolução. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/16367>> Acesso em: 17 fev.2019.

SILVA, Leonardo C. de Paula e & OSÓRIO, Fernando Santos. Sistema Autônomo e Inteligente de Reconhecimento Facial para Autorização de Entrada de Pessoal em Ambientes Restritos. USP – São Carlos, 2017.

SILVA, Luis Gustavo Cordeiro. Certificação Digital - Conceitos e Aplicações. Editora Ciência Moderna, 2008.

Interpretador de livros destinado a pessoas com deficiência visual ou baixa visão

Book interpreter aimed at people with visual deficiency or low vision

Lucas da Silva¹
James Clauton da Silva²

RESUMO

Quando uma pessoa possui deficiência visual ela é limitada em ter acesso a livros e documentos impressos, com exceção dos escritos em *braille*. Com os tipos existentes de tecnologias atuais, é possível suprir uma grande parte deste problema, trabalhando com dispositivos e desenvolvendo um software autônomo que se possa capturar imagens de folhas impressas e, com o trabalho de algoritmos de tratamento de imagens, reconhecimento e extração de características, mostrar que é possível converter todo o texto impresso para áudio sintético, tirando a necessidade que exista uma outra pessoa para ler para alguém que possua deficiência visual e todos estes recursos há um baixo custo a nível de hardware e equipamentos. Aproveitando-se de uma revisão bibliográfica como base de estudo para a solução do problema da deficiência visual para acessos à livros e documentos, quer-se estabelecer respostas e resultados positivos que assegurarão o desenvolvimento de estudos e aplicações técnicas com boas chances de resultados satisfatórios para estas transmissões de leituras. Por isso mesmo, traçou-se como objetivos a utilização de sistemas de reconhecimento de imagem baseados em descritores, que podem permitir uma melhoria na sonorização da linguagem. Os resultados foram bastante satisfatórios, tanto na qualidade e visualização da fotografia, auxiliando na redução da margem de erros na interpretação sonora.

Palavras-Chave: Braille; Software; Tratamento de imagens; extração de características; Áudio sintético.

ABSTRACT

When a person has visual impairment, he is limited in having access to books and printed documents, with the exception of those written in braille. With the existing types of current technologies, it is possible to overcome a large part of this problem, working with devices and developing autonomous software that can capture images from printed sheets and, with the work of image processing, recognition and feature extraction algorithms. , show that it is possible to convert all printed text to synthetic audio, removing the need for someone else to read to someone who has visual impairment and all these resources have a low cost in terms of hardware and equipment. Taking advantage of a bibliographic review as a study base to solve the problem of visual impairment for access to books and documents, we want to establish positive responses and results that will ensure the development of studies and technical applications with good chances of satisfactory results for these readings transmissions. For this reason, the use of image recognition systems based on descriptors was established as objectives, which may allow an improvement in the sound of the language. The results were quite satisfactory, both in the quality and visualization of the photograph, helping to reduce the margin of errors in the sound interpretation.

Keywords: Braille. Software. Images treatment. Features extraction. Synthetic áudio.

¹ Acadêmico do 9º termo de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UniSALESIANO de Araçatuba.

² Engenheiro da Computação pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UniSALESIANO de Araçatuba, Mestre em Engenharia elétrica pela Unesp; Doutorando em Engenharia elétrica pela Unesp e docente do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UniSALESIANO de Araçatuba.

INTRODUÇÃO

Uma das principais características que tornam os deficientes visuais dependentes é o acesso à informação. Embora possa haver muitos livros transcritos para o *braille* e livros em formato digital de áudio, o acesso a estes materiais é muito restrito, assim como bibliotecas para suporte a deficientes visuais que são escassos, ficando geralmente em grandes centros e, muitas vezes, em outras cidades, tornando o acesso difícil, além de, na maioria das vezes, não sendo possível obter acesso a uma informação atualizada.

O estudo em desenvolvimento tem o propósito de prestar auxílio a pessoas que possuem problemas visuais, a obterem acesso livremente a livros impressos comuns e revistas, onde normalmente não teriam condições para interpretá-los por conta própria, sem ter que precisar da ajuda de alguém para poder ter acesso há um material atualizado que se deseja.

Para isso, os processos principais foram divididos em seis, consideradas essenciais para que o resultado esperado do dispositivo seja entregue. Estes processos englobam uma série de tarefas sobre um único setor específico do processo e são divididos em subprocessos que realizam funções de escala menor. Estes processos são a captura da fotografia, o tratamento de imagem, a interpretação e reconhecimento do texto impresso na imagem, a conversão do texto para áudio, a reprodução do áudio gerado para o usuário e a *thread* de controle dos botões físicos do dispositivo.

METODOLOGIAS

Revisão Bibliográfica

Os processos realizados em todas as etapas funcionais do projeto podem ser desenvolvidos em diversas linguagens de programação e tipos diversificados de tratamentos podem ser desenvolvidos para entregar o mesmo resultado.

Para entregar o resultado final, desde a captura da imagem com a câmera, é realizada uma série de atividades com nível de processamento distinto entre cada uma delas, como a captura da imagem com a câmera, o tratamento de imagem realizado na fotografia, a interpretação da imagem tratada para texto e a conversão do texto para áudio falado e, então, ser reproduzido. Estas atividades, entretanto, são todas interligadas entre si para que o dado seja processado, isto é, nenhuma influencia diretamente no trabalho da outra durante o processamento, mas todas precisam ser

executadas para que o resultado entregue seja concreto e direto, no caso da fotografia ao texto falado.

Câmera

A câmera é utilizada de forma direta, ligada por um cabo flat no dispositivo, e o módulo utilizado é a câmera do *Raspberry Pi*, como mostra a Figura 1. É possível que a imagem seja capturada de forma adequada, seguindo de um bom ângulo e uma iluminação adequada.



Figura 1 - Módulo de câmera do *Raspberry Pi*.. Fonte: autores.

O primeiro passo é regular a resolução da câmera, pois como indica o artigo de documentação da biblioteca, o componente da câmera vem configurado para a sua resolução máxima, que é de 2592 x 1944, embora seja uma resolução de alta qualidade, superior até mesmo ao *Full HD*. Esta extensão de imagem pode deixar o texto impresso presente na fotografia desfocado e o processamento de tratamento de imagem e reconhecimento com baixo desempenho, então, é necessário adaptar esta resolução para um tamanho adequado, no caso, com as dimensões de 1920 x 1080. O tempo que o dispositivo leva para capturar a foto também conta em quesito, pois quanto maior a fotografia, mais tempo é levado para a captura da foto, resultando então em uma diminuição do tamanho da fotografia, o que garante um maior foco na qualidade da imagem e um melhor desempenho em todos os aspectos com o seu uso.

Tratamento de Imagem

O tratamento de imagem é dividido em cerca de três processos distintos, sendo: a conversão da imagem em escala cinza, equalização de histograma e binarização da imagem.

A conversão de imagem em escala de cinza, também chamado de *grayscale*, é necessário para a aplicação do processo de binarização, que remove ruídos presentes na imagem reduzindo a margem de erros na interpretação da imagem para texto.

A execução de todos os algoritmos presentes na etapa de tratamento de imagem realiza operações que trabalham *pixel a pixel*, com os três canais de cores presentes na imagem, também chamado de *RGB* (*Red*, *Green* e *Blue*), representando as cores vermelha, verde e azul. Respectivamente, estas cores variam em um canal de 256 tonalidades, sendo 0 a ausência da cor (preto) e 255, a total presença da cor naquele *pixel*. Todos os quatro canais possuem esta variação de cor de forma única. Juntar estas cores em sua tonalidade máxima é formar a cor branca.

Os sistemas modernos de reconhecimento de imagem, baseados em descritores, geralmente operam em imagens em escala de cinza, com pouco sendo dito sobre o mecanismo usado para converter de escala de cores em escala de cinza. Isso ocorre porque a maioria dos pesquisadores supõe que o método de cores para tons de cinza é de pouca importância, quando se usam descritores robustos. No entanto, como muitos métodos de conversão em escala de cinza foram empregados na visão computacional, assim acredita ser prudente avaliar se essa suposição é justificável (KANAN C.; COTTRELL G. W. - University of California, 2012, p. 1. **Traduzido pelo autor**).

Para a conversão em escala de cinza é necessário igualar estas três tonalidades de *pixels* para que nenhuma se sobressaia sobre a outra e se mantenham em uma cor neutra, seja ela preta, branca ou uma tonalidade variada de cinza. O cálculo realizado *pixel a pixel* consiste em fazer a média da tonalidade das três camadas e aplicar esta medida no ponto específico do *pixel*, igualando todos os canais de cores deste *pixel* com o mesmo valor, caso a biblioteca de manipulação de imagem seja de quatro canais. O valor do último canal não deve ser alterado e mantido na forma como estava o original, pois este canal geralmente representa a transparência do *pixel* em relação a visualização da imagem. Um exemplo da conversão desta imagem é exemplificado na Figura 2.



Figura 2 - Imagem exemplo indicando o funcionamento da escala de cinza. Fonte: autores.

A execução da equalização do histograma auxilia na remoção de névoas da imagem, tornando a mais nítida possível conforme mostra a Figura 3 e Figura 4, melhorando o uso do próximo processo de binarização.

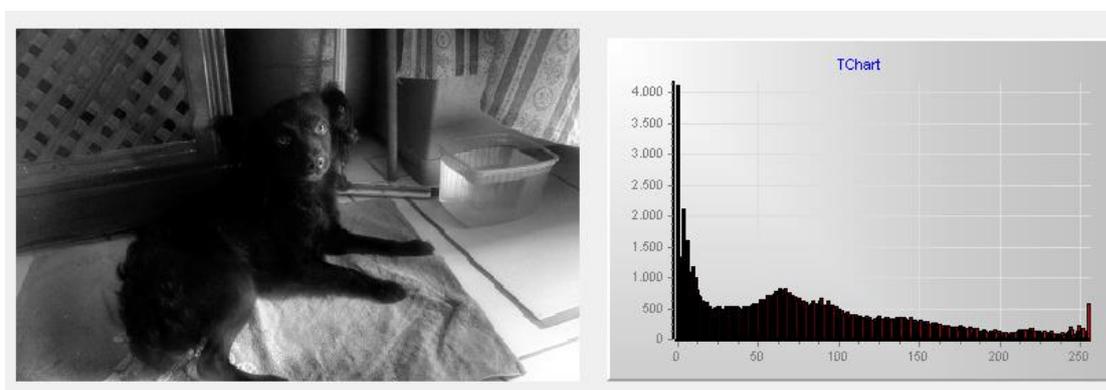


Figura 3 - Fotografia em escala cinza e seu respectivo histograma. Fonte: autores.

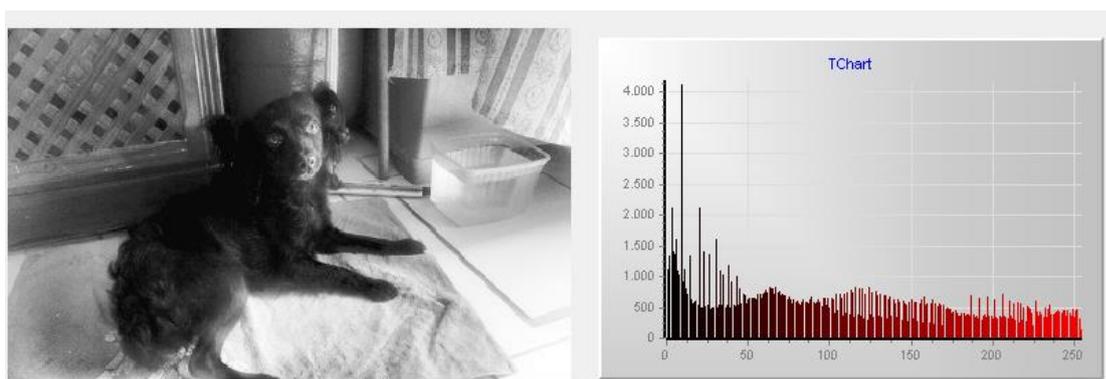


Figura 4 - Fotografia anterior com equalização de histograma aplicada. Fonte: autores.

O processo consiste em mapear todo o histograma da imagem e expandir este histograma para todo o intervalo da tonalidade do canal; neste caso, o intervalo é de 0 a 255 e o canal é único sendo monocromático neutro. Após a expansão do histograma, todas as tonalidades de cores dos *pixels* são alteradas para as que foram geradas a partir

Revista eSALENG – Revista eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO – Vol.8, n.2, 2019

deste histograma expandido, tornando a imagem com uma gama de cores maior que tem o campo de uso das tonalidades de todo o intervalo presente. Em outras palavras, a equalização de histograma neutraliza as camadas desreguladas de contraste e brilho presentes nos *pixels* seguindo como base o detalhamento do histograma.

Além de produzir intensidades que tenham essa tendência, o método que foi definido tem a vantagem adicional de ser totalmente “automático”. Também são notadas a simplicidade dos cálculos necessários para implementar a técnica (GONZALEZ; WOODS, 2008, p. 83).

A última etapa do processamento de imagem é a binarização da fotografia, que é muito importante para o resultado final, pois é a partir desta binarização que a interpretação da imagem por parte do *OCR (Optical Character Recognition)*, onde consiste em deixar a imagem de escala de cinza com apenas duas tonalidades extremas de cor, sendo elas o preto e o branco, conforme é possível ser visto na Figura 5, nenhuma tonalidade cinza é mantida na imagem.

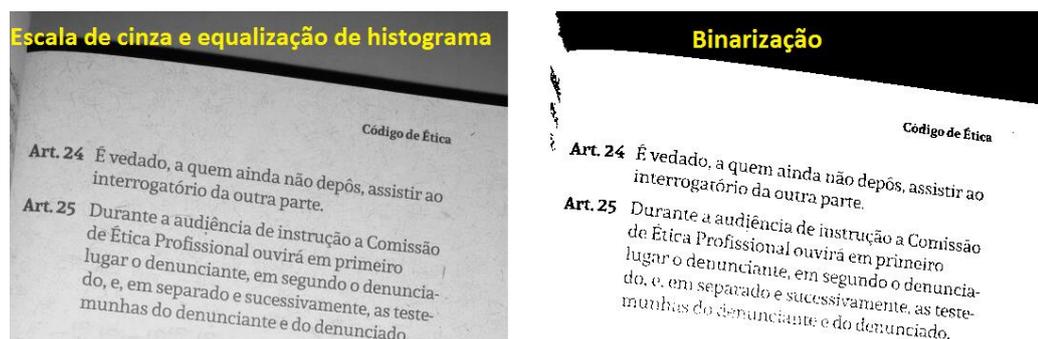


Figura 5 - Imagem com texto impresso sob efeito da binarização. Fonte: autores.

Mesmo que se altere drasticamente a forma de visualização da imagem, a execução do algoritmo é rápida e simplificada, pois ele verifica quão próximo das cores alvo a tonalidade de cada *pixel* está aproximada e realiza a substituição.

Uma das razões chave, quanto a etapa da binarização, é prever a falha e providenciar alta qualidade que é causado por graus de degradação introduzidos na imagem fonte. As razões para a degradação podem variar vindas de um tipo de fonte ruim e o processo de aquisição da imagem para o ambiente pode causar problemas diretamente para a qualidade da imagem. Como a degradação é uma das principais razões para o processamento falhar, é muito importante projetar a técnica de binarização para detectar e filtrar as possíveis imperfeições quem vem do conteúdo por

processamento e a potencial causa de erros para as etapas de pós-processamento. (SAUVOLA; PIETIKAINEN, 2000, p. 226. **Traduzido pelo autor**).

Reconhecimento de Caracteres

Com a etapa do tratamento de imagens concluído, é necessário que se realize a interpretação da imagem com a *framework* de OCR (*Optical Character Recognition*), que, neste caso, é utilizado o *Tesseract-OCR*, que inicialmente foi desenvolvido pela *Hewlett-Packard Laboratories Bristol* na *Hewlett-Packard Co, Greeley Colorado*, entre 1985 e 1994, com algumas alterações adicionais em 1996 para comportar o sistema operacional *Windows* e mais implementações desenvolvidas em *C++* em 1998. Em 2005, a *framework* teve seu código disponibilizado a todos pela *HP*. Desde 2006 é desenvolvido e mantido pela *Google*.

O reconhecimento de caracteres funciona de maneira que o dispositivo consiga reconhecer pelo mapa de *pixels* os vetores que formam alguma letra do alfabeto, e cada letra possui propriedades de vetores únicos, como por exemplo a letra “A”, que é composta basicamente por duas inclinações e uma reta conforme indica a Figura 6. Na sua forma mais básica, há variações desta letra onde existem além das inclinações que podem ser geradas pela imagem fonte.



Figura 6 - Divisão de vetores que formam a letra “A”. **Fonte:** *Explain that Stuff*, 2018.

O primeiro passo é uma análise de componentes conectados, na qual os contornos dos componentes são armazenados. Esta foi uma decisão do projeto de custo computacionalmente elevado na época, mas tinha uma vantagem significativa: ao inspecionar o alinhamento de contornos e o número de contornos de filhos e netos, é simples detectar o texto inverso e reconhecê-lo tão facilmente quanto o preto e branco. O *Tesseract* foi provavelmente o primeiro mecanismo de OCR, capaz de lidar com texto branco sobre preto de forma trivial (SMITH R. - GOOGLE INC., 2007, p. 629. **Traduzido pelo autor**).

Para o funcionamento específico do *Tesseract*, a primeira etapa necessária a ser realizada, é encontrar a linha por onde é formada a cadeia de caracteres, o *framework*

consegue inclusive detectar inclinação desta linha por meio de *Pattern Recognition* e traçar todas as linhas imaginárias que interligam a frase como um todo, assim como indica a Figura 7. As linhas são divididas em três categorias, indicando de cima para baixo, as linhas descendentes, a linha média e as ascendentes. Sendo as descendentes uma suposta margem de separação da frase anterior (pressupondo que ela exista, estaria na linha de cima por exemplo), a linha média indica o centro e onde está posicionada a frase atual para ser interpretada, e as linhas ascendentes são a suposta divisão da margem entre a frase de interpretação atual e a próxima frase, caso exista, supostamente deve ficar na linha inferior.



Figura 7 - Reconhecimento de linha para interpretação. Fonte: Smith R. - Google Inc., 2007, p. 630.

Com o reconhecimento das linhas de orientação é realizada a detecção de pontos físicos e a divisão dos caracteres para serem interpretados, exemplificado na Figura 8. Inicialmente, a frase é analisada palavra por palavra e, a partir da palavra, é realizada a divisão, corte e interpretação. Esta divisão pode ser realizada tanto pela ausência de *pixels* na cor de *background* como em uma ligação de *pixels* de pequeno tamanho, em caso de duas ou mais letras que estiverem interligadas.



Figura 8 - Reconhecimento de pontos e divisão de caracteres.

Fonte: Smith R. - Google Inc., 2007, p. 630

Com a divisão dos caracteres, o algoritmo verifica o tamanho de cada parte separada nesta divisão, onde pode ser um possível caractere e ajusta um a um o molde que se encaixa nos padrões definidos pelo tamanho de cada imagem é obtida, e então o reconhecimento da letra é realizado e a formação de toda a palavra que foi separada, este processo é denominado como *classification*.

Após este processo ser realizado em cada palavra, em todas as linhas que foram reconhecidas na imagem, a *framework* finaliza seu trabalho retornando como texto para o algoritmo local do dispositivo todo o trabalho que foi interpretado.

Conversão do texto para o formato de áudio

A penúltima etapa do processamento do projeto é converter todo o texto que a *framework* conseguiu encontrar para áudio falado. Para isto, é utilizada uma *API* (*Application Programming Interface*) chamada de *TTS* (*Text-To-Speech*). Para todos os tipos de processos que o *TTS* utiliza, e é necessário realizar a codificação do texto para o formato sintético que também é vinculado à decodificação.

A codificação é o processo de criação de um sinal a partir de uma mensagem. Quando se lida com a fala, fala-se de codificação da fala e quando se lida com a escrita, fala-se de escrever, codificar. A decodificação é o oposto da codificação; seu trabalho é levar um sinal e criar uma mensagem. A decodificação de fala é a tarefa de criar uma mensagem a partir do sinal; a tecnologia que faz isto é mais conhecida como reconhecimento de fala. Os desafios para sistemas de decodificação de fala (reconhecimento de fala) são apenas o inverso da codificação de fala; a partir de um sinal contínuo, que contém enormes quantidades de informação, e assim o sistema deve extrair a pequena quantidade de conteúdo que é a mensagem (TAYLOR P. - University of Cambridge, 2009, pp. 21-22. **Tradução realizada pelo autor**).

Mesmo que o processo de *TTS* tenha uma única forma atual de ser produzida, há, em especial, dois tipos de produção da biblioteca de voz: a *USS* (*Unit Selection Synthesis*) e a *HTS* (*HMM based speech synthesis*), sendo a maior diferença, entre elas, o tempo para ser desenvolvido e o realismo na hora de ouvir o áudio falado.

O tipo de voz sintética *USS* demanda um longo tempo para ser formado, pois este tipo de técnica tenta, a qualquer custo, manter a voz original do ator que está falando. Por isso, um único ato para poder gravar as suas falas em um banco de dados, para ser utilizado em um sistema *TTS*, que pode levar de doze a vinte horas de gravações de áudio, com diferentes tipos de falas, são geralmente frases do dia a dia ou livros, para poder capturar o mais natural possível da voz do autor. Após a voz do autor ter sido capturada, é necessário criar um grande banco de dados para comportar todas as falas, acompanhado de um servidor de alto processamento para, assim, poder capturar o texto que foi enviado e montar de forma mais natural possível o áudio que será formado do texto que foi digitado.

O formato *HTS* requer bem menos tempo para ser montado e pode ser gravado apenas com uma ou duas horas da voz do ator e com uso de funções computacionais,

podendo-se alterar a forma do áudio pronunciado. Uma vantagem em relação a *USS* é que é possível adicionar emoções às falas do autor, mesmo que na hora da gravação elas não existam, coisa que não acontece com o formato *USS*, pois para manter a voz do autor, a mais natural possível, este tipo de técnica não poderia ser realizado. Porém, sua desvantagem é que a voz pode ter um formato robótico, não sendo muito realístico, muito menos natural.

Após o processo de geração do áudio sintético, o dispositivo reproduzirá o conteúdo gerado na saída de áudio presente no dispositivo.

Tecnologias

No decorrer do desenvolvimento do projeto, foram utilizadas uma série de recursos e tecnologias distintas entre si, cada uma com sua respectiva função no projeto como um todo, seja para realizar parte do processamento geral ou manter toda uma rede de processos ativo. São eles:

- **Python**

A linguagem de programação *python* foi a primária em todo o projeto e responsável pelo processamento de alto nível, em forma geral. Com ele é feita a conexão de todos os *frameworks* e *APIs* utilizadas; também é feita a conexão com o periférico da câmera, manipulação de arquivos no sistema operacional e a reprodução do áudio, tendo um papel único no auxílio do corretor automático, pois não é feito puramente com base nesta linguagem.

- **Raspberry Pi**

Dispositivo principal que se comporta como um minicomputador, sendo de um tamanho minúsculo, com um alto processamento, e é responsável por comportar toda a parte de processo do sistema e todos os periféricos, tais como os dispositivos de entrada ou de saída que estão conectados diretamente a ele, como o *LED* de auxílio da câmera, a própria câmera de captura, os botões de acessibilidade e a saída de áudio pelo *headset*.

- **Metodologia**

Trazer o texto impresso de um livro para um som falado por meios digitais exige um processo com várias etapas para ser concluído. O processo para a realização de cada tarefa proposta deve ser realizada de forma cuidadosa, pois algum detalhe que não for tratado corretamente, especialmente a parte de *image treatment*, pode acarretar em resultados com um baixo índice de aproveitamento ou até mesmo uma má

interpretação.

O uso da câmera para a captura de uma fotografia de texto tem como suporte um dispositivo de *LED*, para poder ter a iluminação ideal e assim dar contraste ao texto e ao *background* do papel em uma lente para leitura, pois embora tenha uma alta resolução é necessário haver precisão para que não ocorra o incidente de partes do texto impresso se tornarem ruídos na imagem e serem “corrigidos”, no caso, excluídos pelo algoritmo de tratamento e a interpretação da imagem quando o texto não for bem sucedido.

O objetivo do processamento de imagens é dividido em cinco vertentes, sendo separadas em dois grupos: o primeiro é o tratamento da imagem, como um todo, para então, depois, a extração de características e busca nos pontos de interesse do conteúdo visual. A separação das vertentes é classificada como:

- **Visualização:** Detecção de bordas, para separar partes específicas da imagem facilitando tarefas como extração de características e posteriormente, a extração de conteúdo.
- **Lapidação de imagem e restauração:** Realizar o tratamento da imagem base para formar uma nova imagem melhorada, corrigindo ruídos e marcas indesejadas na base original.
- **Localização:** Algoritmos especializados em buscar e focar em determinadas partes de interesse em uma imagem.
- **Reconhecimento de características:** A imagem é analisada de uma forma completa, para que seja extraída todas as informações em formatos regionais na imagem e a partir destas regiões, com base em características de treinamentos já realizados anteriormente, seja feito o reconhecimento de um ou vários objetos dentro da base.
- **Reconhecimento e extração:** Processamento realizado para distinguir objetos dentro de uma imagem.

Entretanto, todas as vertentes listadas não se unem para realizar uma única tarefa, pois o processamento de imagem dentro do projeto, como um todo, se resume em duas únicas tarefas, sendo uma dependente da outra, embora isso não impeça de uma vertente estar nas duas tarefas ao mesmo tempo, o que resulta que esta função acabe sendo executada, duas ou mais vezes, em estágios diferentes e com propósitos finais distintos, assim como as tarefas gerais que serão executadas, estas são:

- **Limpeza de imagem:** Utilizando a base original da imagem gerada pela câmera, esta tarefa tem como objetivo remover todo o tipo de ruído e preparar a imagem para uma extração de características e conteúdo a nível computacional.
- **Reconhecimento de caracteres:** Uma tarefa realizada pela *framework* de *OCR*, responsável por detectar as características da imagem e realizar o reconhecimento e extração de todo o conteúdo a ser aproveitado, que para este caso é o texto impresso no papel.

Tabela 1 - Separação das tarefas gerais e suas vertentes.

Vertentes	Limpeza de Imagem	Reconhecimento de caracteres (OCR)
Visualização	Sim	Sim
Lapidação e restauração	Sim	Não
Localização	Não	Sim
Reconhecimento de características	Não	Sim
Reconhecimento e extração	Não	Sim

Fonte: Autores.

Com a extração do texto já realizada na imagem, a próxima fase será realizar uma rápida verificação ortográfica, também conhecido como *spell-checking*, para corrigir os problemas de acentos e más interpretações que ainda são em muitas das vezes, encontradas na imagem.

Após isto, a conversão para o áudio é realizada para então ser reproduzida ao usuário. A *API* utilizada para esta tarefa é o *gTTS*, que com instruções da linguagem *Python* realiza a conversão do texto para áudio com o *WebService* disponibilizado para *Google* com uma voz sintética e já adaptada para o português brasileiro.

RESULTADOS

Como observado inicialmente, o resultado final começou a ser gerado a partir do texto que foi recém interpretado e extraído diretamente dos dados presentes na fotografia. Devido a implementação de lentes e luz de auxílio, a qualidade e visualização da fotografia foi melhorada, auxiliando na redução da margem de erros na interpretação, o mesmo valendo para os algoritmos de tratamento de imagens, como a

fotografia pode possuir uma quantidade considerável de ruídos, mesmo com o tratamento realizado por todos os procedimentos na pré-interpretação. Porque o projeto foi adaptado para a língua portuguesa, a existência de acentos e caracteres especiais, como o cedilha, prejudicou a precisão, deixando-a reduzida; porém, a existência do corretor ortográfico conseguiu contornar este problema. Para a parte de reprodução de áudio, embora em algumas vezes a voz sintética não conseguisse entregar uma tonalidade que pudesse parecer mais real do que é dito, este resultado dependerá de como o bloco de textos da interpretação fora transcrito, a partir da sua interpretação.

CONCLUSÕES

Conclui-se, assim, que embora todas as etapas que são realizadas no interpretador de imagens sejam para o funcionamento mínimo e essencial do projeto, o tratamento de imagem requer uma atenção especial diante de todas as outras tarefas do sistema, pois é a partir desta etapa que se definirá o resultado geral e a qualidade do resultado, alcançando um maior detalhamento e processamento por parte do software que gerencia todo o seu funcionamento.

Em relação a captura da imagem da câmera, fica como resultado que não é apenas uma boa resolução que traz qualidade para o reconhecimento de caracteres da imagem, sendo necessário que haja uma iluminação adequada, não tão forte a ponto de tirar todo o foco dos caracteres impressos, pois pode atrapalhar no processo de binarização da imagem, mas também não pode haver baixa iluminação, por conta de não se conseguir reconhecer quase que nenhum caractere, mas reconhece-se que um dos principais fatores de suporte da câmera é a lente externa, que auxilia no foco do texto.

A conversão de texto para áudio e a reprodução de áudio, por ficarem a cargo de duas APIs para serem geradas e reproduzidas, sequencialmente, ficam dependentes dos processos antecessores, pois é necessário que haja uma boa interpretação por parte do reconhecimento de imagem e características e extração de dados, para que o texto fique escrito de forma correta, pois mesmo tendo todo o auxílio do corretor ortográfico, uma má interpretação do texto, de forma geral, compromete toda a estrutura e todo o resultado que irá ser gerado por estas duas etapas finais.

REFERÊNCIAS

KANAN C. e COTTRELL G. W. - *Color-to-Grayscale: Does the Method Matter in Image Recognition?* Se University of California San Diego, 2012.

GONZALEZ R. C. e WOODS R. E. - *Processamento Digital de Imagens*. 3a. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2008.

SAUVOLA J. e PIETIKÄINEN M. - *Adaptive document image binarization*. University of Oulu, P.O., 2000.

SMITH R. - *An Overview of the Tesseract OCR Engine*. Google Inc., 2007.

SMITH R. - *Building a Multilingual OCR Engine, Training LSTM networks on 100 languages and test results*. Google Inc., 2016.

TAYLOR P. - *Text-to-Speech Synthesis*. University of Cambridge, 2009.

PRATT S. - *What is Text-to-Speech and How Does It Work?* Text2Speech Blog, 2015. Disponível em: <https://blog.neospeech.com/what-is-text-to-speech-and-how-does-it-work/>. Acessado dia 15 de março de 2018

PRATT S. - *HTS vs. USS: Which Speech Synthesis Technique is Better?* Text2Speech Blog, 2015. Disponível em: <https://blog.neospeech.com/which-speech-synthesis-technique-is-better/>. Acessado dia 15 de março de 2018

WOODFORD C. - *How does OCR document scanning work?* Explain that Stuff, 2018. Disponível em: <http://www.explainthatstuff.com/how-ocr-works.html>. Acessado dia 15 de março de 2018

Tesseract-ocr - *4.0 Accuracy and Performance*. Github Inc., 2017. Disponível em: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract/wiki/4.0-Accuracy-and-Performance>. Acessado dia 18 de abril de 2018

Tesseract-ocr - *Improving the quality of the output*. Github Inc., 2015. Disponível em: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract/wiki/ImproveQuality>. Acessado dia 18 de abril de 2018

DILLON A. - *Java API to access Raspberry Pi Camera*. Github Inc., 2016. Disponível em: <https://github.com/Hopding/JRpiCam>. Acessado no dia 18 de abril de 2018.

Protótipo de prótese inferior controlada por pulsos musculares com o emprego de microcontroladores

Prototype of inferior prosthesis controlled by muscular pulses with the use of microcontrollers

Danilo Sotto de Lima¹
Eduardo Lucas Mignoli Zanardo²
Nícolas Bonfim dos Santos³
James Clauton da Silva⁴

RESUMO

Este trabalho referencia o desenvolvimento de um protótipo de prótese inferior, mais especificamente para pacientes com amputação transfemoral. Foi produzido com partes impressas em impressora 3D, utilizando atuador linear para tração e movimento, onde o controle aplicável é através de pulsos musculares, empregado juntamente com a tecnologia conhecida como eletromiografia de superfície (EMGs), para análise da atividade muscular e servindo-se de sistemas embarcados, que são sistemas computacionais completos e independentes, encarregados de executar apenas uma função determinada e que utilizam microcontroladores. Este projeto busca baratear o custo de próteses e tornar o mais normal possível a vida de pessoas que não possuem parte da perna, uma vez que a aquisição e o controle de um membro artificial não são objetivos tão simples de serem alcançados. O avanço e o estudo da tecnologia têm feito com que, cada vez mais, ela esteja a serviço do homem, fazendo com que a acessibilidade se torne algo muito mais vivenciado por todos, como o simples fato de andar.

Palavras-Chave: Prótese inferior; Eletromiografia de superfície; Sistemas embarcados; Microcontroladores.

ABSTRACT

This work refers to the development of a lower prosthesis prototype, more specifically for patients with transfemoral amputation. It was produced with parts printed on a 3D printer, using a linear actuator for traction and movement, where the applicable control is through muscle pulses, used together with the technology known as surface electromyography (EMGs), for analysis of muscle activity and using of embedded systems, which are complete and independent computational systems, charged with performing only one specific function and using microcontrollers. This project seeks to lower the cost of prostheses and make life as normal as possible for people who do not have part of the leg, since the acquisition and control of an artificial limb are not such simple objectives to be achieved. The advancement and study of technology has meant that, increasingly, it is at the service of man, making accessibility become something much more experienced by all, such as the simple fact of walking.

Keywords: Lower prosthesis; Surface electromyography; Embedded systems; Microcontrollers.

¹ Acadêmico de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

² Acadêmico de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

³ Acadêmico de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

⁴ Engenheiro da Computação; Mestre em Engenharia Elétrica; Doutorando UNESP - Ilha Solteira; Docente nos cursos de Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas, Tecnologia em Jogos Digitais e Engenharia da Computação, no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professorjames@unisalesiano.com.br.

INTRODUÇÃO

É notório que o homem tem se tornado dependente de máquinas para a realização de tarefas diárias, buscando facilidades cada vez maiores. Mesmo que não haja percepção, estas máquinas são utilizadas quase todo o tempo, passando por uma simples TV, mas que possui um sistema integrado, um liquidificador ou até carros. A partir daí, verifica-se que por trás de todos estes equipamentos existem sistemas embarcados, ou seja, softwares e hardwares que se comunicam para a realização das suas tarefas.

Estes sistemas estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, pois com o avanço tecnológico e com a conturbada rotina diária, precisa-se não só agilizar a realização de tarefas consideradas corriqueiras, deixando para as máquinas os afazeres considerados tomadores de tempo e esforço, mas também auxiliar os humanos quando há a necessidade de substituir algum membro que lhe falta.

Com isso, a procura por membros artificiais vem em uma escala crescente, principalmente, a partir de guerras, como a Guerra Civil Americana e a Segunda Guerra Mundial, onde houve um enorme número de pessoas amputadas. E foi devido a descoberta dos anestésicos que ocorreu um grande salto para esse avanço tecnológico, que propiciou realizar cirurgias mais longas e de melhor adaptação de próteses com a devida modelagem do coto (DELLON, 2007).

No Brasil existem 24,5 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, o que representa 14,5% da população e, destes, 5,31% não apresentam algum membro ou apenas apresentam parte dele. A incidência de amputações para cada 100.000 habitantes é de 13,9 ao ano, valores que são mais expressivos nos pacientes vasculopatas (IBGE, 2017).

Segundo Oliveira e Cabral (2001), a amputação ou ablação é uma palavra temida, cujo significado é terror, mutilação e derrota, que se constitui de um procedimento cirúrgico, no qual é removida alguma parte do corpo, principalmente um membro com a finalidade de extirpar o tecido doente. É a intervenção cirúrgica mais antiga, de acordo com a literatura, onde era realizada de maneira grosseira, sem anestesia e não se preservava o coto (GOOFI; GUIMARÃES, 1980).

Após o procedimento cirúrgico (amputação), quando se inicia o período pós-operatório, o coto (porção final do membro que permanece) pode vir a apresentar algumas intercorrências que costumam surgir em torno da segunda à terceira semana, após o ato cirúrgico (FRIEDMANN, L. W., 1994).

Durante a fase pré-protetização, a fisioterapia atuará de maneira a proporcionar ao paciente amputado o máximo de independência para realização de atividades sem o uso de prótese, trabalhar com o coto para que ele possa ser eleito a uma prótese, lidar com as transferências de peso, alongamentos, equilíbrio e coordenação, visando uma deambulação futura. E no período pós-protetização, a fisioterapia atuará dando maior ênfase na reabilitação, estimulando a realizar as fases da marcha de forma correta, trabalhar o equilíbrio estático e o dinâmico, coordenação motora, visando uma maior independência do paciente e reintegrando-o na sociedade (CARVALHO, J. A., 2003).

Um método não invasivo de estudo da atividade muscular, que pode ser usado nestes pacientes amputados, utiliza eletrodos de prata ou cloreto de prata, colados à pele com fita micropore, dupla face ou eletrodos autoadesivos. Conhecido como eletromiografia de superfície (EMGs) a técnica é aplicada em diversas áreas, como Neurologia, Reabilitação, Ortopedia, Ergonomia, Esportes, entre outras. Desta forma, poderá beneficiar a população através de novos estudos que visam confeccionar aparatos funcionais para a reabilitação de indivíduos amputados (PANTALL A., DURHAM S., EWINS D., 2011).

Aplicando a técnica de EMGs para coletar a atividade muscular em pacientes amputados, far-se-á a análise e processamento de tais dados em microcontroladores, de modo que forneçam uma saída que controle o movimento de prótese inferior, proporcionando a estes pacientes o controle da articulação (joelho) de suas próteses, que tornará sua marcha a mais normal possível.

Simmons e Welsh (2013), desenvolveram, na Universidade de Newcastle, o protótipo de uma prótese de membro superior acionada por um sistema eletrônico de baixo custo, com aquisição de sinais eletromiográficos. Os autores concluíram que a eletromiografia pode ser uma tecnologia viável no acionamento de próteses de membros superiores.

Com base em todos esses dados estudados, juntamente com as pesquisas de Carolina Girardi Alves (C. G. ALVES, 2013) e Annette Pantall (PANTALL A., 2011), e com o intuito de devolver aos amputados uma melhor condição de vida, criou-se a ideia de realizar a elaboração de um protótipo de prótese inferior, controlada por impulsos musculares e, com isso, desenvolver no indivíduo amputado a sensação de que ele possui novamente a parte amputada em seu corpo, pois ao final do desenvolvimento o indivíduo teria com os músculos e terminações nervosas, conexões em sensores do protótipo, desta forma, causando a sensação de que o protótipo faça parte de seu corpo.

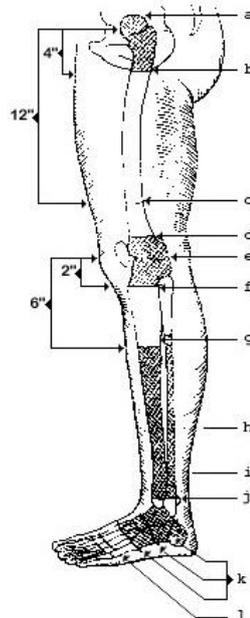
FUNDAMENTAÇÃO

Amputação

Definida como a retirada total ou parcial de um membro de forma cirúrgica, a amputação, tem a finalidade de controlar a dor ou doença que afeta um ou mais membros, onde o câncer e gangrena são exemplos em que a amputação se torna a melhor saída. Apesar de ser vista como uma mutilação ou incapacidade de realizar atividades corriqueiras, na verdade, a amputação deve ser encarada como uma nova fase, uma vez que, mesmo tendo perdido um membro e com conseqüente alteração da imagem corporal, houve a eliminação de um perigo iminente da perda da vida ou alívio de um sofrimento (OLIVEIRA, 2009).

No entanto, este procedimento acarreta diversas alterações funcionais na biomecânica corporal, de tal forma que interferem no cotidiano do amputado, gerando, ainda, padrões de postura e de marcha para compensar a perda do membro. Sendo diversas as causas relacionadas à amputação, onde a insuficiência vascular periférica a mais comum, se fazendo responsável por mais 80% das amputações de membros inferiores, em seguida está às amputações por traumatismos que representa 10,6% de todas as amputações, além das desordens congênitas, tumores, queimaduras e doença, que comprometem a função locomotora (FRIEDMANN, L. W, 1994).

Figura 01 - Posições das amputações dos membros inferiores.



Fonte: (Adaptado de Ortotecnica).

Este estudo visa trabalhar em cima de duas amputações específicas, sendo elas:

a) Transfemorais: A amputação transfemoral é realizada entre a desarticulação de

joelho e a de quadril nas amputações transtibiais, divide-se também em três níveis, ou seja, amputação transfemoral em terço proximal, médio e distal, onde estas amputações podem ser causadas por patologias vasculares, processos infecciosos e neoplásicos ou por anomalias congênitas;

- b) Desarticulação do Joelho: remoção total da tíbia caracteriza a desarticulação de joelho. As próteses para este nível de amputação devem contar com joelho mecânico.

Após tais procedimentos cirúrgicos (amputação) se inicia o período pós-operatório. Conseqüentemente, para evitar escaras e machucados, é necessário ter cuidados especiais (CARVALHO, 2003), uma vez que o coto (porção final do membro que permanece) pode vir a apresentar algumas intercorrências que costumam surgir em torno da segunda à terceira semana, após o ato cirúrgico.

Membros Artificiais

Próteses ou membros artificiais são os componentes artificiais que tem por finalidade suprir necessidades e funções de indivíduos sequelados por amputações, traumas ou deficiências físicas de nascença. Houve, no período pós-guerra, o surgimento de empresas especializadas em confeccionar tais componentes. Antes disso, eram produzidos por artesãos, onde registros históricos sobre o uso de próteses datam do antigo Egito. No entanto, o evento que proporcionou os grandes avanços tecnológicos foi a descoberta dos anestésicos, pois estes propiciaram a possibilidade de se realizar cirurgias mais longas, de forma que o médico poderia modelar melhor o coto, oferecendo melhor adaptação à prótese (DELLON, B.; MATSUOKA Y., 2007).

Contudo, é necessário observar certos aspectos antes da colocação da prótese, onde na chamada fase de pré-protetização, a fisioterapia tem um papel relevante, proporcionando ao paciente amputado o máximo de independência para realização de atividades sem o uso de prótese, trabalhando com o coto para que o mesmo possa ser eleito a uma prótese, utilizando técnicas de transferências de peso, alongamentos, equilíbrio e coordenação visando uma deambulação futura. Já no período pós-protetização, a fisioterapia atuará dando maior ênfase na reabilitação marcha, estimulando a realizar as fases da marcha de forma correta, trabalhar o equilíbrio estático

e o dinâmico, coordenação motora, visando uma maior independência do paciente e reintegrando-o novamente na sociedade (OLIVEIRA, B. M.; CABRAL, S. B., 2001).

Para tal, há diversos tipos de próteses de membro inferior que dependem do nível de amputação, visto que esses membros artificiais podem ser feitos para uso durante atividades ou esportes, tais como: dança, natação, ciclismo, golfe e escalada. Para as amputações acima do joelho, a prótese é feita com uma coxa, joelho e tornozelo, onde parte do joelho é feita flexível para permitir atividades normais, como andar, sentar e ajoelhar. Entretanto, estes membros artificiais apresentam certas limitações, pois possuem articulações de joelho mais simples e não permitem aos pacientes a realização de atividades mais elaboradas, como subir escadas (CARVALHO, 2003).

As próteses convencionais são as exoesqueléticas, sendo estas produzidas com componentes de madeira ou de plástico, os quais servem de conexão entre encaixe e pé. Com o avanço da tecnologia, iniciou-se a busca por materiais mais higiênicos, resistentes e leves, como o alumínio, malhas de fibra sintética, polipropileno e reforços em aço carbono, para que as próteses possam se adaptar ao maior número de cotos possíveis, utilizando de articulações inteligentes que acompanham o movimento do paciente, tendo como resultado a melhora da estabilidade e diminuição do esforço do amputado. Exemplo internacional de solução é a prótese detentora de alta tecnologia com joelhos computadorizados dos pesquisadores americanos do Instituto de Reabilitação de Chicago. Entretanto, soluções como essa apresentam um alto valor que não está acessível para a maioria da população brasileira.

Marcha Humana

A forma de locomoção humana mais estudada é a caminhada, conhecida também como marcha humana. Esta é caracterizada por uma sequência de múltiplos eventos rápidos e complexos, por conseguinte a observação clínica, a identificação de alterações dos fenômenos e a observação do seu grau de afastamento do normal. (FALOPPA, 2008).

A fase de apoio começa com o contato inicial do calcanhar com o solo e termina quando o pé perde totalmente o contato com a superfície. Esta fase pode ainda ser subdividida em três etapas:

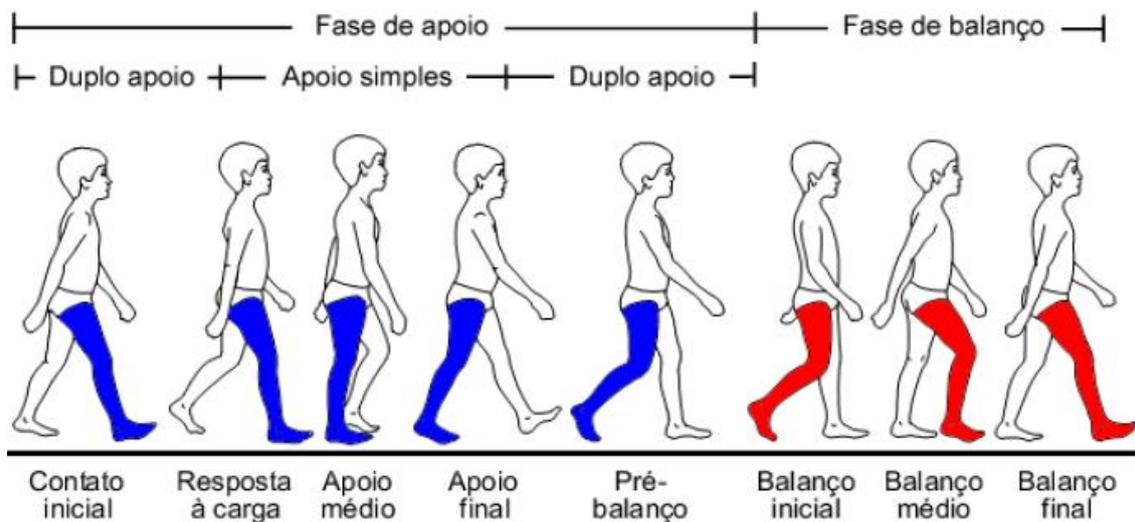
1. Primeiro duplo apoio, quando ambos os pés estão em contato com o solo;
2. Apoio simples, quando o membro oposto está se reposicionando e somente um dos pés está em contato com o chão;

3. Segundo duplo apoio, quando os dois pés estão novamente em contato com a superfície.

Já a fase de balanço é o intervalo entre o despregamento dos dedos e o contato inicial com o solo, que é o período da cadeia cinética durante o qual o membro se reposiciona para iniciar a passada seguinte. Tipicamente a fase de apoio responde por 60% do ciclo da caminhada enquanto que a fase de balanço tem duração de 40% (PERRY, 2004).

A Figura 02 representa o ciclo completo da marcha. A nomenclatura apresentada refere-se ao lado direito do corpo. Para o lado esquerdo é utilizada a mesma terminologia, porém com defasagem de meio ciclo para frente ou para trás. Assim, a fase de primeiro suporte duplo para o lado direito é equivalente ao segundo suporte duplo para o lado esquerdo e vice-versa. Na marcha normal existe simetria bilateral na execução, porém em casos de patologias padrões assimétricos podem ser observados.

Figura 02 – Fases da marcha.



Fonte: Adaptado de VAUGHAN *et al.* (1992).

Na fase do contato inicial do pé com o solo é quando geralmente ocorrem os maiores impactos nas articulações e nas estruturas musculoesqueléticas. Alguns autores (DAVID, 2005; WINTER, 1996; AMADIO; DUARTE, 1996), concordam que existe um tempo de latência, entre 60 e 100ms, antes que ocorra a resposta do sistema nervoso ao estímulo de força gerado no início do contato do calcanhar. Neste intervalo a força incide apenas nas estruturas passivas do aparelho locomotor, em especial os ossos e as articulações.

EMGs e Sensores Artificiais

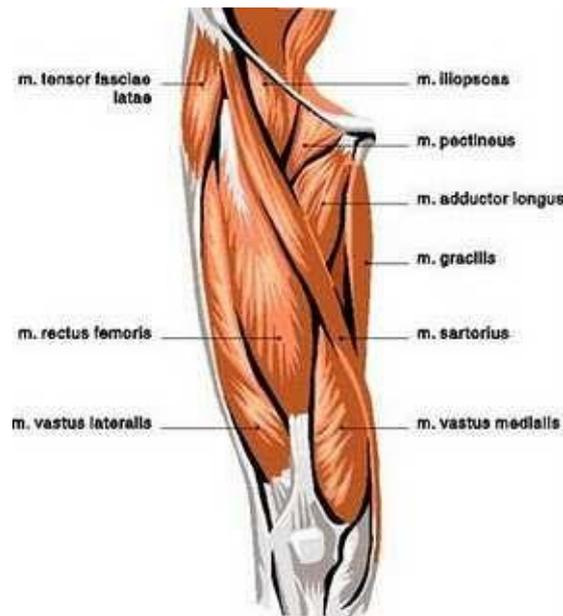
A eletromiografia de superfície é um método não invasivo de estudo da atividade muscular, já amplamente conhecido. O seu mecanismo de funcionamento age a partir dos sinais enviados pelo neurônio motor superior/inferior até as fibras musculares periféricas, gerando uma contração, que por sua vez terá seus sinais elétricos captados por eletrodos posicionados sobre a pele, transmitido por amplificador e transformado em sinais gráficos computadorizados.

O primeiro estudo sobre um músculo gerar potenciais elétricos data de 1666, realizado pelo italiano Francesco Redi, suspeitando que o choque da enguia elétrica fosse oriundo do músculo (BIEDERMAN, 1888). Em 1791, Luigi Galvani investigou a relação entre a eletricidade e a contração muscular, através de um método que despolarizava pernas de sapos com o toque de varas metálicas, causando contração muscular. Seus estudos e experimentos foram de tanta relevância que Galvani é considerado o “pai” dessa área. Sendo comprovado, por Alessandro Volta, que a corrente elétrica advinda de eletrodos, em contato com o fluído dos tecidos musculares, gera um estímulo que leva à contração muscular, onde a mesma relaciona o potencial de ação conduzido pelo neurônio motor, à transmissão sináptica. Estes potenciais de ação musculares somados representam a contração das fibras musculares e o sinal eletromiográfico.

Pode-se dividir os músculos da coxa em três grupos: anteriores, posteriores e adutores; sendo, assim, separados conforme sua localização e a função dos mesmos. De modo geral, os músculos anteriores estão relacionados ao movimento de extensão e os posteriores estão ligados ao movimento de flexão.

O quadríceps femoral é o maior dentre os músculos anteriores, sendo dividido em quatro: vasto medial, reto femoral, vasto intermediário e o vasto lateral (Figura 03), sendo que todos os quatro músculos ficam ligados à patela, de modo que o sartório corre superficialmente e obliquamente para baixo na face anterior da coxa e age como um flexor tanto no quadril quanto no joelho, mas, devido a seu curso oblíquo, também contribui para a rotação medial da perna.

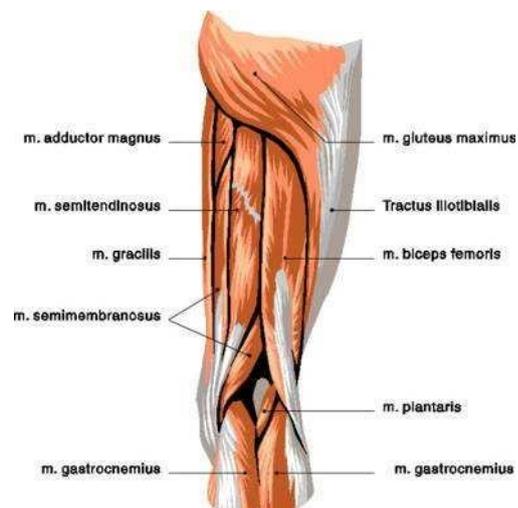
Figura 03 – Músculos anteriores da coxa.



Fonte: (Adaptado de Anatomia do Corpo).

O bíceps femoral possui duas cabeças, sendo uma longa e outra curta (Figura 04). Este músculo flexiona a articulação do joelho e gira a perna flexionada lateralmente sendo a única rotação lateral do joelho e, logo, tem de se opor a toda rotação medial, embora a cabeça longa se estenda da articulação do quadril. O semimembranoso e semitendinoso possuem a mesma origem do bíceps femoral e basicamente a mesma função: produzir extensão na articulação do quadril, flexionar e realizar a rotação medial no joelho.

Figura 04 – Músculos posteriores da coxa.



Fonte: (Adaptado de Anatomia do Corpo).

Em alguns trabalhos, como o realizado por Delis *et. al.* (2009) relatam que a EMGs, por ser um método não invasivo e representar a intenção de movimento do indivíduo,

torna-se uma boa ferramenta para se ter o controle de uma prótese. Neste mesmo estudo, foi explanado que o principal fator limitante na análise dos sinais de EMGs dinâmica é a oscilação do sinal decorrente da própria movimentação na marcha. Ainda hoje, não existem descrições da atividade muscular sobre inúmeros passos consecutivos, tanto para população adulta como para a pediátrica (AGOSTINI *et. al.* 2009).

METODOLOGIA

Prótese

- 02 rolos de 1kg de PLA Verde Claro com 1.75mm. O PLA (Ácido polilático) é um termoplástico biodegradável derivado de fontes renováveis como amido de milho, raízes de mandioca e de cana, por isso seria a opção mais ecologicamente amigável, pois degrada-se em torno de 24 meses enterrado ou em 48 em água, o que é um tempo bem inferior quando comparado às centenas de anos dos outros plásticos.
Apresenta um aspecto brilhante e disponível em diversas cores opacas e translúcidas. É um termoplástico bastante rígido e resistente, o mais rígido dentre as opções apresentadas, difícil de deformar ou flexionar, porém, devido a essa alta dureza, torna-se menos resistente a impacto entre os materiais aqui apresentados.
- 08 Porcas normais de 8mm e 06 de 6mm. Porcas são elementos de máquinas de fixação e estão sempre associadas a um fuso ou parafuso. Seus tipos variam de acordo com as roscas (que correspondem a do parafuso) e formato, sendo os mais comuns as porcas sextavadas, quadradas, recartilhadas (para apertos manuais) e borboleta (também conhecidas por "porcas de orelhas") para apertos manuais, auto travante e de pressão.
- 08 Porcas Parlock de 8mm. As Parlocks são porcas que possuem um sistema de travamento automático onde um anel de nylon, de formato especial, inserido na parte superior do corpo garante a função autotravante da porca Parlock. Produzida em aço-liga, aço-carbono, alumínio ou aço inox dependendo da aplicação, com tratamento superficial e tratamento térmico quando requerido.
- 12 Arruelas de 8mm e 10 de 6mm. Arruela ou anilha, é um disco fino com um furo, geralmente no meio. Ela é utilizada normalmente para suportar a carga de um

parafuso. Outras utilizações são como espaçadores, mola (arruelas onduladas), almofada de desgaste e dispositivo de bloqueio.

- 136cm de Barra Roscada de 8mm e 24cm de 6mm. Barras Roscadas são barras que tem em todo seu comprimento o formato de rosca, tendo inúmeras utilidades na mecânica.
- 02 Parafusos de 8mm. O parafuso é uma peça metálica ou feita de matéria dura, em formato cônico ou cilíndrico, sulcada em espiral ao longo de sua face externa e com a sua base superior adaptada a diversas ferramentas de fixação (cabeça do parafuso), como chave de fenda ou demais modelos. O parafuso tem por finalidade ser o elemento de fixação de duas ou mais superfícies, combinadas ou em junções diferentes, como a madeira, parede de alvenaria.
- 10 Rolamentos Flangeado de 8x14x4mm. Um rolamento é um dispositivo que permite relativo controlado entre duas ou mais partes. Serve para substituir a fricção de deslizamento entre as superfícies do eixo e da chumaceira por uma fricção de rolamento. Compreende os chamados corpos rolantes, como bolas, rodízios, etc. Os anéis que constituem os trilhos de roldana e a caixa interposta entre os anéis. Todos estes elementos são de aço combinado com cromo e as suas dimensões estão submetidas a um sistema de normalização do rolamento.

Componentes Eletrônicos

- 01 Placa Mega 2560 R3. O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560 (folha de dados). Possui 54 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 14 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de energia, um conector ICSP, e um botão de reset. Ele contém tudo o que é necessário para suportar o microcontrolador, basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo a um adaptador de CA-CC ou bateria para iniciar.
- 01 Módulo Relé 2 Canais - 5v/10A. O Módulo Relé 2 Canais é um módulo que visa facilitar a utilização de relés em placas microcontroladoras de forma fácil e rápida sem a necessidade de montar circuitos, tornando os projetos mais organizados e bonitos, além de ganhar espaço. O Módulo Relé 2 Canais é capaz de controlar até

2 dispositivos que pode ser tanto Corrente Contínua quanto Corrente Alternada, desde que respeite a corrente de 10^a.

- 01 Módulo Bluetooth HC-06. O módulo HC-06 é um módulo SPP (Serial Port Protocol) Bluetooth fácil de usar, projetado para configuração de conexão serial sem fio transparente. O Módulo Bluetooth HC-06 pode ser usado em uma configuração Mestre ou Escravo, tornando-se uma ótima solução para comunicação sem fio.
- 01 Atuador linear DC 12V 100 milímetros AVC 500N 20 mm/s. Atuador linear é um dispositivo mecânico, com a função de exercer força, deslocando-se numa trajetória linear. Existem diversos princípios de funcionamento e aplicações. São atuadores lineares, por exemplo, pistões hidráulicos, solenoides e transdutores.
- 03 Baterias 18650 Recarregáveis de 9800mAh / 3.7v a 4.2v. As Baterias 18650 são de alta qualidade, recarregáveis e suportam centenas de ciclos de carga.
- 01 Bateria BAP Energy Recarregável de 320mAh / 9v. Essa bateria tem um menor efeito memória e não é tóxica, fazendo com que não cause danos ao meio ambiente

Aquisição do sinal Eletromiográfico

- 02 Sensores Muscular Myoware. O Sensor Muscular MyoWare é uma placa desenvolvida para utilização com Arduino e que usa um sensor de eletromiografia (EMG), que mede a atividade elétrica de um músculo. O mesmo gera na saída uma tensão entre 0 e Vs volts, onde Vs é a tensão de alimentação do sensor. Quanto maior é a atividade muscular, maior é a tensão na saída.
- 02 Expansores de Eletrodos MyoWare. O Sensor Muscular MyoWare permite que você coloque até dois eletrodos diretamente na placa, sendo uma interessante opção para projetos vestíveis (wearables). Entretanto, muitas vezes você precisa de um número maior de eletrodos, ou uma distância maior entre os eletrodos e o sensor, e é aí que entra o Expansor de eletrodos MyoWare. Com o Expansor de Eletrodos Myoware, você consegue ligar até 3 eletrodos utilizando o Cabo de Sensores MyoWare (não incluso), conectado ao expansor por meio de um plugue P2.

- 02 Cabos de Sensores MyoWare. O Cabo de Sensores MyoWare é um acessório para ser utilizado em conjunto com o Expansor de Eletrodos Myoware, e permite que você ligue até 3 eletrodos no sensor muscular Myoware.
- 06 Eletrodos Biomédico. O Eletrodo Biomédico é o componente encarregado de transmitir para o sensor o sinal elétrico captado durante o movimento dos músculos. Pode ser conectado diretamente no Sensor Muscular MyoWare ou no Cabo de Sensores MyoWare.
- 01 Barra de pinos 1x40 180 Graus. São conectores compatíveis com as protoboards mais usuais do mercado, seu espaçamento padrão de 2,54mm permite o uso tanto em protoboard como em placas de circuito impresso. Permite ainda ser facilmente destacada, dando mais flexibilidade e autonomia, com a utilização apenas da quantidade necessária.

MÉTODOS

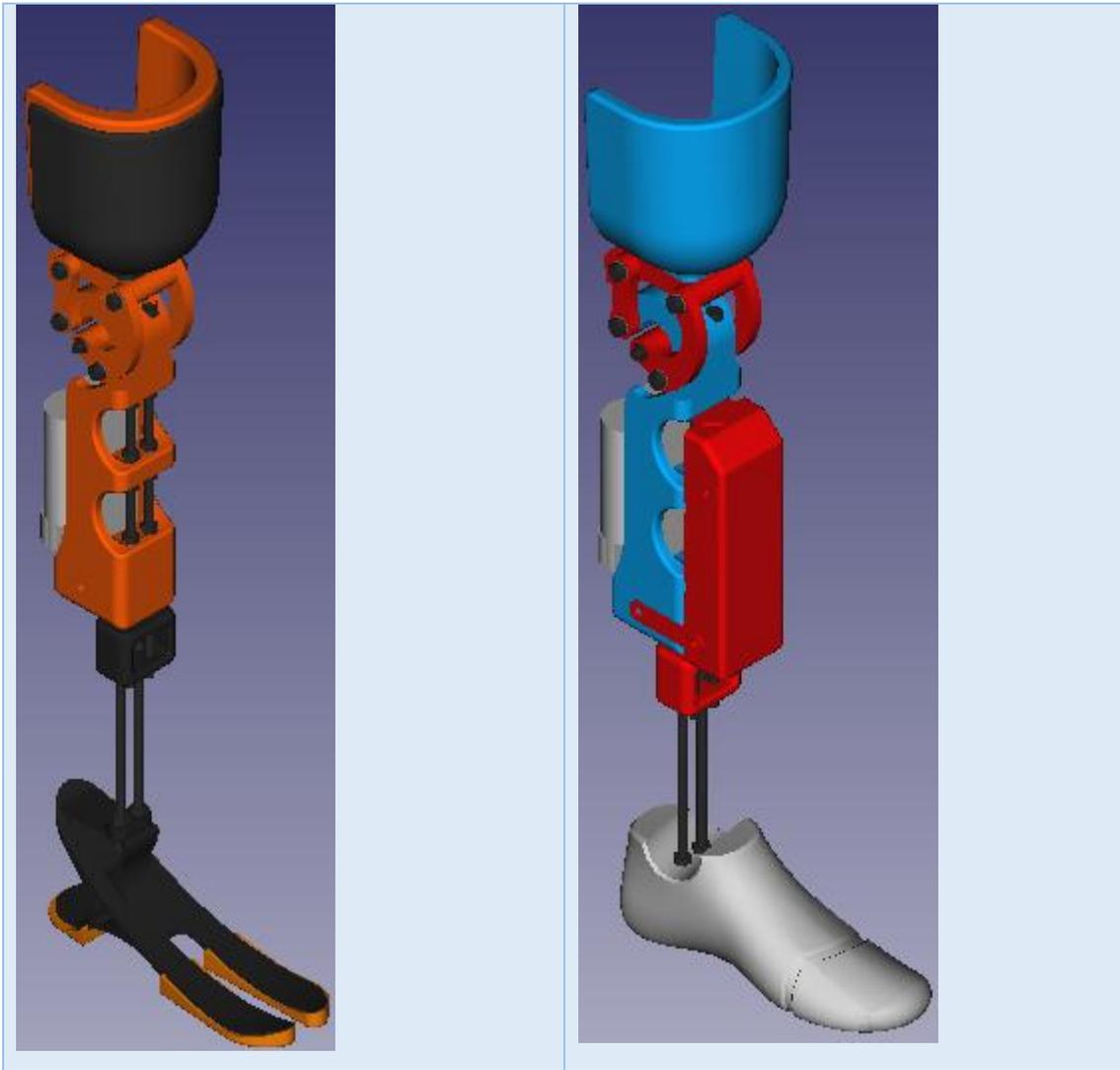
Projeto da Prótese

A base do projeto da prótese foi inspirada no trabalho de David Sanchez Falero, um pesquisador espanhol criador da equipe Drakkar, que possui a amputação transfemoral. Somente os desenhos de seus projetos são disponibilizados para uso e modificações na página Hackday.io. No entanto o seu projeto inicial apresenta diversas falhas, apontadas pelo seu próprio criador. Com isso, foi desenvolvida diversas melhorias que serão enumeradas abaixo e visualizadas na Figura 05.

Figura 05 - Demonstração das melhorias no projeto da Prótese.

Projeto Drakkar D1

Projeto TCC-Sale2018



Fonte: Próprio Autor.

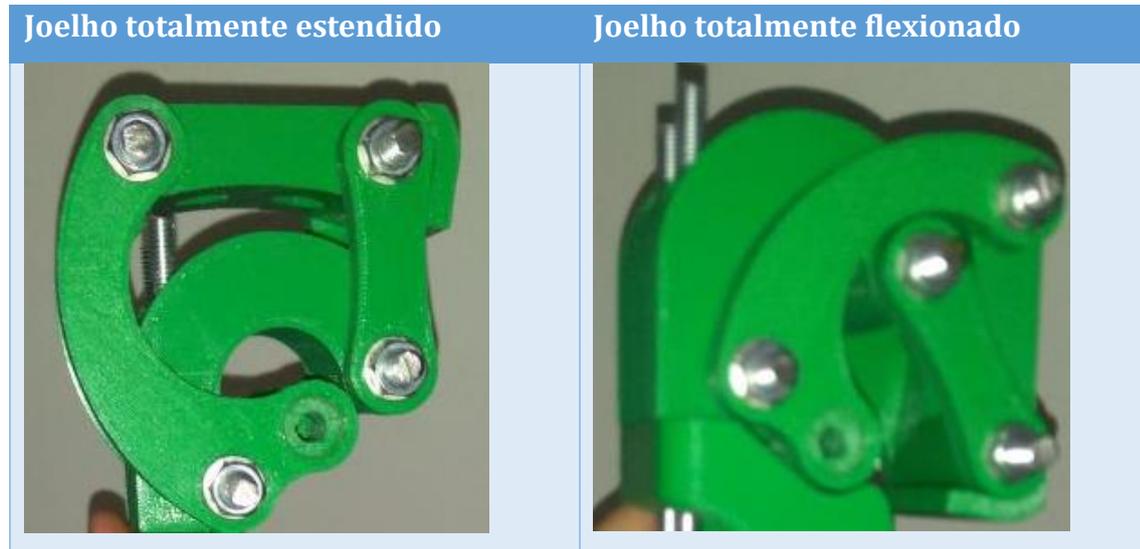
Como pode ser observado, há duas grandes melhorias visíveis: primeiro, o pé que, no projeto inicial, apesar de ser flexível e leve, é muito frágil e pode facilmente ser quebrado ao apoiar uma carga substancial. Optou-se, então, pelo uso de um pé desenvolvido para próteses tradicionais, confeccionada em madeira e revestida por material emborrachado. Segundo, foi a criação da caixa localizada na parte frontal, onde esta abrigará todos os componentes eletrônicos, responsáveis por controlar o movimento da perna e processar a informações obtidas pelos sensores, de modo a ficar mais organizados e protegidos das intempéries, já que o objetivo é poder ser utilizadas nos mais diversos ambientes.

Não muito aparente, mas também muito relevante para o funcionamento correto da mecânica da prótese, foi o uso de arruelas entre as partes móveis, que no projeto inicial,

por não haver o uso das mesmas apresentava atrito o que dificultava o movimento e desgastava as peças, assim com a aplicação de arruelas foi sanado ambos problemas.

Por outro lado, escolheu-se este projeto, pois sua estrutura principal é muito forte e consideravelmente leve e a articulação do joelho é muito intuitiva, como demonstrado na Figura 06.

Figura 06 - Demonstração da articulação do joelho.

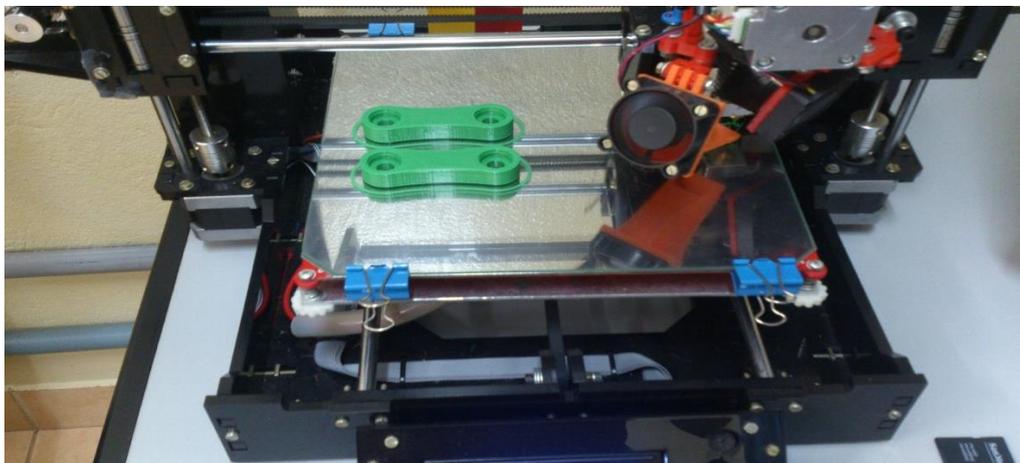


Fonte: Próprio Autor.

Desenvolvimento da Prótese

Foi utilizada uma impressora 3D na confecção das peças da prótese, com insumo PLA na cor verde claro (cor indicada por apresentar boa performance na impressão). Para ajustes no projeto e desenho das peças foi utilizado o Software FreeCad, versão 0.16.6712, e para a configuração do projeto 3D a ser impresso, utilizou-se o Software Simplify3D versão 4.0.1.

Figura 07 - Impressão de peças da prótese.



Fonte: Próprio Autor.

Captação dos sinais EMG

A captação da atividade muscular foi feita por dois componentes MyoWare Muscle Sensor, justamente com os cabos de sensores MyoWare, e os eletrodos biomédicos. Os eletrodos são colocados nos músculos da perna, sendo eles um no reto femoral, um no vasto lateral e outro no vasto medial, para realizar a extensão da perna. Para realizar a flexão, foram colocados dois eletrodos no semitendinoso e um no bíceps femoral. Os cabos são conectados aos eletrodos (um nos eletrodos responsáveis pela flexão e outro nos eletrodos responsáveis pela extensão) e ligados aos expansores, cujo o mesmo está interligado ao Sensor Muscular MyoWare por meio de pinos 1x40 180 graus.

Figura 08 - Interligação entre o Sensor Muscular MyoWare e o Expansor de eletrodo MyoWare por meio de pinos 1x40 180 graus.



Fonte: (Adaptado de Sparkfun).

A Placa MyoWare age medindo a atividade elétrica filtrada e retificada de um determinado músculo, produzindo um sinal analógico que será tratado no micro controlador ATMEGA (Arduino).

CONCLUSÃO

Não é novidade para ninguém que a tecnologia está, cada vez mais, a serviço do homem, fazendo com que a acessibilidade se torne algo muito mais vivenciado por todos, como, por exemplo, o simples fato de andar.

Quando se trata de algo que, para muitos, é absolutamente normal e, para outros, uma extrema dificuldade, não é viável tratar o dinheiro como uma barreira. É por isso que a proposta de reduzir o preço e deixar o caminhar de pessoas com amputação transfemoral menos complexos não pode ser ignorada, e o que, de fato, foi buscado e

alcançado. Houve uma redução drástica no valor de próteses que estão no mercado, se comparada com a trabalhada neste artigo.

Referente a viabilidade, testes foram realizados em pessoas que possuem ambas as pernas (sem amputação) e os resultados foram favoráveis. A prótese obteve os movimentos esperados, seguindo o movimento da perna em que os eletrodos estavam fixados.

Trabalhos Futuros

Este trabalho está sendo revisado pelo Comitê de Ética para que seja autorizado realizar testes em pessoas que possuem amputação transfemoral. Sendo assim, como trabalhos futuros, sugere-se as seguintes propostas:

- Fazer os devidos ajustes no amputado, cujos testes serão realizados.
- Validar o projeto, fazendo com que, de fato, o amputado possa utilizar a prótese em questão.

REFERÊNCIAS

Livros

CARVALHO, J. A. Amputações de membros inferiores: Em busca da reabilitação. São Paulo: Manole, 2003.

FRIEDMANN, L. W. Reabilitação do amputado de membro inferior. In: Kottke, F. J.; Lehmann, J. F. Tratado de medicina física e reabilitação de Krusen. 4ª ed. v.2. São Paulo: Manole, 1994.

GOFFI, F. S.; GUIMARAES, J. S. Amputações dos membros. In: Goffi, F. S. Técnicas cirúrgicas (bases anatômicas, fisiopatológicas e técnicas da cirurgia). 2ª ed. v.1. São Paulo: Manole, 1980.

M. A. RUBIO, C. M. HIERRO, AND Á. P. D. M. Y PABLO, "Using arduino to enhance computer programming courses in science and engineering."

OLIVEIRA, B.M; CABRAL, S.B. Ferimentos, curativos e bandagens. In: Oliveira, B. F.M; Paroliin, M.K.F; Teixeira, E.V. Trauma – atendimento pré hospitalar. São Paulo: Atheneu, 2001.

PEREIRA, FABIO Microcontroladores PIC: programação em C. ERICA, 2006.

DELLON, B.; MATSUOKA Y. "Prosthetics, Exoskeletons, and Rehabilitation". IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 30-34, 2007.

PANTALL A., DURHAM S., EWINS D. "Surface electromyography activity of five residual limb muscles recorded during isometric contraction in transfemoral amputees with osseo integrated prostheses" Clinical Biomechanics 760-765, 2011.

PINTO, L. C. "Eletromiografia Clínica". Ed. Atheneu. São Paulo 1996. 294p: il.

ZABKA, F. F.; VALENTE, H. G. e PACHECO, A. M. "Avaliação isocinética dos músculos extensores e flexores de joelho em jogadores de futebol profissional". Revista Brasileira Medicina Esporte [online], vol.17, n.3, pp. 189-192, 2011.

JACK G. GANSSELE, MICHAEL BARR, "Embedded Systems Dictionary", [online] 2003.

LEVI J. HARGROVE, PH.D., ANN M. SIMON, PH.D., AARON J. YOUNG, M.S., ROBERT D. LIPSCHUTZ, C.P., SUZANNE B. FINUCANE, M.S., DOUGLAS G. SMITH, M.D., AND TODD A. KUIKEN, M.D., PH.D. "Robotic Leg Control with EMG Decoding in an Amputee with Nerve Transfers" setembro de 2013 N Engl J Med 2013; 369:1237-1242.

DELLON, B.; MATSUOKA Y. "Prosthetics, Exoskeletons, and Rehabilitation". IEEE Robotics & Automation Magazine, pp. 30-34, 2007.

SIMMONS, L. P.; WELSH, J. S. Compact human-machine interface using surface electromyography. IEEE Asme, Wollongong, v. 6, n. 1, p. 9-12 July 2013.

C. G. ALVES, "Avaliação eletromiográfica de amputados transfemorais para ativação de membros artificiais", Master's thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Faculdade Gama, Universidade de Brasília, 2013.

R. Klotz, C. B., M. Botino, and I. Permentiers, "Influence of different types of sockets on the range of motion of the hip joint by the transfemoral amputee," Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, vol. 54, pp. 399-410, 2011.

Internet

Computers in Spaceflight: The NASA Experience. Disponível em: <<https://history.nasa.gov/computers/Ch2-5.html>>. Acesso em: 30 de outubro de 2017.

Homepage Arduino, Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Reference/Extended>>. Acesso em: 5 outubro de 2017.

IBGE. Censo demográfico brasileiro de 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 setembro de 2017.

Pacheco, R. Fraga, D. B. Tratamento fisioterapêutico em pós-operatório de amputação transfemoral de membro inferior direito. Rev. Técnico Científica (IFSC), v. 3, n. 1 (2012). Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/viewFile/697/557>>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

Teixeira, M. F. A atuação da fisioterapia no paciente com amputação transfemoral unilateral. [monografia] Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://www.uva.br/sites/all/themes/uva/files/pdf/A_ATUACAO_DA_FISIOTERAPIA_NO_PACIENTE_CO_M.pdf>. Acesso em: 29 setembro de 2017.

Medeiros, Eduardo. Ortotecnica. Amputação do Membro Inferior. Disponível em: <<http://ortotecnica.blogspot.com/2010/04/amputacoes-do-membro-inferior.html>>. Acesso em 07 de setembro de 2018.

Anatomia do Corpo. Músculos da coxa, perna e pé - Anatomia Humana. Disponível em: <<http://www.anatomiadocorpo.com/sistema-muscular/musculos-da-coxa-perna-e-pe/>>. Acesso em 07 de setembro de 2018.

Sparkfun Start Something. MyoWare Muscle Sensor Kit. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/myoware-muscle-sensor-kit>>. Acesso em 07 de setembro de 2018.

Sistema integrado de segurança com reconhecimento facial adjunto de aplicação mobile

Security integrated system with facial recognition attached mobile application

Henrique dos Santos Garcia Proença¹
Marco Aurélio Ribeiro Rodrigo²
Pedro Henrique Moreira Delamura³
James Clauton da Silva⁴

RESUMO

No âmbito da automação residencial, tecnologias relacionadas à segurança são cada vez mais procuradas, fazendo com que evoluam de forma exponencial. Assim como o reconhecimento facial, tecnologia de reconhecimento biométrico, que tem predominantemente seu uso em autenticações e que vêm sendo exploradas para uso em, cada vez, mais áreas. O projeto consistirá em um *gadget*, que, a partir de um microcontrolador, conexões sem fio, uma codificação atrelada ao microcontrolador e uma aplicação *mobile*, realizarão o mapeamento facial, envio de informações já processadas através de conexões sem fio, que serão recebidas pela aplicação mobile, podendo ser consultadas e/ou manipuladas de acordo com a necessidade do usuário. A obtenção dos resultados mostrou uma assertividade que alcança os 90% de reconhecimento de face, mas sem colocar em risco os 10% que não consiga reconhecer corretamente.

Palavras-Chave: Automação Industrial; Reconhecimento Facial; Autenticação Biométrica.

ABSTRACT

In the scope of home automation, security-related technologies are increasingly in demand, causing them to evolve exponentially. As well as facial recognition, biometric recognition technology, which is predominantly used in authentications and has been explored for use in more and more areas. The project will consist of a gadget, which, from a microcontroller, wireless connections, a coding linked to the microcontroller and a mobile application, will perform facial mapping, sending information already processed through wireless connections, which will be received by the application mobile, which can be consulted and / or manipulated according to the user's needs. The results obtained showed an assertiveness that reaches 90% of face recognition, but without putting at risk the 10% that is not able to recognize correctly.

Keywords: Industrial Automation; Facial recognition; Biometric Authentication.

¹ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: ph.1996@hotmail.com

² Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: marco_sidro@hotmail.com

³ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: henriquesgproenca@gmail.com

⁴ Graduado em Ciências pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Bebedouro - SP; Especialista em Tecnologia e Computação Gráfica pelo UniSALESIANO Araçatuba; e, Docente dos cursos de Engenharia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professor@zanondigital.com.

INTRODUÇÃO

Assim como todo tipo de tecnologia evolui, não seria diferente com as tecnologias voltadas para a segurança. Felizmente, a evolução está predominantemente em melhorias de desempenho e eficácia. Tem-se que a procura por casas já equipadas com sistemas de segurança, como alarmes e afins, tem aumentado cada vez mais. Com uma demanda cada vez maior, abre-se um leque de tipos de segurança residencial, para diferentes usos, de diversas maneiras de serem utilizados. Como uma das tecnologias em ascensão, o reconhecimento facial está muito atrelado à segurança.

Ainda que atraia, em grande maioria, empresas e/ou indústrias, essa tecnologia vem trazendo bons resultados. Esses resultados são graças aos avanços na área de *softwares* e na qualidade e precisão das câmeras de vídeo existentes no mercado. O conjunto, então, passa a ser cada vez mais imprescindível para quem buscar resultados rápidos e precisos (MANSON,2015).

A falta de segurança residencial e empresarial vem trazendo uma sensação de apreensão na população em geral, sendo, assim, a segurança é um fator determinante presente em residências e empresas, que por sua vez pode influenciar no valor do imóvel com base na localidade onde a taxa de criminalidade local seja considerada alta. Isto acarretou o aumento na procura por segurança, e com isso cresceu a necessidade de identificação das pessoas que entram e saem das empresas e condomínios (KAHN,1999), construindo, assim, maior valorização desta propriedade.

Com a necessidade de um melhor controle e identificação de pessoas, proprietários de casas e empresas começaram a investir em tecnologias para maior segurança, utilizando câmeras, sensores e reconhecimento biométrico (MEDRADO, 2018). Ao contrário do reconhecimento biométrico tradicional, que é necessário que a pessoa se voluntarie para confirmar o acesso, o projeto de reconhecimento facial deve agir de forma rápida, eficiente e autônoma, sem necessitar de ações voluntárias, impedindo que pessoas mal-intencionadas ou não autorizadas trafeguem de forma livre em áreas restritas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para realização deste projeto, haverá uma divisão de tarefas em três áreas. A primeira área será responsável por tudo relacionado ao *hardware* utilizado. A segunda será a área responsável por toda a codificação utilizada para reconhecimento facial, comparação, alocação e envio de dados coletados, e armazenamento. E, por fim, a terceira, que será dedicada ao *software*, a ser desenvolvido e voltado ao usuário final, para consulta e visualização das informações coletadas e processadas pelos dois processos anteriores citados.

Para a primeira área do projeto, o foco será a parte física (*hardware*), que terá como principal ferramenta um microcontrolador denominado de Raspberry PI 3, Model B, conforme (Figura 1). A escolha deste dispositivo, a princípio, foi relacionada com o *Magic Mirror*, desenvolvido por Pierre Raufast, a partir de um Raspberry, um sistema em que era realizado um reconhecimento facial e após o reconhecimento, o espelho identificava quem era a pessoa e falava com ela. O autor Pierre criou um tutorial para que qualquer pessoa pudesse construir o seu próprio espelho.

Contudo, a utilização do Raspberry para sistemas de reconhecimento facial ainda possui algumas limitações para o seu uso. Como o reconhecimento facial possui diversos tipos de passos antes de realmente identificar a face, em questão, ele não pode utilizar alguns tipos de detectores de faces, como o *CNN-based face detector*, que possui um nível de acerto mais alto que diversos sistemas deste tipo. Então, tem que utilizar o *Haar Cascades*, da biblioteca OpenCV (ROSEBROCK, 2018).



Figura 1 – Raspberry PI 3 Model B. Fonte: Amazon (2018).

Ainda na área de *hardware*, existem alguns equipamentos que serão utilizados, sendo indispensáveis para realização do projeto.

O primeiro deles será a Raspberry Pi Camera Module V2, apresentado na (Figura 2), tem uma câmera compatível com o microcontrolador, que será utilizada para captura de vídeo em alta definição e fotos estáticas, que serão a base de dados utilizada na codificação. Embora exista diversos tipos de câmeras que possuam um melhor desempenho ou capacidade, para o Raspberry não seria tão interessante e por isso foi escolhido o módulo próprio do Raspberry, devido ao seu melhor desempenho para a placa, já que ela possui um maior *framerate* e uma melhor resolução (UPTON, 2013).



Figura 2 – Raspberry Pi Camera Module V2. **Fonte:** Amazon (2018).

Para a comunicação a distância, será utilizado um equipamento chamado *dongle* (dispositivo externo conectado a um computador ou microcontrolador, que libera uso de diversos programas ao conecta-lo em portas USB ou HDMI (*WiFi*) apresentado na Figura 3, que fará o envio de dados já processados, para um servidor *WEB* e poderá ser acessado pelo usuário final, assim como a tecnologia citada abaixo, a partir de autenticação.



Figura 3 – Dongle WiFi. **Fonte:** ModMyPI(2018).

Por fim, como último componente físico, um módulo sensor ultrassônico (Figura 4), que servirá como gatilho para a câmera iniciar a captura de imagens,

através de um sensoriamento delimitado a certa distância, que é decidida com base na câmera e na codificação realizada.



Figura 4 – Módulo Sensor Ultrassônico. Fonte: Baú da Eletrônica (2018)

Partindo para a segunda área do projeto, onde seu foco é a codificação utilizando a linguagem Python e a biblioteca OpenCV, com um classificador *haarcascade*, o OpenCV compara os classificadores com os *frames* que serão capturados pela câmera. Após a detecção de faces, a imagem será selecionada na região em volta do rosto em um formato retangular, conforme a Figura 5.

Ainda na parte de codificação, após o recorte das faces nos *frames* capturados, o código separa e salva as imagens em formatos bmp (*bitmap*) com um único canal de cor (cinza), cada uma das imagens é processada conforme os geradores de classificadores de cada algoritmo para ser utilizado na comparação quando for requisitado o reconhecimento facial.

Durante o processo de tratamento da imagem, antes de ser salva, essa imagem passa por filtros para melhorar e realçar os seus principais componentes de imagem e, após o seu processamento, a codificação será capaz de realizar a comunicação e transmissão de dados processados por *WiFi*.

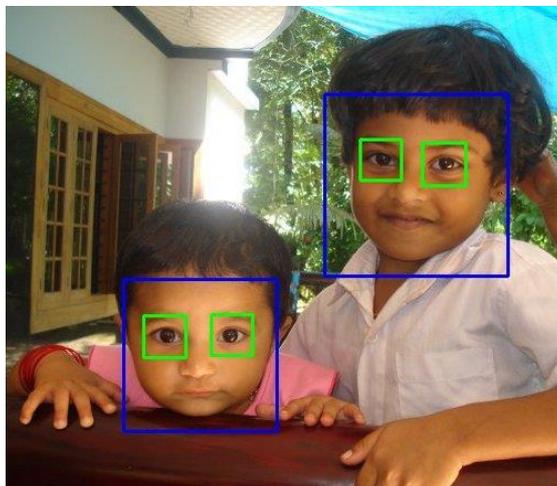


Figura 5 – Exemplo da detecção facial e ocular utilizando Opencv, área separada e recortada pronta para ser trabalhada. Fonte: Opencv Docs: Face Detection (2018).

Por fim, foi construído um *software* em linguagem Android, que terá múltiplas funcionalidades. Primeiramente, o recebimento de informações processadas, pelos dois meios de comunicação sem fio citados anteriormente (*WiFi*). Com isso, a aplicação terá em seu menu de opções, como já citado anteriormente, o recebimento de informações. Também há uma área para consultas específicas, um campo para configuração das notificações, caso o usuário esteja conectado à internet no momento.

METODOLOGIA

Neste projeto será utilizado um *Web Service* para que haja comunicação entre a aplicação em Python no Raspberry, com Android em um dispositivo *mobile*.

O modelo adotado para a metodologia na criação do código de reconhecimento facial foi dividir em partes essenciais, sendo a detecção facial o princípio do código até os resultados obtidos no final do reconhecimento e o tratamento dos dados resultantes. A aplicabilidade do projeto tem como base preceitos e fundamentos da visão computacional, seguindo os métodos já desenvolvidos pela Intel ao criar o OpenCV para ser uma ferramenta de uso na visão computacional que foi desenvolvida, e utilizando dos meios de detecção de objetos propostos por Paul Viola e Michael Jones, no *Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features*, em 2001. É uma abordagem baseada em *Machine Learning* em que uma função em cascata é treinada a partir de *frames* positivos e negativos gerando então um classificador com os principais componentes de cada *frame*, sendo *Haar-Cascade* baseado nos *frames* analisados.

Detecção da Face

Na detecção, foi estipulado parâmetros para redimensionamento de imagem, tamanho mínimo e prevenção de falsos positivos (rostos falsos), sendo para prevenção o *minNeighbors*, para redimensionamento o *scaleFactor*, e *minSize*, para tamanho mínimo. Como pode haver variação do ambiente que o projeto será instalado, há a necessidade de se ajustar os parâmetros novamente, de acordo com o ambiente, então, criou-se um módulo extra para viabilizar e agilizar testes para

definição de novos parâmetros. Com o módulo notou-se uma pequena redução no tempo de configuração da instalação, ocupando no máximo duas horas para a configuração completa subsequente à instalação. Após a detecção de face no *frame*, forma-se um retângulo com as dimensões do rosto sendo então preparada para ser salva na etapa de captura.

Captura do Frame

Nessa etapa, o *frame*, pronto para ser capturado e salvo, passa por três tratamentos importantes, sendo que o primeiro é realizado o processamento do *frame* capturado, o transformado de RGB para um único canal de cor (cinza). Depois desta etapa, segue para um módulo que alinha os *frames*, comparando as posições dos olhos. Ao serem alinhados, passam por um tratamento que calcula a média da luminosidade, verifica se está abaixo ou acima do valor médio padrão de luminosidade do canal cinza e, caso estiver abaixo da média, é aplicado filtro de imagem para realce do contraste, que aumenta a luminosidade da imagem, destacando os principais componentes faciais. Só, então, após esses processos e verificações, o código salva o *frame*, seguindo diretamente para o treinamento e geração dos classificadores para seus respectivos tipos de reconhecimento.

Geração dos Classificadores

Os classificadores formam a parte principal do código, sendo que para realizar o reconhecimento de uma face em um determinado *frame* é necessário comparar aspectos faciais do *frame* com os componentes principais faciais, que são armazenados no classificador, sendo fundamental a adoção dos três tipos de geradores pela provável variação do ambiente e a forma como cada um trata as imagens, dos quais serão descritos a seguir:

- **LBPH (*Local Binary Patterns Histograms*)**: sendo ele mais robusto que os outros e com pouca influência no resultado pelo fator luz.
- ***EigenFace***: separa e analisa os *pixels* em seus respectivos vetores *EigenVectors* com seus respectivos *EigenValues*, altamente sensível a luz, porém tem mais confiança na resposta quando em um ambiente estável e com bastante amostras de *frames*.

- **FisherFace:** pode se considerar um intermediário, sensível a luz por utilizar um método do *EigenFace* o PCA (*Principal Component Analysis*), porém com atributos separados linearmente com seu respectivo método o FLD (*Fisher Linear Discriminant*).

Esses geradores, ao serem aplicados nas imagens capturadas e salvas com distinção de id para face de cada pessoa, geram classificadores comparativos com seus componentes ressaltados para cada tipo (*Eigen*, *Fisher* e *LBPH*), que são armazenados na pasta do código. Após salvar os novos classificadores as fotos tratadas são excluídas para evitar sobrecarga no espaço de armazenamento do *hardware*. Ao ser chamado novamente para gerar novos classificadores, com novas imagens, o *software* trata as imagens novamente para conseguir gerar os classificadores sem precisar de novas amostras de imagens da face de usuários, já capturadas.

Reconhecimento

Após todos os passos completos, o *software* entra de forma autônoma na parte do reconhecimento, onde já tenta detectar qualquer face que esteja nos *frames* da câmera, em tempo real para o reconhecimento. Essa parte se fez necessária como a parte inicial do código, quando executado, sendo que só entrará em estado de detecção para o cadastro de novas faces a partir de um comando externo recebido.

Ao detectar uma face ele procede para a comparação dos componentes desta face detectada com os componentes gerados nos classificadores, tentando identificar a face da pessoa. Nesta etapa, utiliza-se as ferramentas de reconhecimento dos três tipos (*Eigen*, *Fisher* e *LBPH*), que ao serem chamados entram no processo de comparação e geram valores da distância aproximada de um componente do classificador para cada *frame*. Estes valores gerados são usados para limitar a distância de componentes que seja confiável, sendo estas distâncias as que se mostraram adequadas com o resultado dos testes, fazendo o resultado chegar o mais próximo do desejado, de forma a se evitar falsos positivos no reconhecimento que, por fim, após o cálculo destes valores, é apenas dado como resultado caso dois ou mais dos algoritmos resultarem no mesmo id. Persistindo

frame a frame, o código salva as imagens reconhecidas e desconhecidas em diferentes pastas, tenta notificar o usuário com o resultado(id caso reconheça) e data da amostra.

Web Services

Web Services é uma coleção de protocolos abertos, que é utilizado para troca de dados entre aplicações, criando uma ponte para troca de informações entre linguagens diferentes (NOABEB, 2010 p. 1). Neste projeto, ele irá ser bastante importante para a troca destes dados entre Python e Android, linguagens essas que são totalmente diferentes. Portanto, para que esta tecnologia funcione é necessário que um usuário faça uma requisição e uma máquina consiga receber e realizar as instruções que o cliente teria requisitado.

Para a realização desse protótipo será utilizado REST, já que esta é uma tecnologia que funciona de forma eficiente com o próprio sistema operacional Android.

REST (*Representation State Transfer*)

REST ou Representação da Transferência de Estados foi desenvolvida por Roy Fielding, para a sua dissertação de doutorado. É um estilo de arquitetura para sistemas *hypermedias* distribuído. REST é um tipo de protocolo híbrido derivado de diversos tipos de arquiteturas baseadas na internet, sendo combinadas com seis (6) *constraints*, estas que praticamente formam o protocolo (FIELDING, 2000). Sendo elas:

- Interface Uniforme
- Sem estado(*Stateless*)
- “Cacheavel”
- Cliente-Servidor
- Sistema em camadas
- Código sob demanda (opcional)

Testes

As fases de testes foram realizadas ao fim de cada etapa de construção concluída, na parte de *hardware* e *software* do projeto.

De início, os testes foram para escolha do equipamento, no caso dos sensores (câmera e ultrassônico), que caberiam na usabilidade do projeto e combinariam bem com o microcontrolador escolhido (Raspberry 3 Model B), que foi escolhido por sua capacidade de processamento maior do que seus “irmãos” de mercado e por possuir características específicas que necessitadas.

Sendo de fácil manuseio, fácil acesso, possuir compatibilidade com as bibliotecas que serão utilizadas e com *WiFi* integrado (que são assessorados por seus *dongles* para que possam funcionar), descartam a necessidade de adquirir *shields* para realizar as suas funções.

Visto que, era necessário criar uma tecnologia de baixo custo em relação às mesmas já existentes no mercado, pode-se citar um exemplo: o Nest IQ Indoor, que foi desenvolvida pelo Google, sendo uma câmera com a função de verificar movimento e, ao mesmo tempo, identificar quem ou o que está em determinado local onde ela é posicionada. Podem ser pessoas autorizadas ou não, ou até mesmo animais, como pets e afins. Este aparelho custa em torno de R\$ 3.998,00. Já este projeto, custou aproximadamente R\$ 300 em equipamentos, citados neste trabalho. Por isso mesmo, este é um projeto considerado de baixo custo, flexível a diferentes tipos de usos e, conseqüentemente, mais acessível a todos que queiram ter este tipo de tecnologia.

Na parte do *software*, estudos foram realizados a partir de trabalhos que utilizavam partes das tecnologias que estudavam melhores casos para utilizações e possíveis dificuldades ao utilizá-los. Após a escolha das ferramentas, foi escolhido o OpenCV como biblioteca de reconhecimento facial, como base de trabalho e um ambiente em Python (escolhido pelo bom funcionamento com projetos que envolvam biometria e pela compatibilidade com o Raspberry). Com isso, os testes foram realizados no terço final da codificação, visando minimizar os falsos positivos que se deram por problemas com iluminação e/ou conflito de duas tecnologias utilizadas. Estas, foram permitindo uma lapidação melhor do código.

Ainda sobre o software, tem-se a escolha do Raspbian pela comodidade visual trazida, para facilitar configurações e testes futuros, mas sem descartar o uso futuro de um sistema operacional sem a interface visual, para, assim, ter-se uma economia de espaço, memória e processamento.

CONCLUSÃO

Implementou-se um sistema biométrico utilizando um Raspberry PI model B e um dispositivo *mobile*, com o sistema operacional Android. As imagens são capturadas pelo Raspberry, passam pelo reconhecimento facial e geram resultados de conhecimento ou desconhecimento das faces para serem enviadas, via um *Web Service*, para que o cliente consiga manipular as imagens via o aplicativo *mobile* que ele possui, manipulando de forma que ele consiga visualizar o que o *hardware* para o reconhecimento facial detectou.

Os resultados obtidos mostraram uma assertividade de 90% ao reconhecer uma face, sendo que caso não consiga reconhecer corretamente a face, a classifica como face desconhecida para evitar um falso reconhecimento. Mesmo sendo um sistema de baixo custo, em comparação a sistemas de segurança já presentes, hoje no mercado, e entregando até 90% de assertividade, ele se mostrou inviável para uso em segurança pela limitação do processamento, que inviabiliza o reconhecimento de duas ou mais pessoas simultaneamente e em tempo real, e por necessitar da realização de testes para ajustar os parâmetros sempre que for instalado em um novo local.

Contudo, o projeto poderia ter sido construído em outro tipo de plataforma para uma melhor *performance*, utilizado uma câmera com maior qualidade e outros tipos de detectores e reconhecedores faciais, como o Raspberry, que ainda é limitado em configuração e acaba ocasionando erros de memória e falha do *software*.

Para futuros trabalhos os autores recomendam, se possível, a paralelização dos processos de reconhecimento, caso da não utilização de um *hardware* como o Raspberry PI 3 model B, outro tipo de reconhecimento como o *CNN-based facial recognition* e, possivelmente, a utilização do *Deep Convolutional Facial Recognition* e a utilização de frameworks, já existentes, como o Caffe. Para a câmera, seria aconselhado também a utilização de uma com boa iluminação e qualidade, para que os classificadores conseguissem ser detectados de uma forma eficiente e rápida.

REFERÊNCIAS

Adrian Rosebrock, Face Recognition with OpenCV,Python and Deep Learning. Disponível em:<<https://www.pyimagesearch.com/2018/06/18/face-recognition-with-opencv-python-and-deep-learning/>> Acesso em: 08 ago.2018.

Amazon, Raspberry Pi 3 Model B Motherboard. Disponível em:<<https://www.amazon.com/Raspberry-Pi-RASPBERRYPI3-MODB-1GB-Model-Motherboard/dp/B01CD5VC92> > Acesso em: 26 abr. 2018.

Amazon, Raspberry Pi Camera Board. Disponível em:<<https://www.amazon.in/Raspberry-Pi-Camera-Board/dp/B00L1FOIIS> > Acesso em: 26 abr. 2018.

Baú da Eletrônica, Sensor ultrassônico HC-SR04. Disponível em:<<http://www.baudaeletronica.com.br/modulo-de-sensor-ultrassonico-hc-sr04.html>> Acesso em: 26 abr. 2018.

Canal Tech, As novas caras do reconhecimento facial. Disponível em:<<https://canaltech.com.br/seguranca/as-novas-caras-do-reconhecimento-facial-50081/>> Acesso em: 30 set. 2018.

Fielding, Roy Thomas. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.

Gabriela Medrado, Condomínios investem em novas tecnologias de segurança. Disponível em< <http://atarde.uol.com.br/imoveis/materias/1938644-condominios-investem-em-novas-tecnologias-de-seguranca> >Acesso em: 10 mar.2018.

Github, Opencv user guide setup. Disponível em:<<https://www.youtube.com/watch?v=hN4lULTjzE>> Acesso em: 26 abr. 2018.

Kabiljo, Danny. A Biometria a serviço da Segurança nas Empresas. Disponível em:<<http://www.administradores.com.br/noticias/negocios/a-biometria-a-servico-da-seguranca-nas-empresas/121646/> > Acesso em: 22 fev.2018

Leonardo Cezar de Freitas, Web Services. Disponível em:<<http://www.leonardofreitas.eti.br/download/TCC-ARTIGO%20CIENTIFICO.pdf>> Acesso em: 08 ago.2018.

Liz Upton, Facial Recognition: OpenCV on the camera board. Disponível em:<<https://www.raspberrypi.org/blog/facial-recognition-opencv-on-the-camera-board/>> Acesso em: 08 ago.2018.

Liz Upton, Raspberry PI Magic Mirror. Disponível em:<<https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-magic-mirror/>> Acesso em: 08 ago.2018.

ModMyPI, WiFi Dongle - Nano USB. Disponível em:<<https://www.modmypi.com/connectivity-1138/wifi-dongle-nano-usb>> Acesso em: 26 abr. 2018.

Pierre Raufast, Magic Mirror. Disponível em: <<https://thinkrpi.wordpress.com/magic-mirror/>> Acesso em 08 ago.2018.

ResearchGate, Face Recognition with Raspberry Pi for IoT Environments. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320078959_Face_recognition_with_Raspberry_Pi_for_IoT_Environments> Acesso em: 08 ago.2018.

Sistemas de Segurança, A evolução e a importância dos alarmes de segurança. Disponível em: <<http://www.sistemasdeseguranca.pt/alarmes/evolucao-e-importancia-alarmes-seguranca/>> Acesso em: 01 nov. 2012.

Todd Fredrich, RESTful Service Best Practices. Disponível em: <www.RestApiTutorial.com> Acesso em: 03 set.2018.

Android Developers, Volley Overview. Disponível em: <<https://developer.android.com/training/volley/>> Acesso em: 06 out.2018.

Webreference dev the web, Anatomy of a Web Service: XML,soap and WSDL for platform-independent Data Exchange. Disponível em: <http://webreference.com/authoring/web_service/index-2.html> Acesso em: 08 ago.2018.

Sistema de alerta anticolisão frontal de automóveis

Anti-collision warning system for cars

Fabrizio Antônio Alexandre¹
Rafael de Souza Capelari²
James Clauton da Silva³
Amadeu Zanon Neto⁴

RESUMO

O presente trabalho apresenta um sistema de alerta anticolisão frontal de veículos, cujo objetivo é a prevenção de acidentes de trânsito causados pela falta de atenção do motorista, levando-se em consideração que as estatísticas apontam esta como a principal causa de grande parcela dos acidentes no trânsito. Com o acesso à informação, facilitado pelas tecnologias que estão cada dia mais presentes no cotidiano, as pessoas têm buscado aproveitar melhor o seu tempo para realizar um maior número de tarefas, às vezes em momentos impróprios para tal, e isso pode colaborar para o aumento destes índices. Partindo do pressuposto apontado, um sistema, aplicado a um protótipo, busca identificar os momentos em que o condutor não está com a devida atenção voltada à direção do veículo, para então emitir um alerta de modo que o motorista possa retomar a direção à tempo de que se possa evitar um potencial acidente. Para identificar estas situações, foi realizado o monitoramento da distância entre o veículo ao qual o sistema está instalado e outro que estiver à sua frente, ou outra possível obstrução, a partir de sensores ultrassônicos. De acordo com o estudo realizado e amparado em uma extensa revisão bibliográfica, foi possível concluir que, implementando-se ao sistema um algoritmo capaz de distinguir as reais situações de alerta e, chamando a atenção do condutor, de maneira que o mesmo tenha tempo hábil para uma reação cabível ao momento, o projeto tem totais condições de colaborar com a redução do índice de acidentes causados pela falta de atenção.

Palavras-Chave: Segurança automotiva. Acidentes de trânsito. Prevenção de acidentes. Sistema de segurança no trânsito.

ABSTRACT

The present work presents a frontal collision warning system for vehicles, whose objective is the prevention of traffic accidents caused by the lack of attention from the driver, taking into account that the statistics indicate this as the main cause of a large portion of accidents in the country. Traffic. With access to information, facilitated by technologies that are increasingly present in everyday life, people have sought to make better use of their time to perform a greater number of tasks, sometimes at times unsuitable for that, and this can contribute to the increase these indices. Based on the presupposed point, a system, applied

¹ Acadêmicos do 9º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

² Acadêmicos do 9º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

³ Engenheiro da Computação; Mestre em Engenharia Elétrica; Doutorando UNESP - Ilha Solteira; Docente nos cursos de Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas, Tecnologia em Jogos Digitais e Engenharia da Computação, no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professorjames@unisalesiano.com.br.

⁴ Graduado em Ciências pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Bebedouro - SP; Especialista em Tecnologia e Computação Gráfica pelo UniSALESIANO Araçatuba; e, Docente dos cursos de Engenharia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professor@zanondigital.com.

to a prototype, seeks to identify the moments when the driver is not paying attention to the vehicle's direction, so that an alert can be issued so that the driver can resume driving in time. that a potential accident can be avoided. To identify these situations, the distance between the vehicle to which the system is installed and another in front of it, or other possible obstruction, was monitored using ultrasonic sensors. According to the study carried out and supported by an extensive bibliographic review, it was possible to conclude that, by implementing an algorithm capable of distinguishing real alert situations from the system and, drawing the driver's attention, in a way that the driver has enough time for a reaction appropriate to the moment, the project is fully capable of collaborating with the reduction of the accident rate caused by lack of attention.

Keywords: Automotive safety. Traffic accidents. Accidents prevention. Traffic safety system.

INTRODUÇÃO

Desde a década de 1920, o Brasil importa automóveis de montadoras estrangeiras, como a Ford Motors Company, que iniciou sua produção comercializando o Ford "T", em 1919, e a General Motors Company, em 1925, com o modelo conhecido como "Cabeça de Cavalos". Nesta época, não existiam carros nacionais e o primeiro carro fabricado no Brasil surgiu apenas em 1956, com a Romi-issetta, da Indústria Romi S/A, em Santa Bárbara D'Oeste, estado de São Paulo (BARRERO, 2014).

Com o tempo, os automóveis se tornaram cada vez mais presentes na vida das pessoas, mas a infraestrutura viária não evoluiu no mesmo ritmo. Baseando-se na cidade de São Paulo, o número de veículos aumentou em 400%, entre meados de 1970 e 2000, enquanto que no mesmo período o sistema viário evoluiu somente 21% (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO, 2017). Como reflexo destes dados, tem-se um número de automóveis que cresceu de forma alarmante, transitando em uma área que desenvolveu menos do que o necessário, tornando comum a competição por espaços nos trânsitos, acidentes e engarrafamentos.

Paralelamente, tem-se a tecnologia que, nos últimos anos, passou por uma intensa evolução e se tornou onipresente no cotidiano das pessoas. *Smartphones*, *smartwatches* e outros dispositivos *wearables* trouxeram muita praticidade à vida humana, interconectando as pessoas e disponibilizando o acesso à informação a qualquer momento, de maneira rápida e fácil. É comum deparar-se com pessoas resolvendo assuntos pessoais ou de trabalho através do celular enquanto realizam outras tarefas, como aguardar em uma fila de banco ou tomar um café. Além do mais,

a fácil mobilidade tem mudado alguns hábitos, como o fato das pessoas levarem trabalho para casa ou pagarem as suas contas pela internet, executando praticamente qualquer tarefa. Sem contar no lado empresarial, onde o avanço da tecnologia ajudou no crescimento das empresas através da automação de processos, implementação de softwares, controle de produtividade, agilidade na comunicação, entre outros.

Segundo Edson Brasil, coordenador de vendas da empresa Comercial Lucar, é possível destacar algumas entre as diversas vantagens sobre a tecnologia na atualidade (BRASIL, 2015):

- Comunicação mais rápida - Atualmente é possível conseguir se comunicar com diversos países com rapidez em tempo real a qualquer momento.
- Globalização - É possível comprar e vender tudo de qualquer lugar sem sair de casa.
- Máquinas melhores - Os novos maquinários elevaram a qualidade e produtividade nas empresas, permitindo garantir um produto final de qualidade.
- Concorrência - Com a facilidade do comércio eletrônico, há um grande leque de opções de produtos, o que é muito importante e faz com que a escolha tenha mais chance de ser a mais acertada possível.

Em contrapartida, a tecnologia também possui os seus pontos negativos e é importante que haja sempre a atenção e prudência do usuário para com a sua utilização. Ela pode se tornar perigosa até mesmo a médio e longo prazos, se não utilizada de forma coerente. De forma geral, pode-se afirmar que a ideia é que o humano tenha o domínio da tecnologia e não o contrário. Seguindo esta linha, abaixo tem-se alguns pontos que precisam ser considerados (BRASIL, 2015):

- Mão de obra humana - A tecnologia atualmente consegue fazer com que máquinas substituam a mão de obra humana com maior produtividade. Desta forma, as pessoas são forçadas a se qualificarem para enfrentar o mercado competitivo, ou perdem os seus empregos.
- Interação virtual - Com a popularidade das redes sociais, é necessário ter muito cuidado com as amizades e relacionamentos virtuais.
- Segurança - A ascensão das vendas pela internet proporcionou um grande

número de transações feitas com cartão de crédito. Juntamente com isso os oportunistas procuram uma forma de aproveitar dos usuários através de fraudes e clonagens de cartão.

- Vícios - As redes sociais, jogos, conteúdos ilícitos podem tornar os usuários viciados nesse conteúdo.

Acrescenta-se aos tópicos acima, a influência da tecnologia no número de acidentes de trânsito (AT). Segundo pesquisa, uma das principais causas destes acidentes é a falta de atenção do condutor, onde muitas vezes este estava utilizando-se do celular ou dirigindo com sono (OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA, 2017). O cansaço físico e mental pode ser causado pela grande quantidade de informações processadas e por tarefas realizadas durante longos períodos, seja por trabalho ou lazer.

Pensando no quesito de prevenção de AT, este projeto visa desenvolver um sistema capaz de prevenir acidentes causados por distração ou pelo sono do condutor. Para isso será monitorada a distância entre o veículo ao qual o sistema estiver instalado e uma possível obstrução à frente e, ao detectar uma redução repentina dessa distância, emitir um alerta ao condutor capaz de fazê-lo retomar a sua atenção à direção.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Acidentes de Trânsito

Os acidentes de trânsito (AT) representam uma grande parcela entre as causas de mortalidade e morbidade, devido ao crescimento acentuado do número de veículos, falta de condições do sistema viário e ao comportamento do condutor de forma geral (BACCHIERI G., KANCHAN T., 2011). Desta forma, apresenta-se um grande problema social, exigindo o empenho coletivo para a sua amenização.

O termo “acidente” não traz dúvidas quanto ao seu significado, sendo ele um acontecimento casual, inesperado e imprevisível (MELLO, SOUZA E. R., 2007). Acontece é que no aspecto de trânsito, apesar da ausência de intencionalidade, estes acidentes muitas vezes são causados pela falta de atenção e imprudência de quem está no controle do veículo, sendo a maioria dos casos possíveis de se prever e prevenir.

Segundo o Ministério da Saúde, a grande maioria dos AT causados por falha
Revista eSALENG – Revista eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO – Vol.8, n.2, 2019

humana estão relacionados à falta de atenção do condutor, cujos casos descrevem situações em que este fazia uso do celular enquanto dirigia ou conduzia o veículo com sono (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017).

Medidas para a Prevenção de Acidentes

Diante do panorama atual, faz-se necessário a aplicação de medidas fortes e que sejam eficazes na redução do número de AT e que tenham efeito a partir de diversos aspectos. Sendo assim, este é um tema bastante abordado nos últimos anos pelos órgãos públicos, montadoras de automóveis e pessoas ligadas a este meio. Também é importante ressaltar a iniciativa de projetos acadêmicos que trazem propostas de sistemas inteligentes com o mesmo intuito.

O Código de Trânsito Brasileiro, por exemplo, determina constantemente penalidades mais severas aos motoristas que cometem infrações ao volante, principalmente aquelas que envolvem atos de imprudência onde é colocada em risco a própria vida do condutor ou a de outra pessoa.

Uma grande medida, popularmente conhecida, é a Lei Seca, aprovada em 2008 com a finalidade de diminuir o número de AT causados pelo consumo de bebidas alcoólicas. A lei penaliza o motorista, autuando-o com multa considerada gravíssima, em um valor extremamente alto se comparado a outras multas de trânsito, além da suspensão da CNH por 12 meses e, dependendo do nível de álcool no sangue, o condutor pode ser preso e responder por crime (PLANALTO, 2008).

Outras medidas são frequentemente propostas e discutidas por representantes do Poder Executivo e especialistas das entidades de trânsito. As ações se baseiam no reforço da fiscalização, programas de proteção a pedestres, ciclistas e motociclistas e melhorias no espaço urbano.

A Tecnologia nos Sistemas de Segurança Automotiva

Do lado das montadoras de automóveis, há um considerável crescente no investimento com a segurança do condutor. Desde 2014, por determinação do Código de Trânsito Brasileiro, os veículos devem sair de fábrica com *airbags* e freios ABS, de série (GOVERNO FEDERAL, 2014).

As montadoras estão incluindo em seus veículos de alto padrão, sistemas inteligentes capazes de prevenir acidentes causados pela distração do motorista.

Esse tipo de acidente pode ser prevenido ou até mesmo evitado com o auxílio da tecnologia. Uma das formas é alertar o condutor sobre a proximidade do perigo, enquanto ainda houver tempo para uma reação preventiva. Esta ação pode ajudar a reduzir a severidade do impacto ou até mesmo evitar a potencial colisão.

A montadora Chevrolet (2018) oferece, em alguns de seus automóveis, sistemas de segurança que seguem essa linha. Um dos modelos da marca possui, por exemplo:

- Frenagem automática de emergência em condições de baixa velocidade, se o sistema detectar o risco de colisão com o veículo da frente;
- Alerta de detecção de pedestre com o auxílio de frenagem, para situações de colisão iminente com pedestre;
- Assistente de permanência na faixa, onde câmeras frontais detectam a saída involuntária da faixa atual, com o sistema corrigindo a trajetória do veículo automaticamente;
- Alerta para objetos em pontos cegos e movimentações traseiras.
- Alerta de colisão frontal, com sensores identificando o veículo à frente, quando o sistema emite um alerta de acordo com a distância entre os automóveis.

Parte desses sistemas utilizam componentes que já são conhecidos no ramo automotivo, mas que costumam ser aplicados com outras finalidades. É o caso dos sensores ultrassônicos e das câmeras, que são comumente aplicados em sistemas auxiliares de estacionamento do veículo.

A montadora citada no exemplo utilizou-se de uma combinação de câmeras instaladas em posições estratégicas, afim de mapear a visão frontal do veículo. O seu sistema possui três níveis de alertas visuais mostrados no painel, diferenciando-se pela cor (verde, amarelo e vermelho). Assim, o grau de risco é estabelecido de acordo com a distância entre os dois veículos, não levando em consideração a diferença de velocidade entre eles. O usuário também pode configurar as distâncias equivalentes aos níveis de alerta, além de ter a opção de desativar o sistema (CHEVROLET, 2018).

O tema pesquisado neste artigo propõe um sistema de alerta anticolisão frontal, a partir do monitoramento da distância entre o veículo atual e o que estiver à sua frente. É possível que ele remeta a uma comparação com o sistema anticolisão da montadora Chevrolet, mas é importante considerar alguns pontos:

- Este projeto utiliza sensores ultrassônicos ao invés de câmeras para monitorar a distância até o veículo da frente, reduzindo o custo de implementação.
- O sistema da montadora, dado no exemplo, emite os alertas com base apenas na distância entre os veículos, sem analisar se ela está diminuindo ou aumentando. No entanto, o projeto apresentado faz a análise de um conjunto de informações que ajudarão a determinar se uma situação deve ser considerada ou não de risco, evitando, assim, o envio de alertas desnecessários ao condutor.

METODOLOGIA E ETAPA EXPERIMENTAL

Desenvolvimento do Protótipo em Maquete

Para exemplificar os conceitos empregados e por questões de segurança e custo de desenvolvimento, optou-se pela construção de um protótipo representado em escala reduzida, mas que permitisse a reprodução dos efeitos de um veículo em escala real.

Protótipos ou simulações em papel podem ser utilizados em fase de estudo exploratório, como maneira de elucidar questões do projeto que seriam complexas se aplicadas em ambiente de produção. Com o seu uso, é relativamente fácil observar falhas e realizar correções em curso dos problemas que surgirem, bem como aplicar melhorias e testar novas funcionalidades. O melhor momento para se usar um protótipo é na fase inicial do projeto, ou em uma fase de revisão mais ampla, o que pode servir como prova de conceito (RUBIN, 1994).

Por mérito da solução adotada, foi possível realizar com segurança alguns testes que ofereciam potenciais danos materiais e riscos físicos aos elaboradores do projeto. Dentre os testes foi possível salientar:

- Ajustes finos no sensor ultrassônico, atividade que exigiu a aproximação da maquete a obstruções frontais com o veículo estando em diferentes velocidades.
- Desenvolvimento e testes do velocímetro, onde foi necessário o monitoramento em tempo real dos dados coletados.
- Tempo gasto nas frenagens com o veículo em velocidades variadas.

A maquete foi criada com base em um carrinho de controle remoto convencional, cujo circuito foi modificado para permitir o desenvolvimento das funcionalidades necessárias. A decisão de empregar o seu uso demandou ao projeto algumas tarefas extras, afim de tornar disponíveis os recursos necessários e permitir a leitura de variáveis fundamentais nas tomadas de decisões no sistema. As tarefas adicionais foram:

- Elaboração do velocímetro com sensores magnéticos (*reed switches*);
- Desenvolvimento do sistema de controle do veículo através da comunicação *Bluetooth*;
- Monitoramento da distância para obstruções frontais com sensor ultrassônico.

Estrutura do Sistema

O sistema é formado basicamente por três módulos principais (figura 1), que serão melhor detalhados mais à frente. Os módulos base do sistema são:

- Monitoramento da distância até possíveis obstruções que estiverem à frente do veículo;
- Processamento dos dados para a detecção de uma situação de risco;
- Disparo de alertas ao condutor.

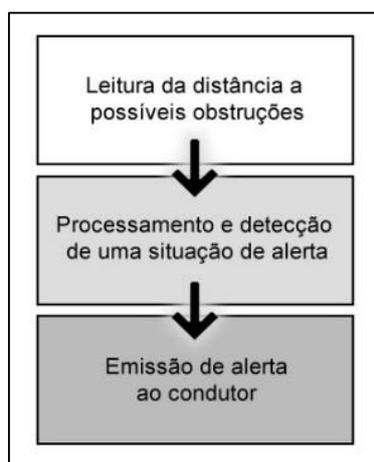


Figura 1 - Estrutura básica do sistema. Fonte: Autores.

A seguir, será melhor detalhado o funcionamento de cada domínio apresentado, bem como as suas respectivas subtarefas.

Leitura da distância às possíveis obstruções

Devido ao fato de a maquete ser fundamentada em um carrinho de controle remoto convencional, foram limitados os recursos de controle do veículo, o que tornou mais viável para o desenvolvimento de um novo sistema de controle. Para tal, foi desenvolvido um software responsável por capturar as teclas de direção (frente, atrás, direita, esquerda) e enviar ao sistema embarcado. O circuito, por sua vez, foi incumbido de receber os comandos e acionar o driver de motor que atua ligando, desligando e invertendo a sua rotação, conforme a informação enviada pelo software de controle.

Para o monitoramento da distância do veículo, ao qual o sistema está instalado, e uma potencial obstrução à sua frente, foi utilizado o sensor ultrassônico, cujo princípio de funcionamento é a emissão de ondas de ultrassom, refletidas no objeto, limitada a um alcance, e são recebidas novamente pelo sensor. O tempo de propagação das ondas, multiplicado pela velocidade do som, resulta exatamente na distância percorrida pela onda (ida e volta). Portanto, para obter a distância até o objeto, é necessário dividir esse valor por 2, conforme apresentado na fórmula 1.

$$Distância = \frac{Tempo\ de\ retorno\ dos\ pulsos * Velocidade\ do\ som}{2} \quad (1)$$

Processamento e detecção de uma situação de alerta

No projeto, uma situação de alerta pode ser caracterizada por uma circunstância em que a distância entre os veículos reduz de maneira constante por um determinado período, onde o veículo que está atrás mantém ou aumenta a sua velocidade, de forma que haja pouco tempo hábil para uma reação coerente do condutor que, por sua vez, poderá precisar de alguns décimos de segundo para retomar a sua atenção à direção do veículo.

Sendo assim, encontrou-se a necessidade de, além do monitoramento da distância, realizar também o monitoramento da velocidade. Para isso, foi criado um velocímetro para coletar essa informação da maquete. O seu funcionamento é dado através do uso do sensor *reed switch*. Para acioná-lo, um ímã foi fixado na parte interna da roda traseira do veículo (maquete) e a ação de seu campo magnético na chave faz com que seja fechado o contato, com o micro controlador realizando a contagem de voltas em um determinado período.

O cálculo da velocidade, propriamente dita, é realizado através da fórmula 2, onde “r” indica o raio da roda do carrinho (em milímetros), e “q” é a contagem de voltas realizadas pelo sensor *reed switch*, obtendo, assim, a velocidade em milímetros por segundo.

$$2 \times \pi \times r \times q \quad (2)$$

Emissão do alerta ao condutor

Para que este projeto seja colocado em produção, talvez esta possa ser considerada uma das funcionalidades mais importantes do sistema, pois cabe a ela enviar o alerta ao condutor de maneira eficaz. Qualquer atraso nesta etapa pode ameaçar a integridade de todo o sistema, que por sua vez trabalha de forma extremamente dinâmica na coleta e processamento das informações e, para garantir a sua estabilidade, exige uma forma de alerta rápida e confiável.

No projeto apresentado não está implementada a emissão do alerta propriamente dito, visto que o objetivo principal do projeto é o de demonstrar o funcionamento do estudo que foi realizado, utilizando, para isso, o protótipo em uma maquete onde são realizadas todas as simulações. Para simular o alerta no protótipo, foi aplicado o uso de um *buzzer*, que é acionado no momento em que o algoritmo detecta a necessidade de chamar atenção do condutor.

A título de pesquisa foi realizado um estudo sobre a implementação do alerta sobre uma *smartband*, por meio da tecnologia *Bluetooth*, e esta será mais detalhada no próximo tópico.

Emissão do Alerta através de uma Smartband

As *smartbands* são pulseiras com recursos inteligentes, como monitoramento de atividades diárias e conexão com o *smartphone*, onde é possível integrar notificações, mensagens e até mesmo receber chamadas por ela. O seu uso se popularizou entre as pessoas devido ao grande leque de recursos que o dispositivo oferece.

Com todos esses fatores, a sua utilização se fez uma das mais viáveis no projeto, já que se trata de um dispositivo em que o usuário já a utiliza e a sua única tarefa é a de conectar ao sistema do veículo via *Bluetooth*.

Conexão Bluetooth entre o sistema e a pulseira

O Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fio, inicialmente para a troca de dados e arquivos entre dispositivos de forma rápida e segura. O sistema utiliza uma frequência de rádio de 2.4 GHz para criar uma comunicação entre os aparelhos habilitados e, até as suas últimas versões, contava com algumas limitações como o curto alcance de comunicação, baixa velocidade e restrição à transferências de arquivos menores.

BLE (Bluetooth Low Energy)

O *Bluetooth LE*, como também é chamado, é uma versão do Bluetooth projetada para operações com energia muito baixa. Para permitir uma operação confiável na mesma faixa de frequência que as demais versões, ela utiliza uma abordagem robusta que transmite dados em mais de 40 canais (BLUETOOTH, 2018). O BLE é destinado a dispositivos que exijam baixa transferência de dados e operam por muito tempo utilizando bateria de baixa capacidade. Também oferece aos desenvolvedores uma grande flexibilidade, incluindo várias opções de configuração de comunicação além de diversas opções de segurança (KARYDIS, 2015).

O Bluetooth LE também suporta várias topologias de rede, como a conexão ponto-a-ponto usada para transferência de dados, e a conexão *broadcast* (entre diversos dispositivos) usada para serviços de localização ou até mesmo criar redes de dispositivos em grande escala.

Tabela 2 – Comparação entre os padrões Bluetooth

Especificação	Bluetooth clássico	BLE
Frequência	2.4 GHz	2.4 GHz
Máxima Taxa de Bits	De 1 a 3 Mbps	1 Mbps
Número de canais	79	40
Segurança	De 56 a 128 bits	128 bits AES
Distância Máxima	De 10 a 100 m	50 m
Tamanho máximo da rede	7 dispositivos	Ilimitado
Consumo de energia	Alto	Muito baixo

Fonte: Adaptado pelos autores deste trabalho, com base em PESSOA (2016).

Testes realizados com o Módulo BLE e a Smartband

Houve a tentativa de se aplicar a tecnologia BLE no projeto, estabelecendo a conexão entre uma *smartband* Mi Band 2, da fabricante Xiaomi, e um módulo BLE HM-10. Contudo, foi possível concluir que não é recomendada a aplicação do módulo

citado para esta finalidade, devido a limitações técnicas que serão melhor detalhadas a seguir.

GATT (Generic Attributes)

O GATT, são conjuntos de características e relacionamentos com serviços que encapsulam o comportamento de parte de um dispositivo (BLUETOOTH, 2018). Um perfil GATT descreve um caso de uso, papéis e comportamentos gerais baseados na funcionalidade do GATT, permitindo uma ampla inovação e mantendo a interoperabilidade total com outros dispositivos Bluetooth (BLUETOOTH, 2018).

No caso da *smartband* utilizada nos testes, é necessário enviar valores pré-determinados a uma característica específica, que é destinada à vibração da pulseira. Esta característica está pronta para receber e interpretar 4 valores possíveis, sendo 3 deles para diferentes tipos de notificações e o último para interromper o alerta.

Inviabilidade do módulo HM-10 no sistema

Conforme especificado no tópico anterior, para a utilização da *smartband* da Xiaomi, é necessário enviar a ela, via BLE, um dos valores pré-determinados à característica responsável pela vibração do dispositivo.

No entanto, foi constatado que o módulo HM-10 é limitado a enviar valores em uma conexão Bluetooth, ou seja, apesar de possibilitar uma conexão operando como dispositivo Master ou Slave, o componente não possui o recurso de enviar um valor a um dispositivo conectado remotamente.

Através dos testes realizados e das pesquisas que foram feitas, detectou-se que o módulo HM-10 é fortemente recomendado para sistemas embarcados, podendo ser aplicado para as transferências de dados, controlar um robô e enviar comandos a um microcontrolador usando a tecnologia Bluetooth LE. Contudo, mesmo com tantos recursos, demonstrou-se a impossibilidade de sua utilização no projeto, fazendo-se necessária em caso de uma implementação futura com a *smartband*, a busca por outra alternativa.

CONCLUSÃO

Uma vez que as estatísticas sempre apontam para a falta de atenção do condutor, como a principal causa de acidentes de trânsito, fica evidente que a melhor forma de reduzir o número destes acidentes é fazer com que o condutor mantenha a sua atenção na direção o maior tempo possível. Logo, conclui-se que ao identificar as reais situações de falta de atenção e enviando-se um alerta ao condutor, de modo que ele tenha tempo hábil para uma reação cabível ao momento, o projeto apresenta totais condições de ser eficaz ao que se propõe.

Em meio a tantas ações de órgãos públicos e de empresas privadas com o mesmo objetivo deste projeto, este pode ser mais um recurso a ajudar os motoristas, porém com uma metodologia diferente, onde a partir da análise da situação, ao invés do sistema executar a ação defensiva, este chama a atenção do condutor para que ele a faça da forma que considerar cabível.

O estudo apresentado limitou-se a apresentar os conceitos estudados a partir de uma maquete onde foram realizados os testes e feitas todas as prototipagens e simulações. A forma de alerta, inclusive, é um ponto que pode ser abordado em trabalhos futuros, sendo que neste projeto foi realizada apenas a sua simulação através de um *buzzer*.

Por fim, a conclusão é que este projeto vem com uma proposta muito forte diante do seu objetivo, com uma metodologia aplicada trazendo uma solução viável e de custo mais baixo do que as que estão atualmente no mercado e, com a realização de trabalhos futuros, onde possam ser aplicadas algumas melhorias, tais como a forma de alerta enviada ao condutor, pode se apresentar para uma sociedade como uma opção inteligente de mercado e com custo reduzido.

REFERÊNCIAS

FEITOSA, Zuleide Oliveira. *Uso de celular por motoristas em Brasília: Um estudo observacional. Laboratório de Psicologia Ambiental. Série: Textos de Alunos de Psicologia Ambiental*, n. 07, 2006.

REDELMEIER, Donald A.; TIBSHIRANI, Robert J. *Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. New England Journal of Medicine*, v. 336, n. 7, p. 453-458, 1997.

MCKNIGHT, A. James; MCKNIGHT, A. Scott. *The effect of cellular phone use upon driver attention. Accident Analysis & Prevention*, v. 25, n. 3, p. 259-265, 1993.

Internet

90% dos acidentes são causados por falhas humanas, alerta OBSERVATÓRIO. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/90-dos-acidentes-sao-causados-por-falhas-humanas-alerta-observatorio>> Acesso em: 24 de fevereiro 2018.

Distribuição dos acidentes por causa. Disponível em: <<https://www.atlasacidentesnotransporte.com.br/consulta>> Acesso em: 24 de fevereiro 2018.

Número de mortes por acidentes de trânsito cai 10%, diz Ministério da Saúde. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/numero-de-mortes-por-acidente-de-transito-cai-10-diz-ministerio-da-saude.ghtml>> Acesso em: 03 de março 2018.

THINK

Automação Inteligente

Luan Martins Mendes Rodrigues¹

Guilherme Giácomo Simões²

Raul Juliete Sant'Ana³

James Clauton da Silva⁴

RESUMO

Uma estratégia para o século XXI, certamente, é estabelecer um gerenciamento de rotina diária que otimize tempo e segurança. Sendo assim, o comportamento de um habitante em uma residência tem, na sua maioria, um padrão, como por exemplo: esquecer luzes acesas, o que resulta em um gasto de energia elétrica desnecessário, ou também em um lapso no fechamento de portas. O objetivo deste projeto é o de desenvolver uma casa com um sistema inteligente, na qual suas máquinas adaptem-se à rotina do usuário (*Machine Learning*), promovendo a máxima segurança e otimização de tempo. Utilizando-se de uma vasta revisão bibliográfica e bastante observação, além do uso da Internet das Coisas (*IOT*), *software* e *hardware* específicos, pode-se obter uma maquete totalmente automatizada, tomando suas próprias decisões com o uso de Inteligência Artificial.

Palavras-Chave: Inteligência artificial. Internet das Coisas. Automação residencial.

ABSTRACT

A strategy for the 21st century, of course, is to establish a routine daily management that optimizes time and security. Thus, the behavior of an inhabitant in a residence has, for the most part, a pattern, such as: forgetting lights on, which results in an unnecessary expenditure of electricity, or also a lapse in the closing of doors. The objective of this project is to develop a home with an intelligent system, in which your machines adapt to the user's routine (*Machine Learning*), promoting maximum security and time optimization. Using a vast bibliographic review and a lot of observation, in addition to the use of the Internet of Things (*IOT*), specific software and hardware, you can obtain a fully automated model, making your own decisions with the use of Artificial Intelligence.

Keywords: Artificial intelligence. Internet of things. Home Automation.

¹ Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

² Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

³ Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

⁴ Engenheiro da Computação; Mestre em Engenharia Elétrica; Doutorando UNESP - Ilha Solteira; Docente nos cursos de Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas, Tecnologia em Jogos Digitais e Engenharia da Computação, no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO Araçatuba. E-mail: professorjames@unisalesiano.com.br

INTRODUÇÃO

A internet das coisas é um termo que acaba enriquecendo a evolução da comunicação entre máquinas via internet, o desenvolvimento de diversos eletrodomésticos (geladeiras e lavadoras ligadas à internet), além de diversos sensores para captura de dados, alimentando e treinando máquinas (MAGRINI, 2018, p. 15).

A tecnologia se encontra em um momento de enorme avanço, com diversas criações para facilitar o seu dia a dia e gerenciar suas rotinas, como o dispositivo da empresa Amazon, fundada nos Estados Unidos, que disponibiliza uma assistente virtual chamada *Alexa*, onde pode-se realizar diversas tarefas com apenas um comando de voz, como fazer uma lista, ligar um dispositivo *smart*, chamar um carro das empresas de locação, entre outros diversos recursos.

Magrani (2018, p. 15) afirma que

O avanço de tecnologias, em especial as digitais, irá afetar profundamente todas as estruturas econômicas e sociais. Inteligência artificial, robótica avançada, *data Science*, *fintechs* e outras vertentes desse fenômeno vão deixando o status de promessas para se incorporar discretamente em nosso dia a dia.

A automação residencial se utiliza de tecnologias em ambientes do cotidiano que, através dos *smartphones* e aplicativos de *software*, opera ações sem a menor intervenção humana, tomando sua própria decisão com base no seu aprendizado por dados inseridos, economizando fatias significativas de tempo durante a aplicação das rotinas diárias.

Nesse sistema inteligente e que consiste em diversas etapas, sendo uma delas a principal parte para a finalidade do usuário, o aplicativo móvel efetua toda a entrada e alimentação de dados dos controles e comunicadores, levando informação até uma placa de expansão onde é possível fazer o acionamento de uma luz em determinado cômodo. Na próxima etapa, há troca de arquivos entre o receptor de dados vindo da casa, até o servidor onde se encontra uma codificação, utilizando recursos de regressão logística através do método de aprendizagem supervisionada do grupo de *machine learning*, ou seja, o aprendizado de máquinas.

Para comprovar o funcionamento e eficiência do sistema e da rede, será feita uma

automação residencial inteligente, utilizando inteligência artificial e IOT⁵. Com isso, espera-se apresentar uma melhor comunicação entre ambos os requisitos e qualidade em seus respectivos resultados, após os treinamentos. Cabe ressaltar que será construída uma maquete representando a funcionalidade e os recursos, no intuito de simulação da rotina diária de um sujeito.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Automação

Segundo Ribeiro (2001, p. 1), automação é definida como a mudança do trabalho humano ou animal por máquinas, sendo considerado uma operação de máquinas por meio de sistemas automáticos ou por controle remoto, com uma pequena interferência do ser humano para ser operada determinada ação e, por isso, se tornando o controle de processos automáticos.

A definição para automação é composta por duas variáveis, sendo o ambiente aplicado à experiência da pessoa envolvida.

Alguns exemplos de automação:

- para um empregado de uma empresa onde exige um depósito, pode ser um robô.
- para uma pessoa comum, pode ser a facilidade de depositar ou sacar dinheiro nos caixas eletrônicos.
- para uma loja de suco, pode ser uma máquina de espremer laranja.

Asseguram Muratori e Dal Bó (2011, p. 70), que a automação residencial é um grupo de serviços executados por sistemas tecnológicos integrados, visando atender e satisfazer algumas necessidades básicas para facilitar e assegurar os usuários, como segurança, gestão de energia, comunicação e o conforto em sua residência, de acordo com as especialidades anteriormente citadas.

Ainda sob o raciocínio de Muratori e Dal Bó (2011, p. 70), é mais comum e adequado utilizar o termo domótica⁶, aplicado na Europa por ser mais abrangente, porém

⁵ Sigla utilizada para Internet das Coisas.

⁶ Domótica é a automatização e o controle aplicados à residência. Esta automatização e controle se realizam mediante o uso de equipamentos que dispõem de capacidade para se comunicar interativamente entre eles e com capacidade de seguir as instruções de um programa previamente estabelecido pelo usuário da residência e com possibilidades de alterações conforme seus interesses. Em

no Brasil é mais comum o uso da tradução do termo *home automation*, referindo-se à automação residencial.

Portanto, a principal definição de uma instalação residencial é a união entre os sensores e comunicadores com o sistema aplicado, assim podendo obter troca de informações com o sistema instalado na residência, recebendo dados e executando as seguintes ações controladas pelo usuário remotamente. Ainda para Muratori e Dal Bó (2011, p 70), a inclusão de um sistema deve conter tecnologias residenciais, tais como:

- segurança: alarme, sensores de presenças, câmeras, monitoramento;
- elétrica: persianas, cortinas, iluminações, gestão de energia;
- comunicações: redes, telefonia, TV por assinatura;
- multimídia: som ambiente, áudio e vídeo, jogos eletrônicos;
- utilidades: controle do ar, irrigação, aspiração e controle de bombas para piscinas.

Uma automação residencial exige três itens essenciais, sendo eles o aplicativo, o micro controlador e algum módulo para o acionamento de tal ação, podendo ser uso de micro controladores como Arduino¹⁷ e Raspberry²⁸ para o envio da ação obtida através do aplicativo, e se faz necessário módulo rele para executar a ação solicitada pelo usuário. Em relação ao *software*, temos diversos aplicativos já prontos no mercado, portanto optamos para construir e utilizar um aplicativo de autoria própria visando o uso da plataforma *Android*. Em nosso projeto decidimos utilizar a microcomputador *Raspberry* com sistema *Linux*, o principal fator para a escolha foi seu pacote completo de *hardware* com um baixo custo.

Inteligência artificial

Inteligência artificial (bastante mencionada pela sigla IA em português e AI em inglês - *Artificial intelligence*). Do ponto de vista de Ribeiro (2010, p. 8), *a inteligência artificial é uma ciência multidisciplinar que busca desenvolver e aplicar técnicas computacionais que simulem o comportamento humano em atividades específicas*.

consequência, a domótica permite maior qualidade de vida, reduz o trabalho doméstico, aumenta o bem-estar e a segurança, racionaliza o consumo de energia e, além disso, sua evolução permite oferecer continuamente novas aplicações. (MURATORI; DAL BÓ, 2011, p. 70).

⁷ Arduino é um micro controlador utilizado somente para protótipos de eletrônica digital.

⁸ Raspberry é um microcomputador com diversos recursos para programação.

Russel e Norvig (1995, p. 31) definiram o campo como *estudo e projetos de agente inteligentes* onde agentes inteligentes é um sistema que compreende e analisa seu ambiente para tomar decisões que maximizam suas chances de sucessos.

Pontes (2011) esclarece que as pesquisas no campo da inteligência artificial podem elaborar algoritmos que permitem aos computadores armazenar grandes quantidades de conhecimentos sobre operações corporativas, onde esses sistemas são capazes de realizar as negociações, reconhecendo padrões de difícil percepção para o ser humano, além de fornecer capacidade adicional de aprender com sucessos e fracassos obtidos em cada operação finalizada.

Machine learning

O aprendizado máquinas ou aprendizagem de máquinas (em inglês, *machine learning*, ou a sigla ML) é um subcampo da inteligência artificial que permite que um sistema aprenda os dados e não através de programação, com o mínimo de intervenção humana (JUDITH HURWITZ; DANIEL KIRSCH, 2018, p. 5).

Segundo Batista (2003, p. 11),

Aprendizado de Máquina – AM – é uma subárea de pesquisa muito importante em inteligência Artificial – IA – pois a capacidade de aprender é essencial para um comportamento inteligente. AM estuda métodos computacionais para adquirir novos conhecimentos, novas habilidades e novos meios de organizar o conhecimento já existente.

Segundo Tom Mitchell um pesquisador sobre a área de inteligência artificial e da neurociência cognitiva criou um termo mais usual para explicar o que é o *machine learning* que diz.

Um programa de computador é dito para aprender com experiência E com relação a alguma classe de tarefa T e medida de desempenho P, se o seu desempenho de tarefas T medida pelo P, melhora com a experiência. (MITCHELL, 1997, p. 2).

Para melhor entender a definição, pode-se dizer que o aprendizado de máquinas só é possível quando o programa melhora seu desempenho e sua precisão, por meio do aumento da sua experiência. Por exemplo, um programa de computador desenvolvido para jogar damas, pode melhorar seu desempenho através de diversos jogos e diferentes

jogadas, significando que quanto mais partidas e jogadas a máquina participar mais dados ela armazena no seu banco de dados, assim aprendendo as jogadas para serem executadas em outras partidas (MITCHELL, 1997, p. 2).

Metodologia e resultados

O sistema inteligente tem como necessidade alguns requisitos para sua troca de dados e a alimentação da rede implementada. Basicamente o aplicativo envia para o *Raspberry* o devido comando realizado pelo usuário, fazendo assim a ação solicitada e imediatamente envia para o banco de dados presente no servidor, sendo assim alimentando e treinando a rede neural. Após um tempo de uso, a rede tomara decisões sozinha, assim prevendo ações que seriam feitas pelo usuário.

Aplicativo

O aplicativo foi construído na IDE *Android Studio*, na linguagem de programação *Kotlin*. O *layout* foi pensado em facilitar o uso do cliente, os botões de navegação ficam embaixo e no centro da tela, existe também um contêiner que abriga *fragments*⁹ e eles mudam de acordo com a opção que é escolhida abaixo.

Poder-se-ia ter utilizado algum *framework* multiplataforma como *Ionic*. Entretanto, ter uma *WebView* rodando um aplicativo no *smartphone* não é nem um pouco performático, então, optamos pelo desenvolvimento nativo da plataforma.

⁹ *Fragments*: representa o comportamento ou uma parte da interface do usuário.



Figura 1 - *Layout* principal. Fonte: Autores.

A figura 1 demonstra o *layout* inicial da aplicação, após realizar o *login*. Nesta tela está sendo exibida além do menu inferior de navegação, o *fragment* com os cômodos da casa.

Clicando nos cômodos da casa, pode-se abrir uma tela de visualização dos eletrodomésticos contidos, por exemplo, uma lâmpada ou um ar condicionado.

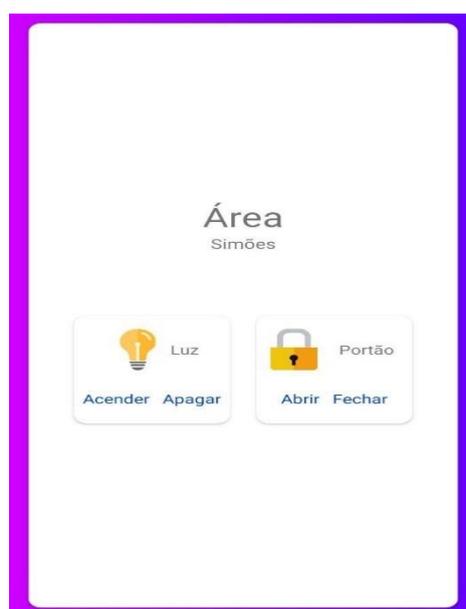


Figura 2 - Botões para controle de equipamentos. Fonte: Autores.

API

Começa-se, assim, a implementar um .py chamado ThinkAPIController.py que ficou responsável por receber os dados do cômodo, que sofreu uma ação, e mandar esses dados para um outro .py chamado ThinkAPIService.py.

No ThinkAPIController, existe um método chamado 'acende' e um método chamado 'apaga', ambos mapeados pela sua respectiva URL.

O cômodo aceso ou apagado é passado como parâmetro na própria URL. Dentro desses métodos, ele chama outros métodos, como por exemplo, acende_apaga (cômodo) que está presente dentro de ThinkAPIService.py.

```
21 def acende_apaga(comodo, acendeu):
22     minutos = hour_to_minute(datetime.now().hour, datetime.now().minute)
23     comodo_nmr = retorna_indice_comodo(comodo)
24
25     data = datetime.now()
26     dia_semana = data.weekday()
27
28     empilha_csv(comodo_nmr, dia_semana, minutos, acendeu)
```

```
1 from flask import Flask
2 from thinkAPIService import *
3
4 app = Flask(__name__)
5
6 #função chamada sempre quando alguma luz é acesa
7 @app.route('/acende/<comodo>')
8 def acende(comodo):
9     string = 'acendeu o comodo %s' %(comodo)
10    acende_apaga(comodo, 1)
11    return string
12
13 @app.route('/apaga/<comodo>')
14 def apaga(comodo):
15     string = 'apagou o comodo %s' %(comodo)
16     acende_apaga(comodo, 0)
17     return string
18
19 if __name__ == '__main__':
20     app.run(debug = False, host = '0.0.0.0')
```

Figura 3 – ThinkAPIService.py. Fonte: Autores.

Dentro do ThinkAPIService.py existe o método `acende_apaga`, que é responsável por receber o cômodo que foi acendido, obter a hora do sistema e chamar um método `hour_to_minute` (hora, minuto) para converter a hora para minutos, e chamar o método `retorna_índice` (cômodo) para obter o índice do cômodo, obtendo-se assim, a data do sistema e, por fim, chamar o método `empilha_csv` (cômodo_nmr, dia_semana, minutos, acendeu), passando todos os parâmetros obtidos no `acende_apaga`.

```
21 def acende_apaga(comodo, acendeu):
22     minutos = hour_to_minute(datetime.now().hour, datetime.now().minute)
23     comodo_nmr = retorna_indice_comodo(comodo)
24
25     data = datetime.now()
26     dia_semana = data.weekday()
27
28     empilha_csv(comodo_nmr, dia_semana, minutos, acendeu)
```

Figura 4 – Método `acende_apaga`. Fonte: Autores.

Por fim, o arquivo `learning_home.py` fica responsável por ler o `rotina.csv` e usar os dados que foram gerados pelo usuário para treinar a rede e poder classificar os dados.

O algoritmo presente na `learning_home.py` é uma regressão logística que utiliza a biblioteca *TensorFlow*. A regressão logística pega os dados gerados pelo usuário, que são atributos previsores, e a partir disso, atualiza seus pesos sinápticos para conseguir a melhor saída possível.

```
9 #lendo o arquivo csv com as rotinas
10 base = pd.read_csv('rotina.csv')
11
12 #a variavel x vai contar todas as colunas do csv com exceção da coluna 'resultado'
13 x = base.drop('resultado', axis = 1)
14
15 #a variavel y vai conter a coluna 'resultado'
16 y = base['resultado']
```

Figura 5 – `learning_home.py`. Fonte: Autores.

Conforme a figura 5, o código fará a leitura do `rotina.csv` e separando atributos previsores do resultado. Fazendo o treinamento da rede, atualizando os seus pesos sinápticos e obtendo o melhor resultado possível.

Como pode ser observado na figura 6, a função `train_test_split()` recebe como parâmetro as variáveis `x` e `y`. Ela transforma matrizes em subconjuntos de treino e teste. Isso significa que a partir da variável `x` (que armazena os atributos previsores) e a variável `y` (armazena os resultados reais) ele vai retornar `x_teste` e `x_train`, assim como `y_teste` e `y_train`.

Esses retornos, você usará para fazer o treinamento da rede e fazer previsões futuramente. O atributo `test_size` deve estar entre 0,0 e 1,0 e representa a proporção do conjunto de dados a ser incluído na divisão de teste. A função `inputs_pandas_input_fn` usa o `x_treinamento` e o `y_treinamento` para retornar uma função de treinamento. Essa função de treinamento, que nós chamamos de `funcao_treinamento` é usada na função `train`. Essa função `train`, faz efetivamente a atualização dos pesos sinápticos do neurônio e aprimora suas saídas.

```
#fazendo o treinamento
x_treinamento, x_teste, y_treinamento, y_teste =
train_test_split(x, y, test_size = 0.3)

funcao_treinamento = tf.estimator.inputs.pandas_input_fn(
x = x_treinamento, y = y_treinamento, batch_size = 32,
num_epochs = None, shuffle = True)

classificador = tf.estimator.LinearClassifier(feature_columns
= colunas)
#fazendo efetivamente o treinamento ...
#steps = 10000 significa que ele
#vai rodar um loop 10000 vezes treinando a rede
classificador.train(input_fn = funcao_treinamento, steps = 10000)
```

Figura 6 – Treinamento. Fonte: Autores.

Na figura 7 executa previsões. Usa-se a função `pandas_input_fn()` que retorna à função de entrada que alimenta o `DataFrame` no modelo. A função `classifier.predict` prevê as classes para a instância de dados. Depois, apenas realiza-se um *looping* (for - estrutura de repetição) no `classifier.predict` e armazena-se em um vetor chamado `previsoes_final` o 'class_ids' do `predict`, que retorna as previsões.

O que é feito nesse algoritmo, foi nada mais do que prever os resultados passando como atributos previsores os mesmos dados, que foram passados para treinar a rede.

Assim, possibilitou-se fazer a comparação dos dados que foram previstos com os dados reais.

```
28 #fazendo previsoes
29 funcao_previsao = tf.estimator.inputs.pandas_input_fn(x = x, batch_size = 32, shuffle = False)
30 previsoes = classificador.predict(x)
31
32 previsoes_final = []
33 for p in classificador.predict(input_fn = funcao_previsao):
34     previsoes_final.append(p['class_ids'])
35
36 print(previsoes_final)
```

Figura 7 – Realizando previsões. Fonte: Autores.

RESULTADOS

Como forma de teste, foi alimentado a regressão logística com 20 mil dados aleatórios, contendo cômodos acendidos anteriormente, horas, dia da semana, próximo cômodo a ser acendido e o resultado (1 ou 0, dependendo se devia ou não acender o cômodo). A ideia era fazer com que a IA pudesse, a partir do treinamento, sugerir qual cômodo pudesse ser aceso ou apagado, baseado nos atributos previsores que foram passados. Depois, usando esses mesmos 20 mil dados aleatórios, sem os resultados (ou seja, sem a coluna que dizia se o cômodo em questão devia ou não ser aceso), usou-se as bibliotecas do *TensorFlow* para prever saídas de acordo com os atributos previsores, ou seja, ele previa se um determinado cômodo deveria acender (1) ou apagar (0). A ideia era comparar os dados obtidos pela IA com os resultados reais. Novamente usando as bibliotecas do *TensorFlow*, obteve-se a taxa de acerto dos valores previstos pela rede com os valores reais. A taxa de acerto foi de 100%.

Porém, quando foram passados os dados reais (sem ser gerados aleatoriamente), e em menor número, verificou-se a taxa de acerto, obtendo-se o percentual de 83% de acerto, considerado um resultado satisfatório.

CONCLUSÃO

As ferramentas utilizadas foram escolhidas mediante pesquisas elaboradas. A princípio, a principal ideia era construir uma rede neural. Após o amadurecimento do projeto, ele foi considerado inviável, logo, então, após longas pesquisas, foi decidido pela

utilização da biblioteca chamada *TensorFlow*. A linguagem escolhida para a programação da API foi o Python, sendo a linguagem utilizada para executar o aprendizado de máquinas (*machine learning*).

A biblioteca *Flask* foi necessária para fazer a *API Rest*, sendo ela uma biblioteca de simples utilização, essencial para projetos de pequenos e médios portes, assim atendendo os requisitos e também utilizando a linguagem Python. A *API Rest* tem uma enorme importância para se fazer a comunicação entre o *Raspberry* e o servidor. Portanto, o *Raspberry* tem a função de realizar os comandos recebidos através do aplicativo, alimentando a placa de expansão com a devida ação e também alimentando o servidor para o treinamento da rede. Sendo assim, o servidor fica responsável por receber todos os dados e executar o treinamento da rede e reenviar com os dados obtido através de uma rotina. O aplicativo é responsável por se comunicar com o cliente, tendo a necessidade de ser bonito e simples.

O sistema apresenta resultados que otimizam a rotina do cliente, que, como retorno, tem toda a parte de segurança e economia de energia elétrica e tempo.

REFERÊNCIAS

MAGRANI, Eduardo. A internet das coisas — Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018. Disponível em:

<<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/23898/A%20internet%20das%20coisas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 out. 2019.

RIBEIRO, Marco Antônio. Fundamentos da Automação Capítulo I - Automação. 1ª Edição; Tek Treinamento & Consultoria Ltda. Salvador, Verão 2003. Disponível em: <<https://paulocrgomes.com.br/en/wp-content/uploads/2017/08/Automacao-Industrial-Livro.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2019.

MURATORI, José Roberto; DAL BÓ, Paulo Henrique. Capítulo I - Automação residencial: histórico, definições e conceitos. 2011. Disponível em: <http://www.instalacoeseltricas.com/download/Automacao_residencial1.pdf/>. Acesso em: 19 out. 2019.

BATISTA, G.E.A.P.A, Pré-processamento de dados em aprendizado de máquina Supervisionado. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo, São Carlos.

MITCHELL, T.M.: Machine Learning. 1ª Ed. McGraw-Hill, 1997. ISBN:0070428077

HURWITZ E KIRSCH.: Machine Learning For Dummies. John Wiley & Sons, Inc, 2018.

RIBEIRO, R. Uma Introdução à Inteligência Computacional: Fundamentos, Ferramentas e Aplicações. Rio de Janeiro: IST-Rio, 2010.

Russell, Stuart J. (Stuart; John, Canny. Artificial intelligence: a modern approach Second edition ed. Upper Saddle River, N.J.: [s.n.] pp. Capítulo 2. ISBN 0137903952. OCLC 51325314

PONTES, R. Inteligência Artificial nos Investimentos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

Contraste nas transmissões de dados *indoor* entre cabo metálico de par trançado e Power Line Communication

Contrast in indoor data transmissions between twisted-pair metal cable and Power Line Communication

Walter Braga Gois¹
Alexandre Marcelino da Silva²
José Vital Ferraz Leão³

RESUMO

Este artigo tem como objetivo fazer uma análise e levantamento da viabilidade da utilização da Power Line Communication em redes locais, colocado em contraposição com o cabo metálico de par trançado Unshielded Twisted Pair (UTP). Restabelecendo as duas tecnologias no contexto de cabeamento indoor, ao longo deste trabalho é feita uma introdução do PLC e o cabo metálico de par trançado UTP, apontando topologias, princípios de funcionamento e principais aplicações. A pesquisa objetiva a análise da tecnologia PLC, estudando sua viabilidade em redes indoor, onde não se pode, devidamente, utilizar o cabeamento metálico de par trançado UTP, como, por exemplo, em solicitação de permissões não cabíveis aos moradores de aluguel e entre outros do mesmo tipo. Como método de abordagem, utilizou-se um laboratório para que fosse efetuado os testes na rede elétrica destinadas, apenas, com o PLC e outros testes com o PLC e o cabo UTP, calculando as diferenças através de testes de Protocolo ICMP, RDP, HTTP, HTTP de página completa e de taxa de transferência. A tecnologia PLC mostra-se conveniente de acordo com o estudo, mostrando a sua viabilidade em comparação ao cabo UTP em redes locais.

Palavras-chave: Power Line Communication, Cabo UTP, PLC Indoor, Modulação.

ABSTRACT

This article aims to analyze and survey the feasibility of using the Power Line Communication in local networks, placed in opposition to the Unshielded Twisted Pair (UTP) metallic twisted pair cable. Restoring the two technologies in the context of indoor cabling, this work introduces the PLC and the UTP twisted pair metal cable, pointing out topologies, operating principles and main applications. The research aims to analyze the PLC technology, studying its feasibility in indoor networks, where it is not possible, properly, to use UTP twisted pair metallic cabling, as, for example, in requesting permissions not applicable to renters and among others of the same type. As a method of approach, a laboratory was used to carry out the tests on the electrical network destined, only, with the PLC and other tests with the PLC and the UTP cable, calculating the differences through tests of Protocol ICMP, RDP, HTTP, Full page HTTP and throughput. PLC technology is convenient according to the study, showing its viability compared to UTP cable in local area networks.

¹ Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia da Computação - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - E-mail: wbraga0.2@gmail.com

² Graduado em Ciências da Computação pela Universidade de Marília; Mestre em educação pela Universidade Estadual Paulista, Orientador e Docente - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - alexandre@salesiano-ata.br

³ Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário de Lins - UNILINS, Mestre em Instrumentação Eletrônica pela UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira; Doutorando em Qualidade de Energia pela UNESP - Faculdade de Engenharia de Bauru, Coordenador UniLins, Docente e Coorientador - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. E-mail: jose.vital.leao@gmail.com

Keywords: Power Line Communication, UTP Cable, Indoor PLC, Modulation.

INTRODUÇÃO

Power Line Communication surgiu por volta do ano de 1920, visando fazer o transporte de dados por rede elétrica. Após quase 7 décadas esquecido, em meados dos anos 90, as pesquisas com o mesmo objetivo se tornaram destaque, pois se tratavam das transmissões do mesmo tipo, em alta velocidade. Chamou a atenção de diversas empresas, institutos de pesquisas e do próprio governo federal, que tenta implantar este sistema em todo território nacional com o seu Plano Nacional de Banda Larga (GOMES, 2012), assim como em 2014, quando foram divulgadas mais de 90 ações inclusas em outros países, abordando o tema PLC em suas análises e pesquisas.

- Tornou-se capacitada para implantação em amplitude comercial e residencial;
- Capacidade de trabalhar com média e baixa tensão;
- PLC, por mais novo que seja, consegue entrar na competição em comparação com outras tecnologias;
- As ações que o PLC exerce em cima da infraestrutura pré-instalada da rede elétrica, não tem efeito colateral a rede e nem a demanda elétrica solicitada.

Sobre referência de implantação da tecnologia em âmbito não comercial/residencial, obtiveram-se opiniões positivas, pois ele trabalha na camada 2 do modelo ISO/OSI (Camada de Enlace) e, assim, pode ser fundida na camada 3 (TCP/IP). Utilizando as duas camadas tem-se o acesso à internet, devido a camada 2, seguindo os apontamentos feitos e apresentados com um problema para a dissertação deste trabalho, como os contrastes do PLC, entre as tecnologias de comunicação e o cabo UTP.

Afunilando esse objetivo, tem-se a avaliação de viabilidade do uso do PLC, onde é adaptativo a inserção de um cabo UTP, com análises de estruturação, perda de qualidade de serviço, RDP, testes de Protocolo ICMP, teste de bancada, integrações em HTTP, HTTP página completa e teste de velocidade.

O presente trabalho, através do PLC, traz como objetivo aprovar, assim como apresentar mais um artigo referente à esta tecnologia, para servir de auxílio para os futuros pesquisadores, também trazendo uma outra tecnologia, de extrema necessidade.

Power Line Communication

O PLC é um sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de comunicação. Quando os cabos elétricos são usados como meio de transmissão, a instalação elétrica domiciliar comporta-se como uma rede de dados, onde cada tomada elétrica é um ponto de conexão à rede. Inúmeras aplicações podem ser utilizadas com a tecnologia PLC: telefonia, automação de dispositivos residenciais ou industriais e telemedição de água, gás e energia elétrica. O mercado que está se destacando, hoje, com a tecnologia PLC, permite acesso à internet de banda larga.

Mesmo sendo uma tecnologia há muito tempo estudada, ganha-se destaque para resolver o problema chamado de “A última milha”, que trata de meios utilizados para se conseguir prover o acesso à internet em regiões caracterizadas de difícil acesso, que não conseguem conexão com outras redes (SANTOS, 2015).

Funcionamento da Tecnologia

Segundo Rosa (2012), o funcionamento da tecnologia está embasada na sobreposição de um sinal de alta frequência em MHz, em cima das mesmas frequências que a rede elétrica dispõe. O sinal é transmitido pelos fios das redes de tensão e diversos fatores dificultam a transmissão de dados destes sinais sobre a rede, em cima das de corrente alternada.

Segundo Rosa (2012), pode-se destacar: a irradiação contínua das frequências lineares em linhas abertas, sem proteção às ondas influenciadoras geradas por outros sistemas ou subsistemas, que atuam nas mesmas linhas de frequência de transmissão. Existem diferentes características utilizadas nas redes elétricas, por exemplo, nas de linhas abertas e não nas lineares, e na existência de outras etimologias ao longo da linha de energia, como, por exemplo, os transformadores.

Um dos modos determinísticos com o objetivo de reduzir essas restrições e também permitir o funcionamento correto, é feito com a utilização de categorias de modulações e multiplexações. Geralmente, nos equipamentos PLC são empregadas para Multiplexação a *Frequency Division Multiplex* (FDM) e Modulação a *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) (SANTOS, 2015).

Objetivando diminuir os efeitos das frequências geradas por desquites de impedância ao longo da linha, atenuação e ruído existentes da rede, o tempo é partido de, modo que um determinado símbolo transmitido em cada subsequência se faça maior que

o espalhamento de multipercurso do canal PLC (CAVALCANTE, 2010).

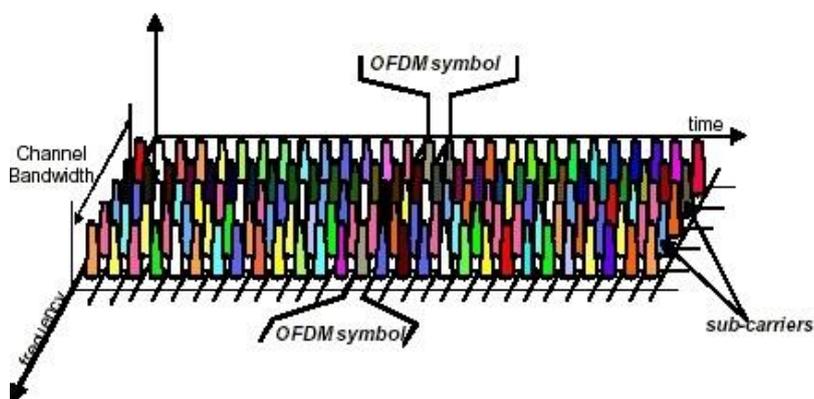


Figura 1 – Separação das ondas portadoras na frequência e no tempo. Fonte: MALBURG, 2004.

Aplicações

Para Rosa (2012), ao empregar as redes com o PLC, depende-se das aplicações feitas no local. Para esta possibilidade, deve-se efetuar uma avaliação, levando, assim, em consideração, condições tais como primordialidades e características do próprio local adotado. Classificando, então, a tecnologia de aplicação em três grupos:

- PLC *Indoor*.
- Última Milha.
- Acesso WAN.

PLC *Indoor*

Concisamente, o modelo vai direto do medidor de energia residencial, alcançando as tomadas residenciais. Tendo em vista que um grande número de modems e equipamentos podem estar plugados às tomadas da residência, pode-se formar uma rede de amplo espectro, modelo constituído pela rede de distribuição elétrica de baixa tensão e pelos modems utilizados na rede para a comunicação dos aparelhos. A figura a seguir, mostra um modelo de aplicação da tecnologia *Indoor* para favorecer uma minúscula rede LAN.



Figura 2 – Esquema de ligação PLC *Indoor*. Fonte: PIROPO, 2010.

Cabo de Par Trançado UTP

Cabo metálico de Par Trançado é um tipo de cabo utilizado na área de redes de cabeamento estruturado, que conta com um ou mais pares de fios trançados entre si, esperando anular as interferências mútuas entre os pares vizinhos, sendo o mais utilizado em redes, tanto industriais quanto residenciais. Neste trabalho, refere-se ao de Categoria 6, suportando uma taxa de transmissão de 10 Gbps, e uma distância de até cerca de 100 metros.

Funcionamento da Tecnologia

Segundo Libório (2015), o par de fios torcidos existentes dentro de um Cabo metálico de Par Trançado UTP, Categoria 6, cria uma espiral virtual, com capacitância e indutância, o suficiente para expelir tipos de ruídos externos, por meio das múltiplas espirais. Resumindo o campo magnético formado pela espiral X, deve-se ser o inverso da espiral Y. Sendo assim, se em algum momento o cabo sobrelevar uma interferência, a mesma será anulada quando acontecer a inversão dos polos das espirais, para assim poder potencializar ainda mais a blindagem eletromagnética oferecida pelo cabo. As placas de redes convencionais utilizam um sistema de proteção e transmissão chamados de balanced pair, que consiste em, dada a função, cada par trançado dentro do cabo UTP, envia o mesmo sinal, entretanto, com polaridade invertida. Sendo assim, desejando um bit “1”, é enviado um pulso elétrico com sinal positivo e o outro envia um sinal elétrico negativo (MORIMOTO, 2013).

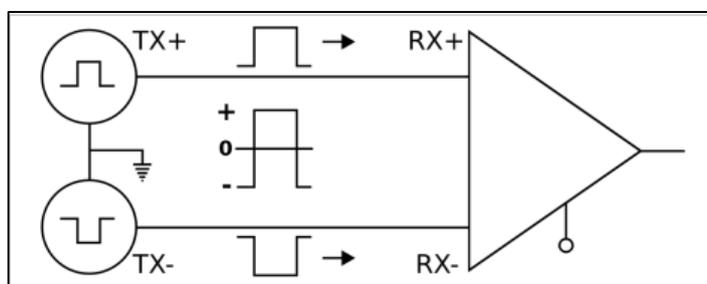


Figura 3 – Balanced Pair. Fonte: MORIMOTO, 2013.

Cabo metálico de Par Trançado categoria 6

A categoria 6 de cabos de Par Trançado UTP, originalmente desenvolvida, deve ser

utilizada atendendo aos padrões Gigabit Ethernet. No entanto, com as (micro) evoluções das demais categorias de cabos, sua adoção foi deferida, pois, apesar de os cabos de categorias superiores ofereçam mais segurança, durabilidade e qualidade superior aos demais baixa, o seu alcance continua sendo de até 100 metros, então, apesar de sua qualidade superior aos outros, é sempre desejável a aquisição dos cabos CAT 6, não sendo compensável o ganho, pois neste caso o alcance é de apenas 55 metros.



Figura 4 – Cabo metálico de par trançado UTP CATEGORIA 6. Fonte: MORIMOTO, 2013.

Modulação

Técnicas de modulação onde as características do portador são modificadas, com a finalidade de transmitir as informações e sendo feitas as alterações, assim, são combinadas com a modulação em frequência, modulação em amplitude ou modulação em frase.

Sequência Direta de Espalhamento do Espectro - DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)

A modulação por espectro de propagação é usada em meio de aplicações militares. Percorre-se com 'densidade' espectral da potência extremamente baixa, dissipando a potência do sinal sobre alguma faixa de frequência pouco mais larga. Consequentemente, é requerida uma largura de faixa grande, com o intuito de passar muitos MB/s.

Em um espalhamento espectral, obtém-se:

- Imunidade a ruídos e interferências;
- Imunidade a distorções devido a multipercursos;
- Imunidade a interferência e de desvanecimento de banda estreita;
- Diversos usuários podem compartilhar a mesma banda de frequência, com baixa interferência;
- Podem ser usados para a criptografia dos sinais.

OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplex*

A multiplexação OFDM (por divisão de frequência ortogonal), baseia-se em um

vasto número de portadoras estreitas distribuídas. Com esta modificação, tem-se, como exemplo, as características de variação de canal, sendo as portadoras interferidas eliminadas, conseqüentemente obtém-se a diminuição na taxa de transmissão.

Modulação GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*)

A modulação por *Gaussian Minimum Shift Keying* é o mesmo método utilizado pelas tecnologias de telefones móveis, a GSM (*Global System For Mobile Communication*). No entanto, o GMSK é especial quando trata de técnicas de modulação de faixa estreita, que após transmitir dados na fase portadora, tem-se constantemente os mesmos resultados. Sendo assim, não há complexidade nos amplificadores, entrando em comparação com as outras tecnologias de faixa estreita, não reproduzido nenhum distúrbio harmônico enquanto observada a frequência.

Vantagens e Desvantagens.

O tipo de conexão com cabo UTP possibilita a conexão de vários computadores com hubs, switches, roteadores, entre outros. É uma parte importante da arquitetura por sua simplicidade na instalação, seguro, com velocidades que hoje em dia podem alcançar até 100 GB/s, podendo ser instalados sem requisitos demasiados e de baixo custo. Por isso, muitas das vezes, durante a criação de redes residenciais, profissionais optam pelo uso do padrão ethernet.

A instalação de uma rede ethernet pode ser muito econômica de início, podendo gerar manutenções. Geralmente, quando é solicitada a organização na instalação de cabos, profissionais da área procuram se adequar ao ambiente onde os cabos ficam fora de visão do usuário final, no entanto, ao contratar para fazer a manutenção da rede, por qualquer que seja o motivo, além de ser dificultosa a localização do problema, a manutenção acaba ficando cara.

Na tecnologia PLC, entre todas as categorias de infraestruturas físicas, já criada, pode-se dizer que é uma das mais destemidas, tendo como objetivo fazer a conexão de vários dispositivos e utilizando a infraestrutura básica da rede elétrica para ser o meio de transmissão de dados que possibilita a conexão, por qualquer ponto que uma residência ou empresa, com apenas o requerimento de ter uma tomada ou ponto de energia no local, validando o uso de extensões benjamins.

Com uma velocidade máxima de 30mbps, hoje em dia podendo chegar até os

300mbs, torna-se um rival para os outros tipos de infraestrutura. Na tecnologia é utilizada nas frequências de 1 a 30mhz, sabendo que a energia elétrica trabalha nas faixas de 50 a 60mhz, podendo ter a variação determinante do país em que se encontra a instalação. Com isso, a interferência elétrica é reduzida e junto com a possibilidade de queima de aparelhos referente ao uso da tecnologia. A instalação é de fácil acesso, colocando o dispositivo *powerline adapter* em uma tomada e, em seguida, conectando o mesmo ao modem de internet da residência, a qual deseja fazer a instalação.

Como consequência, todas as tomadas da residência a qual foi feita a instalação estará com acesso à internet, podendo obtê-la utilizando outro adaptador *powerline*, sendo desnecessária uma nova aquisição de cabos, pois utiliza-se, como já mencionado, todo o cabeamento básico já instalado da rede elétrica. A tecnologia compartilha paralelamente as conexões, caso não haja uma divisão bem esclarecida entre residências. De certa forma, será trada como uma insegurança e, como consequência, a velocidade cai drasticamente devido ao uso dos pontos.

Metodologia

Visando a análise da viabilidade do uso da tecnologia *Power Line Communication*, em comparativo com o cabo UTP, foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos. A pesquisa caracteriza-se como explicativa, logo, preocupa-se em discernir os aspectos que apontam ou que bancam para o acaso das ocorrências. De acordo com Gil (2010), este modo de consulta forma a explicação das coisas por meio dos resultados apresentados. A forma de tratamento do impasse ao estudo é quantitativa. De acordo com Diehl (2004), o estudo quantificado, tal como no tratamento das informações obtidas quanto na coleta dos mesmos, utiliza-se de técnicas estatísticas, tendo como objetivo que os resultados se abstenham de possíveis distorções de pesquisa e perspectiva, oferecendo uma maior margem de segurança.

A pesquisa é classificada como exploratória, sendo a realização do estudo exploratório, o que permitiu reunir elementos capazes de subsidiar o tema escolhido. O estudo exploratório tem parte em um estudo científico, que resulta, de acordo com Andrade (2005), a facilitação da delimitação do tema escolhido, na definição de hipóteses, formulação de objetivos, ou mostrar a perspectiva do trabalho. Do ponto de vista dos atos científicos a pesquisa é experimental laboratorial, pois procura estudar e discernir, durante experimentações conduzidas em bancada de laboratório, conforme determinadas

ocorrências afluem.

Medições para PLC

Medições feitas com a tecnologia PLC e UTP, para serem apresentadas em conjunto, mostram a sua eficiência como um comparativo.

Protocolo ICMP

Utilizando o protocolo ICMP, que basicamente monitora a conectividade entre equipamentos, funcionando com o envio de pacotes para um certo destino e o mesmo ouvindo a transmissão e respondendo-o, estas mesmas respostas são recebidas em milissegundos e, ao receber o resultado, a análise feita consiste em quem tem o menor resultado obtido. Então, entende-se qual é a melhor rede. Como pode ser observado no gráfico abaixo, o comparativo referente às tecnologias traz, em questão, o protocolo ICMP, no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal e tempo de resposta no eixo vertical.

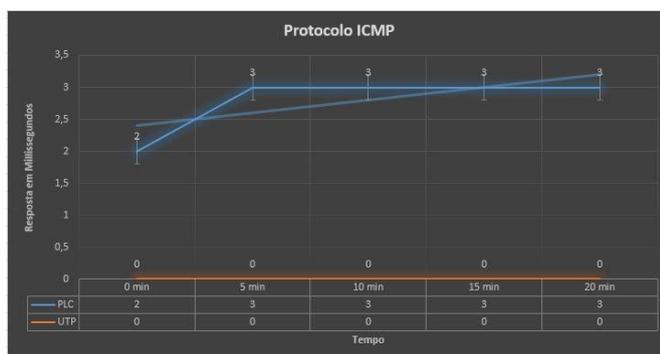


Figura 5 – Resultado do Protocolo ICMP. Fonte: Autores.

Os dados foram adquiridos em um tempo de 20 minutos nas datas 08/09, 14/09/, 15/09. Assim, tiveram, em média, um período de 20 minutos.

RDP

O *Remote Desktop Protocol* (RDP) é um protocolo da *Microsoft* desenvolvido para facilitar a segurança e a criptografia de transferência de dados de aplicativos entre usuários clientes, dispositivos e um servidor de rede virtual. Ele permite que um usuário remoto adicione uma interface gráfica à área de trabalho de outro computador. O RDP é compatível com várias categorias de protocolos e topologias de rede local (LAN).

O tempo de resposta do parâmetro é em milissegundos, sendo que quanto menor o tempo de resposta, melhor a velocidade e confiabilidade do protocolo (RDP). Como pode ser observado abaixo no gráfico comparativo, referente às tecnologias, traz-se em questão o protocolo (RDP), no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal e tempo de resposta no eixo vertical.

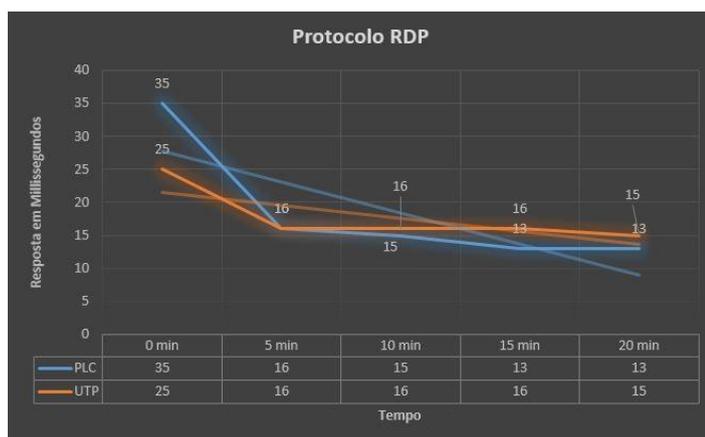


Figura 6 – Resultado do Protocolo RDP. Fonte: Autores.

Os dados foram adquiridos em um tempo de 20 minutos nas datas 08/09, 14/09/, 15/09. Assim, tiveram em média um período de 20 minutos.

HTTP de Página Completa

Este parâmetro funciona como um complemento do teste de HTTP, sendo interessante apresentá-lo primeiro, pois é desta forma que uma navegação dos usuários ocorre. Ou seja, a contagem do tempo é dada em função do tempo de carregamento completo de uma página web, incluindo imagens, vídeos, entre outros. O tempo de resposta do parâmetro também é em milissegundos.

Como pode ser observado, abaixo, no gráfico comparativo referente às tecnologias, traz-se em questão o protocolo (HTTP de Página Completa), no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal e tempo de resposta no eixo vertical. Foi selecionado especificamente para o andamento do teste o site do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium (<https://unisalesiano.com.br/>).

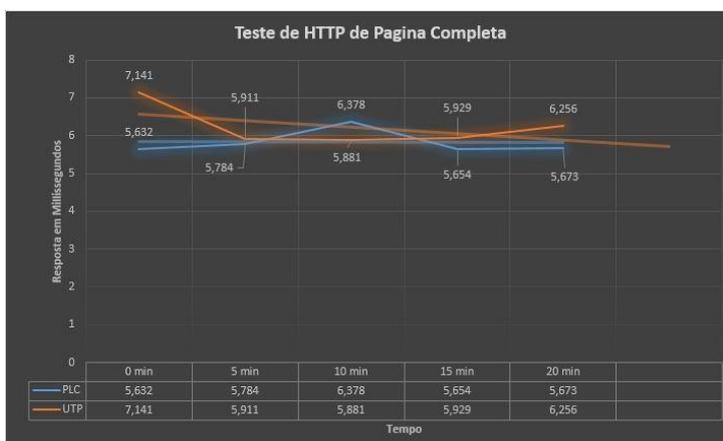


Figura 7 – Resultado do teste de HTTP de Página Completa. Fonte: Autores.

Os dados foram adquiridos em um tempo de 20 minutos nas datas 08/09, 14/09/, 15/09. Assim tendo em média um período de 20 minutos.

HTTP

Monitora um servidor WEB Utilizando o Protocolo de Transferência de Hipertexto – HTTP. O protocolo HTTP utiliza o modelo cliente – servidor, como a maioria dos protocolos de rede, baseando-se no formato de requisição e resposta, sendo que nesse parâmetro a resposta também é obtida em milissegundos (TANEMBAUM, 2003).

Como pode ser observado abaixo, no gráfico comparativo referente as tecnologias, traz-se em questão o protocolo (RDP), no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal e tempo de resposta no eixo vertical.

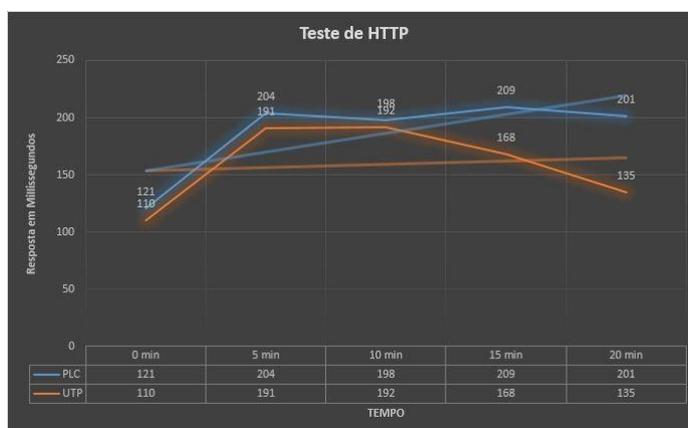


Figura 8 – Resultado do teste de HTTP. Fonte: Autores.

Os dados foram adquiridos em um tempo de 20 minutos nas datas 08/09, 14/09/,

15/09. Assim tendo em média um período de 20 minutos.

Teste de velocidade

Para o presente trabalho, foi estabelecido um limite de banda 3MBps, para que não fosse possível oscilações e obter-se precisão para com o teste. O objetivo foi detectar com precisão a velocidade de transferência de dados, informando se a banda estabelecida esta de acordo com a velocidade contratada.

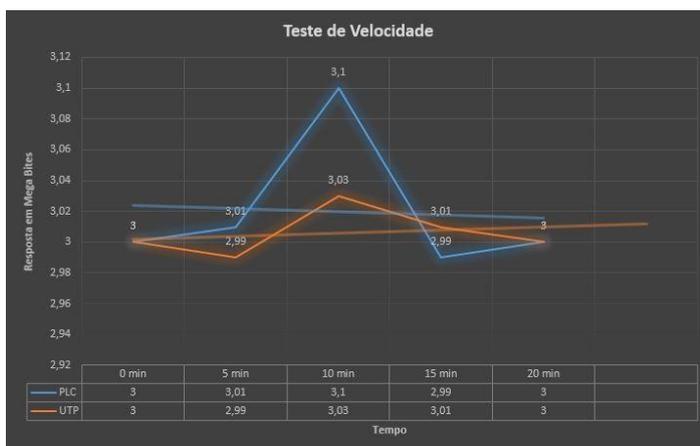


Figura 9 – Resultado da Medição de Velocidade. Fonte: Autores.

O teste foi realizado 3 vezes nos dias 08/09. Como estava configurado por limite de banda, não houve necessidade de mais testes com o mesmo fim.

CONCLUSÃO

Quando se pensa em transmissão de dados via rede elétrica, pensa-se em algo além do que a tecnologia atual pode proporcionar. Porém, foi possível observar no transcorrer do trabalho, que, contudo, ela está presente no cotidiano das pessoas. Porém, pouco utilizado, se comparado com outras tecnologias e que tem o mesmo objetivo, até mesmo por questões físicas ou estruturais, devido a algumas redes elétricas precárias.

Está-se tratando de uma tecnologia não regulamentada e, referente a estudos, trata-se de uma defasagem de conhecimentos técnicos e científicos, mesmo com alguns estudos com o contexto (transmissão) de dados via rede elétrica. Está defasado o conhecimento técnico e especializado para a implementação. Entretanto, pode-se deixar claro que, apesar de todos os obstáculos no caminho da transmissão de dados por eletricidade, é possível observar, no transcorrer do trabalho, que a tecnologia se mostra

cada vez mais capaz e futuramente ganhará mais seguidores, fazendo com que ela se torne um dos mais novos meios de transmissão de dados regulamentados.

Por meio do desenvolvimento deste estudo, a verificação dos resultados, assim obtidos através de testes de bancada, utilizando equipamentos de qualidade, possibilitou a conclusão da validação do uso da tecnologia *Power Line Communication*, mostrando-se realmente viável para ambientes internos, quando é feito um comparativo com o cabo UTP. É venerável o quanto a tecnologia se manteve estável, mesmo durante as aplicações de cargas na rede elétrica. Com referência aos testes de comparação, algumas das vezes mostrou-se até mesmo superior ao cabo UTP. Em um contraste geral, mostrou-se efetivo, e, confiável para aplicação e utilização em redes domésticas, tendo êxito no propósito do trabalho.

Em frente às conquistas, a tecnologia gera mais benefícios que se pode ter em influência para a inserção em redes locais, como, por exemplo, lidar com o sistema físico já presente no ambiente, uma vez que se opera da rede de energia elétrica para o transporte dos dados. Todavia, isso deve ser um dos pontos a serem ponderados no tempo do implante da tecnologia. Portanto, uma vez que se assuma uma rede elétrica de qualidade inferior, o serviço de PLC, igualmente, terá uma qualidade inferior.

O crescimento e desenvolvimento dessa tecnologia é constante, assim como já referido anteriormente. Empresas têm buscado otimizar uma tecnologia cada vez maior e expandi-la para a distribuição de dados. Ou seja, a transmissão de dados vem sendo o ponto principal de discussão das concessionárias de energia, que podem ampliar a sua ajuda na inclusão social.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida. Introdução à Metodologia do Trabalho Científico: elaboração de Trabalhos na Graduação. 7a ed. São Paulo: Atlas S. A. 2005.

CAVALCANTE, André Nascimento; MENESES, Lair Aguiar de. Transmissão de dados via rede elétrica. Engenharia de Telecomunicações, Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM, 2008.

DIEHL, Astor Antonio. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

GIL, Carlos Antonio. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LIBÓRIO, Raul. Infra-estrutura de redes locais de computadores: Cabos Coaxiais e UTP. 2015

MORIMOTO, Carlos E. Redes, guia prático. 2. ed. São Paulo: Gdh Press e Sul Editores, 2013.

ROSA, Magali da. Monitoramento de temperatura do motor do aerogerador de pequeno porte utilizando power line communication - PLC. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Porto Alegre, 2012.

SANTOS, Túlio Ligneul. Power Line Communications. 2015

TANENBAUM, Andrew S; SOUZA, Vandenberg D. Redes de Computadores. 4^a. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005. 945 p.

S.A.C.P.C.A

(Sistema de Automação e Controle de Processos para Cerveja Artesanal)

Automation and Process Control System for Craft Beer

João Miguel Marinho Fornazieri¹

Alexandre Marcelino da Silva²

RESUMO

Beber uma cerveja artesanal está se tornando uma prática muito comum no Brasil. O desenvolvimento da presente pesquisa está centrado na automação e controle dos processos da sua produção, a fim de se obter uma regularidade e um padrão nas brassagens realizadas. Assim, este controle pode ser feito através de uma automação das rampas de fervura durante todo o processo de produção artesanal da cerveja. A partir desta pesquisa experimental, foi desenvolvido um protótipo capaz de simplificar o processo da produção da cerveja, mantendo-a com características de produção artesanal e não fabril. O resultado desse processo artesanal foi a simplificação e, após várias brassagens, pode-se constatar uma certa regularidade nas levas das cervejas feitas utilizando-se o protótipo.

Palavras-Chave: Cerveja Artesanal, Brasagem, Fermentação, Automação de Processos.

ABSTRACT

Drinking a craft beer is becoming a very common practice in Brazil. The development of this research is centered on the automation and control of the processes of its production, in order to obtain a regularity and a standard in the brewings carried out. Thus, this control can be done through an automation of the boiling ramps during the entire craft beer production process. From this experimental research, a prototype was developed capable of simplifying the beer production process, keeping it with characteristics of artisanal production and not factory. The result of this artisanal process was simplification and, after several brewings, it is possible to verify a certain regularity in the beer flows made using the prototype.

Keywords: Beer Artisan, Brazing, Fermentation, Process Automation.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi inspirada de vários costumes herdados de inúmeras culturas, línguas e nações diferentes, assim como as tradições de comidas, bebidas e receitas, algumas delas passadas de geração em geração. Neste âmbito, cabe ressaltar as bebidas, que apresentam um leque de variedades na alta noroeste, com alguns exemplos do nosso dia a dia locais. A região referida, onde o calor é predominante, aumenta a probabilidade do consumo de boas cervejas, mas o que impulsionou o interesse por cervejas artesanais fora um amigo, chefe de cozinha, que frequentou um curso sobre cervejas e suas harmonizações. Após este curso, foi produzida uma primeira cerveja artesanal, distribuída para cada amigo.

Meses depois, o recém aprendiz de cervejeiro apareceu com 2 exemplares de uma nova receita, que ele mesmo havia produzido. Depois desta apreciação iniciou-se o interesse em fabricar as próprias cervejas artesanais.

Neste contexto, este trabalho foi delimitado com a finalidade de se desenvolver um sistema automatizado para melhorar o processo de produção de cervejas artesanais, obtendo um controle sobre o processo de brassagem.

A produção de cerveja artesanal é feita, muitas vezes, com recursos não muito sofisticados, mas com capricho na elaboração manual, utilizando-se recursos rústicos, como, por exemplo, panelas de inox, ferro ou alumínio, fogão à gás, termômetros, timer digital, entre outros dispositivos que podem auxiliar na produção da cerveja.

O processo de produção é controlado, normalmente, pela chama de gás, que determina a temperatura da água. Este controle é feito manualmente por um determinado tempo, até chegar no processo de mosturação, onde a mistura do malte fica aquecendo em uma temperatura constante por um determinado tempo, sendo que este aquecimento, escalonado na etapa da mosturação, será o principal desafio desta pesquisa.

Cerveja através dos tempos

A cerveja, como muitos conhecem, não tem data exata de surgimento, porém algumas enciclopédias e autores a datam acerca de 6000 a.C.

Segundo Thomas W. Young (2019), a cerveja é uma bebida alcoólica produzida pela extração de matérias-primas, como água, fervura (geralmente com lúpulo) e fermentação. Em alguns países, a cerveja é definida por lei, como na Alemanha, onde os ingredientes

padrões, além da água, são o malte (cevada germinada seca em estufa), lúpulo e fermento. Antigamente, a cerveja era feita de cevada na Suméria e Babilônia.

Relevos sobre tumbas egípcias, datadas de 2400 a.C. mostram que cevada ou grãos parcialmente germinados foram esmagados, misturados com água e secada em bolos. Quando quebrados e misturados com água, os bolos resultam em um extrato fermentado por microrganismos acumulados nas superfícies dos vasos de fermentação.

Segundo Garret (2003, p. 25) a cerveja não é tão simples, e sua fabricação é uma arte bem mais complicada do que a de produzir vinho[...] Assim, o processo mais simples de fabricação de cerveja requer cevada maltada, levedura, lúpulo e água. De acordo com o mesmo autor (2003), fazer cerveja não é tão simples assim, pois a escolha dos ingredientes inclui um grande leque de maltes, cereais torrados, cereais não maltados e centenas de variedades de leveduras, para que se possa produzir o que se imagina.

A escolha dos ingredientes dá ao cervejeiro o trabalho para liberar o açúcar de seus ingredientes, bem diferente da uva que já tem açúcar próprio. Este processo irá transformar os amidos em um líquido chamado mosto, que passa para um outro recipiente, no qual o amargor, o aroma e o sabor dos lúpulos são extraídos através da fervura. Após o mosto ser lupulado, ele começa o processo de fermentação, onde se pode ter a adição de outros ingredientes que irão transformá-lo em cerveja.

Segundo Thomas W. Young (2019), as técnicas básicas de fabricação de cerveja vieram da Europa e do Oriente Médio. Os historiadores romanos Plínio (no século I a.C.) e Tácito (no século I d.C.) relataram que os saxões, celtas e tribos nórdicas e germânicas bebiam cerveja. De fato, muitos dos termos usados na fabricação de cerveja (malte, mash, wort, ale) são de origem anglo-saxônica, especificamente na Idade Média, quando as ordens monásticas preservaram a fabricação de cerveja.

O lúpulo estava em uso na Alemanha no século XI, e no século XV eles foram introduzidos na Inglaterra, a partir da Holanda. Em 1420, a cerveja era feita na Alemanha utilizando-se um processo de fermentação de fundo, assim chamado porque a levedura tendia a afundar no fundo do recipiente de fermentação; antes disso, o tipo de levedura usado tendia a subir para o topo do produto fermentado e era permitido transbordar ou era removido manualmente.

A cervejaria era uma ocupação de inverno e o gelo era usado para manter a cerveja fresca durante os meses de verão. Esta cerveja passou a ser chamada de lager (do alemão lagern, "to store"). O termo lager ainda é usado para denotar cerveja produzida, a partir de levedura

de fermentação de fundo, e o termo Ale, agora é usado para tipos de cerveja britânicos de alta fermentação.

A Revolução Industrial trouxe a mecanização da fabricação da cerveja, controlando o processo com o uso do termômetro e sacarômetro, desenvolvido na Grã-Bretanha e transferido para o continente, onde o desenvolvimento de equipamentos de fabricação de gelo e refrigeração, no final do século 19, permitiu que cervejas lager fossem preparadas no verão.

Na década de 1860, o químico francês Louis Pasteur, através de suas investigações sobre a fermentação, estabeleceu muitas das práticas microbiológicas ainda usadas na fabricação de cerveja. O botânico dinamarquês Emile Hansen desenvolveu métodos para o cultivo de leveduras em culturas livres de outras leveduras e bactérias. Essa tecnologia de cultura pura foi adotada rapidamente pelas cervejarias da Continental lager, mas não antes no século 20, pelas cervejarias Ale, da Grã-Bretanha. Enquanto isso, as cervejarias de estilo alemão, fermentadas na parte inferior por culturas de leveduras, tornaram-se dominantes nas Américas (YOUNG, 2019).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para se produzir uma cerveja artesanal são necessários alguns utensílios para a sua preparação. Para começar, é preciso saber o que vai se precisar para começar a produzir a cerveja. Os ingredientes básicos para a sua cerveja são: água, malte, lúpulo e fermento.

Desenvolvimento do Sistema

Essa será a parte responsável pelos itens que irão compor todo o processo de supervisão e controle da produção que envolve a brassagem e o início do processo de fervura, devendo ser capaz de controlar tempos e temperaturas dos processos, também podendo, em tempo real, interagir, modificar ou alterar qualquer propriedade do sistema de controles envolvidos. O software deverá se basear na Norma IEC 61131, utilizando opções que facilitarão a sua arquitetura e um sistema de fluxo de dados a ser implementado, para compreender melhor todo o processo.

Os requisitos do sistema são:

- Prover informações de todos itens conectados e utilizados.

- O sistema não irá funcionar sozinho, todas as etapas serão informadas e controladas
- Fornecer opção de pré-aquecimento para o início dos processos.
- Controlar, segundo a lógica de controle, de acordo com os tempos e temperaturas estabelecidas.
- O sistema tem a interface de controle, que possuirá acesso a todas as variáveis do processo e controle.
- O sistema deve conter todas as variáveis, para o controle de temperatura, tempo e processos, as quais enviarão ou receberão informações de lógicas e controles.
- A escolha da plataforma de desenvolvimento será tratada quando forem abordados os ambientes de desenvolvimento, tratando-se, primeiramente, do desenvolvimento do hardware e controle PID.

Desenvolvimento do Hardware

O Hardware foi projetado segundo o esquema elétrico elaborado para a prototipagem. Este modelo foi a parte fundamental no desenvolvimento deste protótipo que, com o equipamento em mãos, foram testados alguns controladores MCU, iniciando os testes com o Arduino Uno, conseguindo identificar e testar a conectividade com o hardware, tanto no projeto quanto no funcionamento das conexões.

Com o protótipo em fase de testes, pode-se identificar as falhas e melhorias a serem realizadas. Na figura 1, tem-se uma visão geral do esquema elétrico, incluindo MCU, display, optoacoplador, comunicação I2C, sistema de acoplamento com relay para isolamento de carga elétrica com alta voltagem e o sensor DS18B20, com demais componentes.

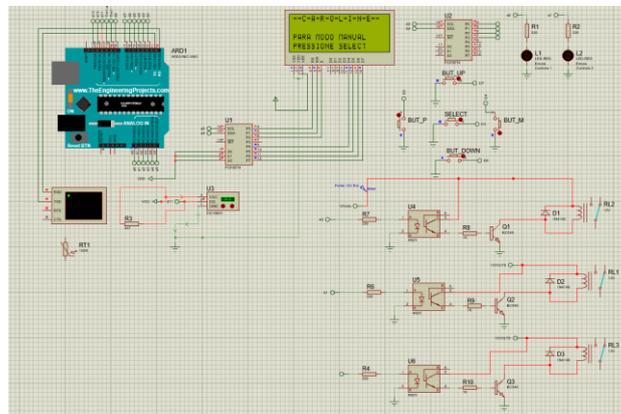


Figura 1 - Esquema Elétrico. Fonte: Autores.

Aqui, tem-se uma relação dos componentes utilizados no esquema elétrico.

- 01MCU – Controlador Arduino ou Esp32
- 03 Diodos 1N4148
- 01 Resistor 4k7 - 03 Resistor 1k -05 Resistor 220R
- 03 Optoacoplador 4N25
- 03 BC 548
- 05 Botões – Versão Arduino ou 04 Botões Versão Esp32
- 01 DS18B20 Sensor temperatura digital
- 01 Led Verde - 01 Led Vermelho
- 01 Circuito Integrado PCF8574 I2C
- 03 Relay 12V ou 5V
- 01 Display LCD 20x4 I2C

Nas fases de controle e processos utilizados neste projeto, contou-se com um circuito de isolamento primário que protege o bloco do processador Atmel AVR, utilizando o Optoacoplador 4n25 (6 PIN DIP Phototransistor Photocoupler).

O Optoacoplador é um componente eletrônico capaz de fazer o isolamento de algumas partes do circuito. Por necessitar de baixa potência de operação, além de ser imune a interferência e ser bem menor que um relé, uma de suas características é a velocidade. Este componente foi conectado a um transistor comum do tipo BC548, juntamente com um resistor de 1k. Para uma maior eficiência, foi utilizado no circuito primário para proteger o MCU.

Em seguida, ligou-se ao circuito de proteção primário, tendo-se o circuito de isolamento secundário, que também possui um optoacoplador, seguido de um sistema com relé para fazer a proteção com o circuito da rede de corrente alternada. Assim, possuiu-se uma proteção dupla para o MCU, que além de proteger, isola totalmente o circuito principal de interferências e perigos de choque elétrico, em caso de algum tipo de contato do usuário com o circuito primário. Mesmo em caso de descarga elétrica, o circuito eletrônico e lógico

continuará operando, mas podendo danificar o circuito de controle externo, o que não é problema, já que há facilidade da sua substituição.

Um grande cuidado foi tomado em relação ao desenvolvimento deste protótipo não ter problemas de manutenções complexas, podendo-se substituir, a qualquer momento, as principais partes do circuito, inclusive a MCU. Assim, expõem-se alguns tipos que podem ser utilizados no projeto, na figura 2 e na figura 3.



Figura 2 - Arduino Mega. Fonte: Arduino c.c.



Figura 3 - Esp32. Fonte: Filipeflop.

O bloco de funcionamento principal é apresentado na figura 4.

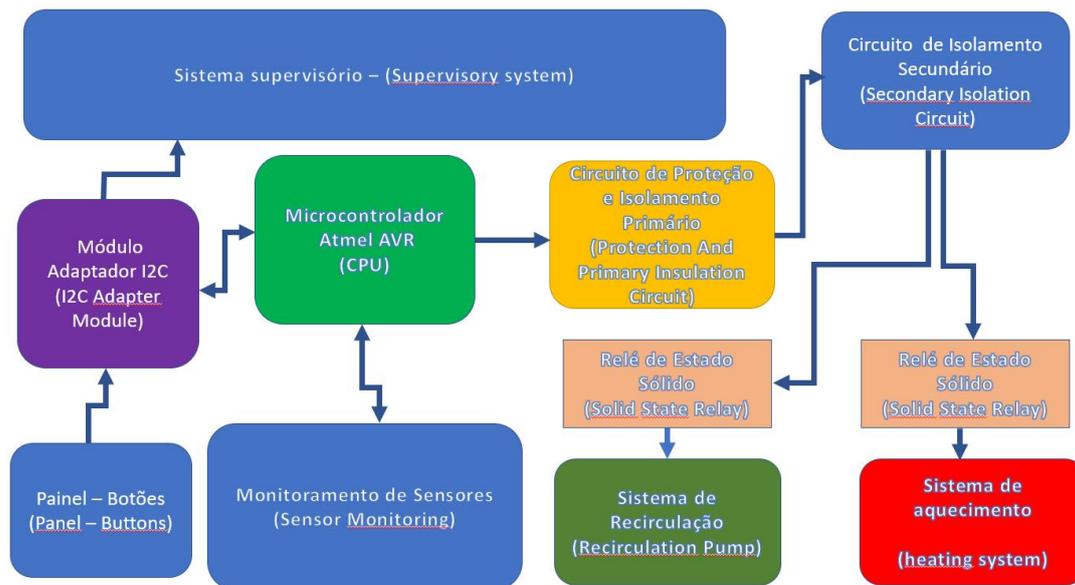


Figura 4 - Bloco Funcionamento Eletrônico. Fonte: Autores.

O primeiro sensor a ser testado foi a sonda Termopar K 100 1250°C, um sensor de temperatura. Durante os testes, notou-se lentidão na medição e pequenas flutuações, quando o sensor foi trocado. Porém, o problema continuou devido à baixa voltagem das portas do Arduino e que causavam oscilação e imprecisão nas leituras.

Para resolver o problema de leitura do sensor, trocou-se a MCU Arduino por uma MCU ESP32, mas não foram obtidos sucesso. Então, utilizando-se de uma placa com um amplificador operacional, foi possível ter uma maior exatidão das medições de temperatura; o módulo que foi utilizado para teste foi o Módulo Amplificador Sensor Par Termoelétrico, apresentado na figura 12. Mas, mesmo com o módulo, este sensor apresentou uma pequena lentidão.

Utilizando-se uma MCU mais potente, os resultados obtidos não alcançaram o êxito esperado, ou seja, um controle com uma menor margem de erro em relação a temperatura de set-point, definida nas rampas e processos utilizados durante os testes de brasagem. O principal foco foi o controle da temperatura; ela não deveria variar durante o processo e, se isto ocorresse, a qualidade em relação ao resultado poderia não acontecer conforme o esperado, causando ésteres indesejados.

Após pesquisa, testou-se um sensor digital com resposta rápida, que atende ao proposto e ainda permite ligar em uma única porta até 8 sensores, podendo expandir os níveis de

controles e ter um maior nível de acerto: o sensor DS18B20, que além da sua funcionalidade, é a prova d'água.

O DS18B20 é bastante preciso ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão) e proporciona leituras de temperatura de até 12-bits (configurável), através de uma conexão de dados de apenas 1 fio, com um microcontrolador Arduino ou Raspberry Pi, por exemplo. O sensor tem uma resposta muito rápida e tem um bom isolamento.

Cada DS18B20 possui um código serial exclusivo de 64 bits, que permite que vários DS18B20s funcionem em um mesmo barramento de 1 fio. (Datasheet), para maiores informações consulte o relatório técnico.

Controle PID

O principal objetivo do processo de controle é ter a menor taxa de erro em relação ao SetPoint, que é o valor de temperatura a ser alcançado durante o processo de funcionamento em todas as etapas da brasagem. Para isso, utilizou-se um controle PID, definido abaixo:

"Um Sistema que estabeleça uma relação de comparação entre uma saída e uma entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, denominado Sistema de Controle com Realimentação" (K. OGADA - Engenharia de Controle Moderno)

"Um Sistema de Controle consiste em sub-sistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada, com desempenho desejado para uma entrada específica fornecida" (N. S. NISE - Engenharia de Sistemas de Controle).

"Um Sistema de Controle é uma interconexão de componentes formando uma configuração de sistema que produzirá uma resposta desejada do sistema"(R. C. FORFE; R. H. BISHOP - Sistema de Controle Moderno).

Utiliza-se um Sistema de Malha Fechada, como apresentado na Figura 5.

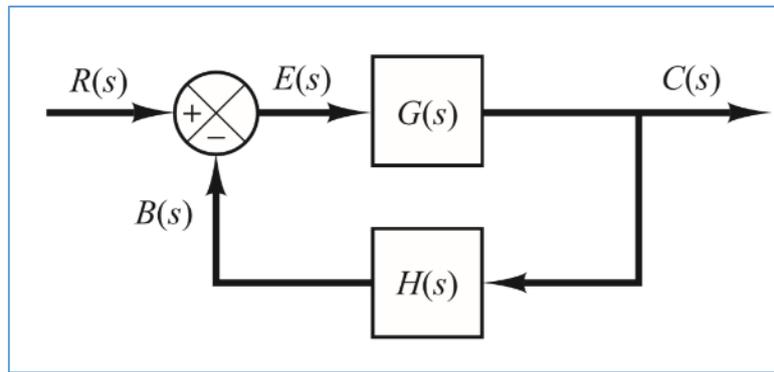


Figura 5 - Sistema Malha Fechada. Fonte: Ogada (2010).

“Em um sistema de controle de temperatura, o sinal de saída normalmente é a temperatura controlada. O sinal de saída, o qual tem a dimensão da temperatura, deve ser convertido para uma força ou posição ou tensão, antes de ser comparado ao sinal de entrada.” (K. OGADA, 2010, p. 16) como pode ser visto na Figura 6.

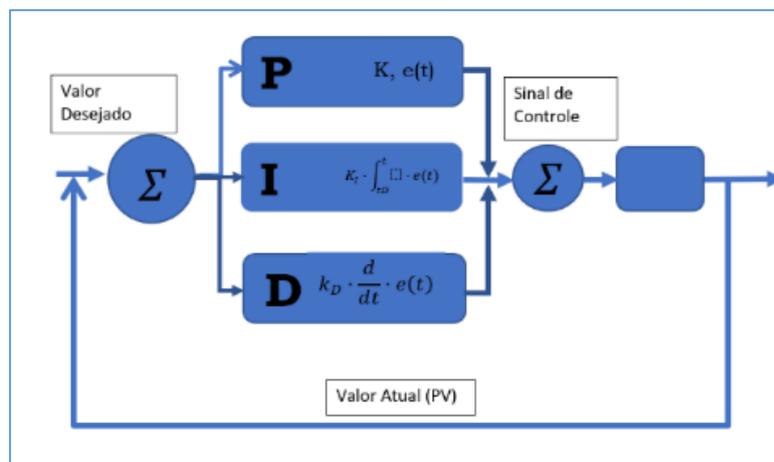


Figura 6 – Bloco PID. Fonte: Autores.

Controle do Processo

Tem-se um comparativo do controle manual, sem a utilização de um sistema de controle automatizado, sem PID, na Figura 7. E um automatizado, utilizando um sistema de controle com PID na figura 8. Os picos representam a elevação da temperatura passando pelo valor desejado, ou seja, em um sistema manual é muito difícil fazer o controle da temperatura, pois o material em contato com o fogo é muito mais quente do que a água que está nele,

quando a água alcança o valor de set-point o material já está em uma temperatura bem acima do valor desejado.

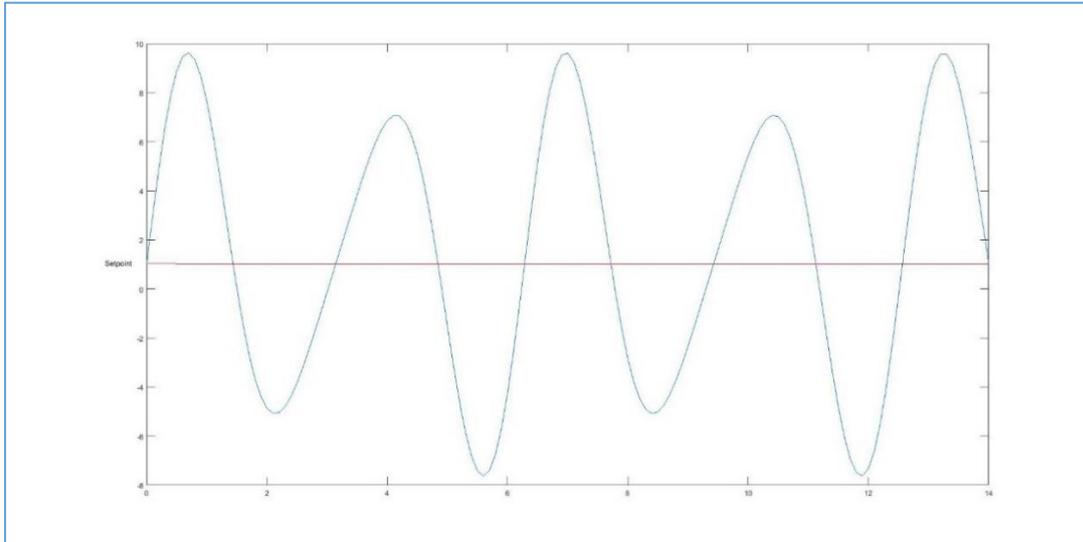


Figura 7 - Gráfico controle manual. Fonte: (Mendes, 2019).

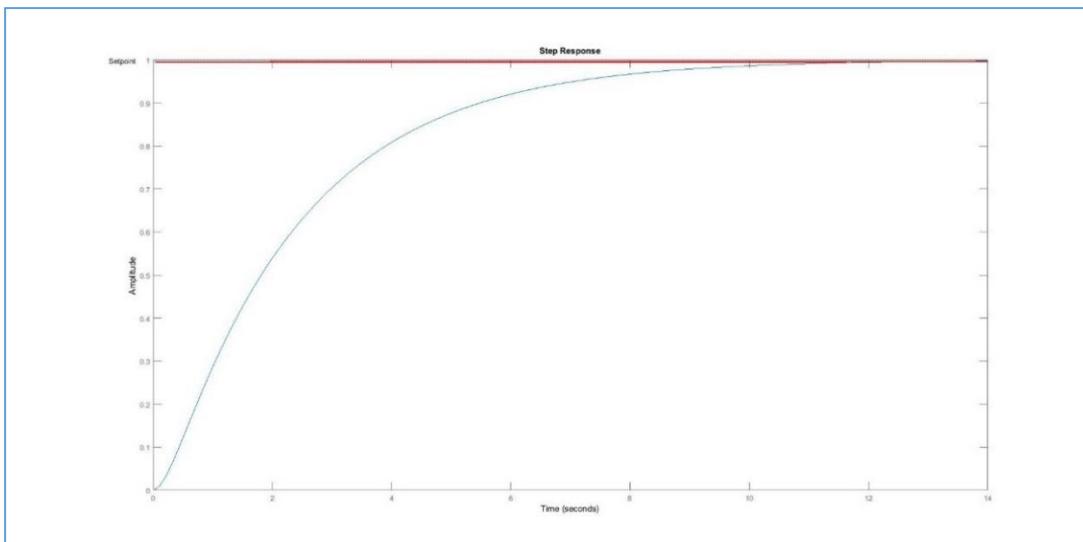


Figura 8 - Gráfico controle PID. Fonte: (Mendes, 2019).

Para a configuração do PID, foi utilizado o PID LOOP SIMULATOR, o processo é especificado pelo ganho, tempo e constante e tempo parada (MEHTA, 2019).

O controlador PID possui 3 parâmetros: ganho, integral e derivado. Pode-se digitar esses valores nas células apropriadas. Se o tempo integral for digitado como 0, o termo integral será ignorado como é demonstrado na Figura 9.

O Microsoft Excel foi utilizado como ferramenta auxiliar na aferição e configuração dos valores de PID, permitindo fazer a simulação antes da parte prática, pequenos ajustes foram feitos como apresenta a figura 10.

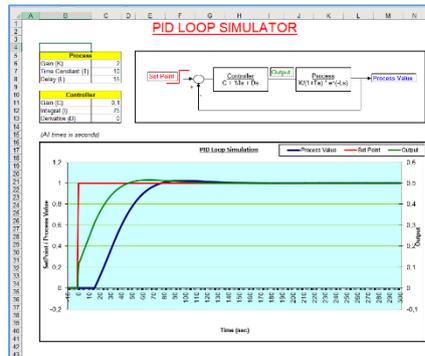


Figura 9- PID Desconfigurado. Fonte: Mehta, 2019.

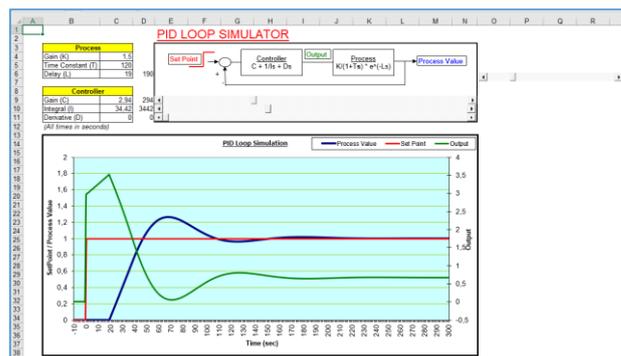


Figura 10 - PID Ideal. Fonte: Mehta, 2019.

As rampas serão controladas por intervalo de tempo pré-estabelecidos no início do processo da brasagem, o gráfico da figura 11 mostra as temperaturas no eixo (y) e os tempos no eixo (x), o tempo de cada rampa e estabilidade é essencial para produção de um certo tipo de cerveja com a qualidade desejada, qualquer falha pode ocasionar diferença nos tipos de açúcares extraídos.

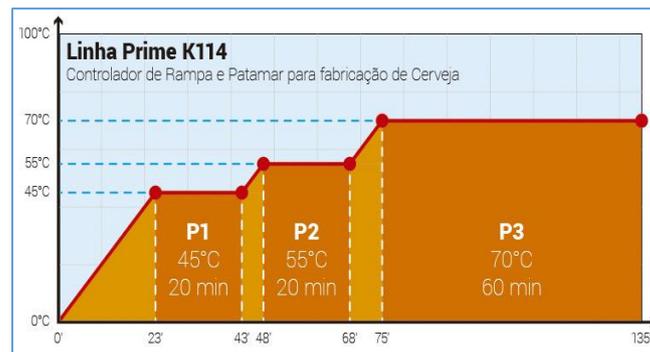


Figura 6 - Rampa de aquecimento da brassagem. Fonte: Ageon Electronic Controls, 2019.

Ambiente de Desenvolvimento

O ambiente de desenvolvimento escolhido foi o Visual Studio Code, um editor de código-fonte leve, porém muito poderoso, que roda na área de trabalho e está disponível para Windows, MacOS e Linux. Já há suporte interno para JavaScript, TypeScript e Node.js, também possui um rico ecossistema de extensões para outras linguagens (como C ++, C #, Java, Python, PHP, Go) e tempos de execução (como .NET e Unity). Pela sua ampla gama de bibliotecas de acesso, que também consistem em multiplataformas, podem ser baixados complementos para a sua utilização, sendo que o reaproveitamento de código também foi um dos principais motivos que promoveu a escolha desta plataforma.

O ambiente de desenvolvimento escolhido possui áreas de trabalho com vários workspaces, onde se pode trabalhar com várias pastas de projeto no Visual Studio Code, com espaços de trabalho com várias Workspaces. Isso foi muito útil quando se trabalhou em vários projetos relacionados ao mesmo tempo. Utilizou-se códigos de outros produtos, facilitando a integração e aprendizado durante o processo de desenvolvimento, com a reutilização de código feita de maneira mais simples sem se precisar abrir várias aplicações ao mesmo tempo, mas apenas podendo abrir o projeto no mesmo workspace ou em um workspace separado.

Dentro do VSCode, trabalhou-se com uma extensão PlatformIO IDE, para VSCode, a próxima geração de ambiente de desenvolvimento integrado para desenvolvimento incorporado o PlatformIO, um ecossistema de código aberto para desenvolvimento profissional incorporado. Seu sistema de construção de plataforma cruzada e depurador unificado também possui teste de unidade remota e atualizações de firmware.

Trabalha com as plataformas escolhidas para o desenvolvimento e outras também: Atmel AVR, Atmel SAM, Espressif 32, Espressif 8266, Freescale Kinetis, Infineon XMC, Intel ARC32,

Microchip PIC32, Nordic nRF51, Nordic nRF52, NXP LPC, RISC-V, Samsung ARTIK e outros. (PlatiformIO, s.d.)

RESULTADOS

Em relação ao principal foco, que foi a estabilização da temperatura, utilizando-se de um sistema PID conseguiu-se uma boa estabilização da temperatura, normalmente não excedendo o valor de 0,5°C para as temperaturas controladas acima de 40°C. Testes foram realizados com rampas, de 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 62°C, 65°C, 68°C, 70°C, 72°C, 78°C, 80°C, 85°C, 90°C e 99°C, sendo que no processo manual, essa variação pode chegar até 15°C, podendo acarretar uma distorção no resultado final do processo.

No processo manual, se a temperatura for diferente da temperatura da receita, os tipos dos açúcares produzidos na brassagem, as enzimas de sacarificação consomem o amido que constitui o malte, dando origem à amilose e à amilopectina, que por sua vez podem dar origem a dextrinas, maltotrioses, maltoses e açúcares menores, como glicose e frutose, preparando para a fermentação, o que ocorre é quem nem todos os açúcares são bons para fermentação.

Os testes foram executados em várias situações, com adição de malte, adição de maior quantidade de água, local fechado, local aberto, em todas as situações o controle se comportou de forma efetiva na correção da temperatura, em casos mais extremos com gelo por exemplo, houve uma diferença mais considerável em torno de 2 graus de diferença, durante alguns minutos, durante a correção do PID, a Figura 23 mostra um controle de tempo aos 24 minutos.

Aos 40h49 do teste obteve-se uma constante na estabilização da temperatura, mesmo com circulação de bomba ligada, ou desligada, com vento ou sem vento, o teste foi executado em ambiente com circulação de ar, a Figura 24 ilustra este momento.

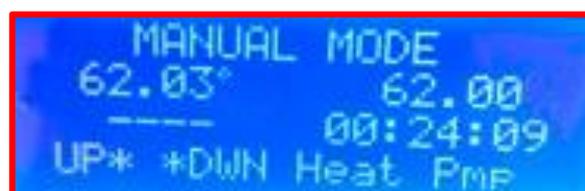


Figura 23 – Teste PID 1. Fonte: Autores.



Figura 24 – Teste PID 2. Fonte: Autor, 2019.

CONCLUSÃO

Ao longo deste projeto, pode-se concluir que a utilização de um sistema automatizado, que faz o controle de temperatura, não torna a cerveja artesanal em uma cerveja fabril, pois apenas automatiza o controle da temperatura, mas sem excluir a atuação do cervejeiro neste processo.

A etapa de automatização do processo de brassagem é um dos processos importantes e que devem ter uma atenção especial, pois na brassagem no controle de temperatura é algo essencial e é neste momento que o cervejeiro define o tipo da cerveja que irá fabricar, sendo que uma boa parcela do paladar da cerveja é iniciada nesta etapa, quando se extrai os tipos de açúcares definidos pela temperatura. Quando este processo não estiver de acordo, pode-se extrair, além de um paladar ruim na cerveja, alguns ésteres indesejáveis.

Também foi observado que esta automação permite que o cervejeiro não precise ficar o tempo todo cuidando da temperatura, pois o sistema faz isso por ele, donde se conclui que os benefícios de se ter uma controladora de temperatura na fabricação de cerveja artesanal é relevante.

REFERÊNCIAS

Ageon Electronic Controls - O que é um controlador de rampa e patamar? Disponível em: <<https://blog.ageon.com.br/novo-controlador-com-rampa-e-patamar-para-fabricacao-de-cerveja/>> acessado em 16 de julho de 2019 - Datasheet -

Arduino Disponível em: < <https://www.arduino.cc/>> acessado em 15/01/2019.

Datasheet Optoacoplador 4n25 <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/202412/EVERLIGHT/4N25.html>> acessado em 22/10/2019 - Datasheet Ds18b20 Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds18b20&gclid=EAIaIQobChMI8T9h-bk5QIVjYeRCh0MEwr7EAAAYASAAEgIpH_D_BwE> Acessado em 01/07/2019.

GitHub<https://github.com/griddb/griddb_nosql/search?q=joao.fornazieri&unscoped_q=joao.fornazieri>. Último acesso em novembro de 2019.

GARRETT, Oliver. A mesa do mestre-cervejeiro: descobrindo os prazeres das cervejas e das comidas verdadeiras / Garrett Oliver; com fotografias de Denny Tillman; tradução de Anthony Cleaver. – São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

Gráfico controle PID. (Mendes, Renato de Aguiar Teixeira, 2019). Módulo Adaptador I2C disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-arduino-com-display-lcd-e-adaptador-i2c/>> acessado 22/10/2019.

MOTT, Anderson: O que são Sistemas Supervisórios? Disponível em: <<http://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/>>. Acesso em 01/07/2019.

NISE - Engenharia de Sistemas de Controle Traduzido de CONTROL SYSTEMS ENGINEERING, SEVENTH EDITION Copyright © 2015, 2011, 2008, 2004, 2000, 1999 by John Wiley & Sons, Inc. Norma IEC 61131.

OGADA, Katsuhiko Engenharia de controle moderno / Katsuhiko Ogata; tradutora Heloísa Coimbra de Souza; revisor técnico Eduardo Aoun Tannuri. -- 5. ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. N.S.

PID - SIMULADOR Disponível em: <http://www.engineers-excel.com/Apps/PID_Simulator/Description.htm> Acessado 29/06/2019.

PlatformIO Disponível em: <<https://platformio.org/>> acessado em 31/10/2019.

Sensores de Temperatura ds18b20. Disponível em: <<https://simple-circuit.com/arduino-ds18b20-temperature-sensor/>> Acessado em 13/09/2019.

Sistema de controle de Menus e Timers <<https://wrkits.com.br/>> acessado em 05/07/2019.

Sistemas de Controle - Prof. Leonardo Gonsioroski. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=0jM-XSOfoA4>> acessado em 15 de julho de 2019.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de Software. 9. ed. São Paulo: Pearson 2011.

Trinity Case 20x4. Disponível em:<<https://www.thingiverse.com/thing:1159729>> Acesso em 07 de julho de 2019.

Young - Thomas W. Young História da Cerveja Disponível em:<
<https://www.britannica.com/topic/beer>> Acesso em 16 de março de 2019.

Sistema de Segurança Automotivo Baseado em Reconhecimento Facial

Automotive security system based on facial recognition

Fernanda Imaculada Pimenta¹
Joabe de Lima Souza²
Liniker da Silva de Brito³
Alexandre Marcelino da Silva⁴
Fernando Gabriel Eguia Pereira Soares⁵

RESUMO

Os sistemas biométricos utilizam uma parte do corpo humano como senha para identificação da pessoa. Uma das vantagens deste método é que os usuários não necessitam portar cartões ou lembrar-se de senhas para ter acesso a alguma informação ou algum local. Outra vantagem é a de que não há como emprestar ou roubar a biometria de uma pessoa, fazendo com que este método seja mais seguro e mais eficaz em comparação a outros. Atualmente, a grande quantidade de informações traz a necessidade de métodos mais seguros para que se evite fraudes, como furtos e acessos indevidos. O presente trabalho apresenta os conceitos básicos sobre o sistema biométrico facial e o desenvolvimento de um sistema automotivo de reconhecimento de faces, onde o administrador do sistema cadastra o usuário para que, posteriormente, possa-se realizar a autenticação deste, fornecendo ou não o acesso ao veículo. Para tal, implementou-se um protótipo utilizando a biblioteca OpenCV, juntamente com a linguagem de programação Python, um módulo Raspberry Pi 3 e a câmera Raspberry Pi v2. O atual projeto também descreve brevemente as técnicas, bibliotecas, métodos e *softwares* utilizados para tal aplicação. Assim, utilizou-se de extensa pesquisa bibliográfica, documental e pesquisa experimental, que possibilitou uma reflexão mais próxima da realidade. Ao final, implementou-se um protótipo de um sistema que realiza o reconhecimento facial como método de liberar o acesso da ignição do automóvel.

Palavras-chave: Reconhecimento Facial. Segurança. Automação. Tecnologia.

ABSTRACT

Biometric systems use a part of the human body as a password to identify the person. One of the advantages of this method is that users do not need to carry cards or remember passwords to access information or a location. Another advantage is that there is no way to borrow or steal a person's biometrics, making this method safer and more effective compared to others. Currently, the large amount of information brings the need for safer

¹ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: recfacial.icsale@gmail.com

² Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: recfacial.icsale@gmail.com

³ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: recfacial.icsale@gmail.com

⁴ Cientista da Computação, Mestre em Educação pela Universidade Estadual Paulista e docente no curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: alexandre@salesiano-ata.br

⁵ Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica Dom Bosco e docente do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: fernando.egua@yahoo.com.br

methods to avoid fraud, such as theft and improper access. The present work presents the basic concepts about the facial biometric system and the development of an automotive face recognition system, where the system administrator registers the user so that, later, it can be authenticated, providing or not the access to the vehicle. To this end, a prototype was implemented using the OpenCV library, along with the Python programming language, a Raspberry Pi 3 module and the Raspberry Pi v2 camera. The current project also briefly describes the techniques, libraries, methods and software used for such an application. Thus, extensive bibliographic, documentary and experimental research was used, which enabled a reflection closer to reality. In the end, a prototype of a system that performs facial recognition was implemented as a method of freeing the car's ignition access.

Keywords: Face Recognition. Security. Automation. Technology.

INTRODUÇÃO

Atualmente, há disponível no mercado diversas soluções com o objetivo de reduzir a prática de furtos de automóveis. Contudo, mesmo com todos estes dispositivos, a população ainda sofre com esta prática criminosa. De acordo com uma reportagem do jornal Folha de São Paulo, do dia 28 de outubro de 2017, no Brasil há um furto de veículo a cada minuto, sendo que destes, o estado do Rio de Janeiro lidera o *ranking*. Estes são dados alarmantes, pois infelizmente a maior parte destes veículos não são recuperados.

O processo de autenticação biométrica é idêntico ao sistema que o cérebro humano utiliza para reconhecer e/ou distinguir uma pessoa da outra. [...] Uma vantagem do sistema biométrico sobre os demais sistemas de segurança é a utilização de característica humana imutável que é difícil de ser perdida, esquecida, roubada ou até mesmo duplicada. Assim o método é considerado de alto nível de segurança, tornando-se confiável e de fácil utilização. (ALMEIDA; MARINHEIRO, 2011, p. 14).

O atual projeto possui como fundamento a implementação de um sistema automotivo que faça uso da visão computacional para realizar o reconhecimento facial. A ideia principal é de que, por meio de uma câmera, o sistema faça a autenticação do condutor do automóvel, verificando se a pessoa possui ou não permissão para uso do veículo.

O sistema automotivo do trabalho atual não aborda a segurança em todo o veículo, por exemplo, não aborda questões de segurança quanto às travas das portas e/ou localização atual, apenas trata da questão quanto à segurança no sistema de ignição do veículo. Sendo assim, não descarta o uso de alarmes e/ou rastreadores, ele é utilizado para complementar a segurança no veículo. Estima-se

que o projeto atual ficou avaliado em 470,00 reais.

O presente trabalho apresenta os conceitos básicos sobre biometria, em que situações os sistemas biométricos são aplicados, detalhes da biometria facial, pontos craniométricos levados em consideração, implementação do sistema biométrico, definição das fases do reconhecimento de faces e principais requisitos, apresentação do modo de funcionamento no sistema de ignição veicular, resultados, considerações finais e referências bibliográficas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A expressão biometria, que é naturalizada do grego *bio* (vida) e *metron* (medida), tem como principal aplicabilidade a autenticação utilizando alguma característica do corpo humano. Cada característica analisada possui o seu nível de dificuldade para ser aplicada, algumas tendo um grau de precisão muito maior que outras, podendo ser utilizada separadamente ou em conjunto.

Métodos biométricos baseados em características comportamentais, utilizam-se das características comportamentais e psicológicas do ser humano. Alguns exemplos são: dinâmica da assinatura, biometria vocal e dinâmica da digitação. Estas características tendem a sofrer alterações conforme o tempo e, também, conforme o estado emocional do indivíduo. Sendo assim, sistemas de reconhecimento baseados em características comportamentais necessitam de atualizações para continuar mantendo a eficiência. No entanto, estes sistemas são mais eficientes em relação aos que utilizam cartões e/ou senhas. Já os métodos biométricos baseados em características físicas, utilizam-se de características humanas que não sofrem alteração ao longo do tempo, como: impressão digital, reconhecimento facial, leitura de retina, reconhecimento de íris e reconhecimento pelo DNA.

Francis Galton foi pioneiro no estudo das características de impressões digitais tendo identificado características que considerou únicas e, combinadas, permitem a identificação de um indivíduo a partir de sua impressão digital. (PRESTES, 2011).

A utilização de sistemas biométricos não é novidade, pois o ser humano explora muitas dessas técnicas há anos. É possível encontrar relatos do uso de digitais, por exemplo, desde o começo do século XIX, para garantir transações comerciais e, também, seu

posterior uso para descobrir suspeitos de crimes. (HONG, 1998, *apud* ALMEIDA, 2006, p. 15).

Contudo, *foi no século XX que os sistemas biométricos ganharam força, e puderam ser incluídos em sistemas computacionais [...]*. (ALMEIDA, 2006, p. 15)

O crescente interesse neste tipo de tecnologia possibilitou sua aplicação nas mais diversas plataformas. Pode-se encontrar esta ferramenta no Facebook, onde ao publicar uma foto a plataforma já realiza o reconhecimento das pessoas presentes na imagem. A Apple desenvolveu uma ferramenta denominada *Face ID*, que permite ao usuário utilizar esta aplicação como forma de autenticação para uso do aparelho. Através destes exemplos, pode-se notar a popularização de tal tecnologia.

Outros trabalhos bem-sucedidos na área de reconhecimento facial, utilizaram tecnologias similares às utilizadas no protótipo. O trabalho de Nikisins et al. (2015) utilizou o Raspberry Pi, uma câmera USB, a linguagem de programação C++ e a biblioteca OpenCV, onde para realização do reconhecimento facial utilizou-se o algoritmo *Local Binary Pattern* (LBP).

No sistema de reconhecimento facial automotivo proposto no atual projeto, utilizou-se técnicas parecidas, contudo a linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do software é Python, pois possui maior facilidade de integração com a biblioteca OpenCV e comunicação com as portas GPIO do Raspberry Pi.

A principal utilização de sistemas biométricos está no fato destas técnicas oferecerem maior segurança, agilidade e passar maior confiança ao indivíduo no processo de reconhecimento.

As mais comumente aplicações de sistemas biométricos são:

- Acesso físico – restringir o acesso de indivíduos não autorizados a um local.
- Acesso virtual – identificar o indivíduo que está tendo acesso à informação.
- Comércio eletrônico – proporcionar segurança nas transações.
- Monitoramento – monitorar locais e áreas com grande número de pessoas.
- Computação ubíqua – Os sistemas tendem a tornar-se mais transparentes, ou seja, menos invasivo aos usuários e, conseqüentemente, mais aceito por estes.

Biometria Facial

A biometria facial faz uso de técnicas para realizar a medição do rosto em pontos que dificilmente sofrerão alterações. Esses pontos bases diferem-se em cada indivíduo. A Figura 1 realiza a demonstração de alguns desses pontos bases e dos métodos de medição da face.

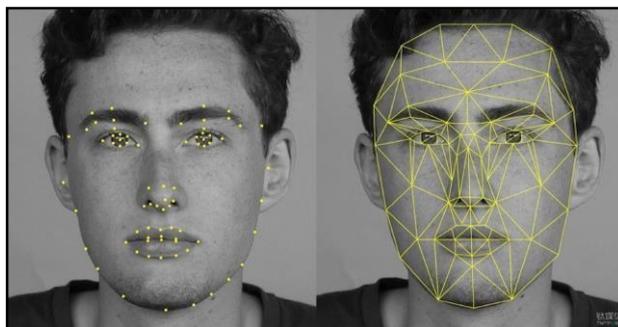


Figura 1 – Métodos de medida da face. Fonte: MacMagazine (2017).

“Podemos dizer que processamento de imagens é um processo onde a entrada do sistema é uma imagem e a saída é um conjunto de valores numéricos, que podem ou não compor uma outra imagem. A visão computacional procura emular a visão humana, portanto também possui como entrada uma imagem, porém, a saída é uma interpretação da imagem como um todo, ou parcialmente.” (MARENGONI; STRINGHINI, 2009, p. 126).

Imagens podem possuir ruídos e estes podem acontecer por diversos motivos, como a má iluminação do local, as condições climáticas no momento em que se obteve a imagem, a posição do objeto de interesse, o tipo de câmera utilizada para aquisição da imagem, entre diversos outros fatores. Porém, a definição de ruído não designa somente interferências no momento de captura da imagem, mas também as interferências que atrapalhem e/ou impossibilitem a identificação do objeto de interesse.

Segundo Gonzalez e Woods (2000), o processamento de imagens pode ser separado em três níveis:

- a) Baixo-nível – onde o objetivo é fazer a redução de ruídos ou melhorias na imagem;
- b) Nível médio – onde o objetivo é realizar a segmentação, ou seja, a separação da imagem por regiões ou a classificação;

c) Alto nível – onde o objetivo é capacitar o sistema para que ele tenha a percepção humana.

No projeto atual, a pele é o tecido mais significativo, pois sob ela estão os músculos da expressão facial, extremamente relevantes na individualização e no reconhecimento de cada indivíduo.

“Pontos e medidas craniométricas, ou mais precisamente a prosopometria, permite conhecer com exatidão a forma e a dimensão da face, possibilitando o diagnóstico preciso das deformidades e a apreciação dos detalhes e variações individuais e raciais.” (GRAZIANI, 1986, *apud* ALMEIDA; MARINHEIRO, 2011, p. 35).

Essas medidas craniométricas (pontos craniométricos) estão localizadas na parte superior do esqueleto, como ilustrado na Figura 2.

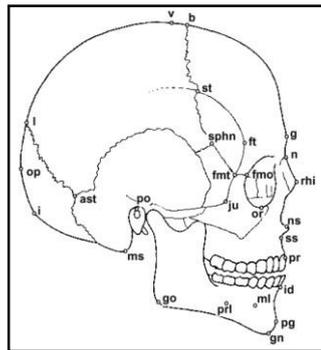


Figura 2 – Pontos craniométricos lateral. Fonte: PEREIRA et al(1978).

Os sistemas de reconhecimento facial envolvem três condições:

- a) a aquisição dos dados e o pré-processamento;
- b) a representação dos dados;
- c) a tomada de decisões.

Por ser uma aplicação específica onde os critérios são retirados da própria aplicação, torna-se complexo o processo de escolha do sistema de biometria mais adequado para o projeto. Porém, é extremamente importante a escolha da tecnologia adequada.

As amostras adquiridas por dispositivos biométricos não são totalmente precisas após sucessivas tentativas, visto que as amostras extraídas possuem diversas variáveis nas características que influenciam no resultado final, ocasionando erros de autenticação de legítimos usuários e, também, de falsos

usuários.

Mesmo que os critérios não sejam expressos quantitativamente, uma análise prévia com base nas vantagens e desvantagens de cada tecnologia, pode destacar alguns dos critérios relevantes como, por exemplo, o desempenho.

Metodologia e Etapa Experimental

Segundo Almeida e Marinheiro (2011, p. 41), os algoritmos de reconhecimento facial utilizam, aproximadamente, 80 pontos da face, como, por exemplo: distância entre olhos, dimensão de boca e nariz, linhas do queixo, linhas dos cabelos, entre outros. Esses algoritmos realizam a detecção facial, onde, nessa etapa, a imagem já foi capturada pela câmera e apenas as regiões que contém faces são extraídas da imagem original. Logo após as imagens das faces são avaliadas separadamente.

Um dos algoritmos utilizados para detecção facial, é o algoritmo de Viola-Jones. Segundo ARAÚJO (2010, p. 18) “o Viola-Jones é capaz de detectar faces com precisão, alta taxa de acerto, baixa taxa de falsos positivos e baixo custo computacional.” Essa técnica faz uso das características *haar*, como as demonstradas na Figura 3.

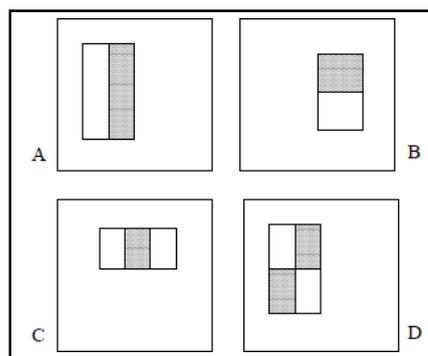


Figura 3 – Exemplos de retângulos de *haar* (características). Fonte: VIOLA et al (2001).

Para realização do cálculo das características, faz-se a soma dos *pixels* dos retângulos brancos e a soma dos *pixels* dos retângulos de cor cinza/preto. Depois, subtrai-se a quantidade dos *pixels* de cor cinza/preto da quantidade dos *pixels* de cor branca. O resultado é o valor para essa determinada região.

No processo de treinamento, as características são localizadas e analisadas, verificando sua utilidade para o processo. A Figura 4 exemplifica a análise dos

contrastes naturais proporcionados pelas características da face quando os haar são aplicados.

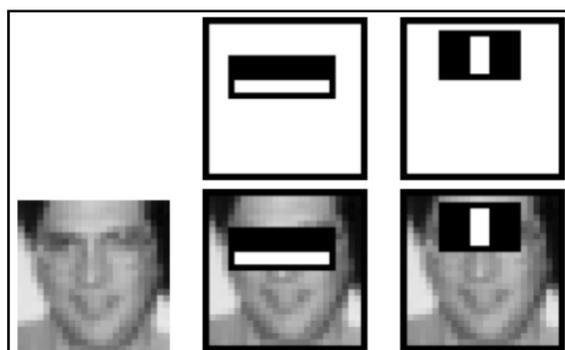


Figura 4 – Melhores *haar* (características) aplicados em uma imagem.

Fonte: Santanas (2015).

“A primeira característica mede a diferença de intensidade entre região dos olhos e a região das bochechas, pois a região dos olhos é muitas vezes mais escura do que a bochecha. Na segunda característica, compara as intensidades nas regiões dos olhos com a ponta do nariz.” (VIOLA, Paul.; JONES, Michael, 2001 apud SANTANAS, 2015, p. 39).

Algoritmo *Local Binary Patterns Histograms* (LBPH)

Segundo Salton (2017), o algoritmo LBPH (*Local Binary Patterns Histograms*) é um dos algoritmos de reconhecimento facial mais simples. Este, deriva do LBP (*Local Binary Pattern*) que é um operador de textura simples, porém de uma eficiência incrível. Ele classifica os *pixels* de uma imagem ao estabelecer a vizinhança de cada *pixel* analisado e o resultado é sempre um número binário. A construção do algoritmo LBP foi desenvolvida em meados do ano de 1994 e desde então é considerado muito eficaz para a classificação de texturas. Depois de um determinado tempo, houve a junção do algoritmo LBP com os Histogramas, denominado LBPH, e demonstrando muito mais eficiência quando se trata de detecção.

Utilizando o LBPH podemos reproduzir as imagens de uma face com um vetor de dados simples. O funcionamento do LBPH é baseado em 4 parâmetros:

Raio: corresponde ao raio ao redor do *pixel* central, que na maioria das vezes é definido como 1. Utilizado também para desenvolver o padrão binário circular;

Vizinhos: a quantidade de pontos de amostra para criar o padrão binário circular local. Na maioria das vezes definido como 8;

Grade X: A quantidade de células no sentido horizontal. Na maioria das vezes definido como 8;

Grade Y: A quantidade de células no sentido vertical. Na maioria das vezes definido como 8.

Uma etapa importante do algoritmo LBPH é o treinamento, onde faz-se o processamento e entende-se a quem pertence o rosto que está sendo analisado. Para isso, utiliza-se um conjunto de dados que contém as imagens das pessoas para que o algoritmo reconheça e, logo após, define-se um ID – código específico para aquela pessoa (também pode ser o nome da pessoa) – e, então, o algoritmo associa o ID com a imagem de entrada para definir uma saída.

O primeiro passo computacional do algoritmo é criar uma imagem em paralelo com a original. Basicamente, nesse processo, o que ele faz é transformar a imagem em escala de cinza e extrair uma parte dessa imagem transformando em uma matriz 3x3, possuindo nela, a intensidade de cada *pixel*. Definindo-se um valor central dessa matriz para ser usado como princípio – onde esse valor também será utilizado para definir os novos valores dos 8 vizinhos –, realiza-se uma transformação para um valor binário e, depois, transforma-se esse valor binário em uma matriz decimal. Por fim, temos um resultado da imagem que melhor representa as características da imagem original.

O segundo passo computacional designa extrair os histogramas utilizando a imagem gerada no passo anterior. Utilizam-se os parâmetros Grade X e Grade Y para realizar a divisão da imagem em múltiplas grades e, então, extrai-se o histograma de cada região da imagem.

Na última etapa, onde ocorre o reconhecimento facial, tem-se o algoritmo treinado com cada imagem tendo seus respectivos histogramas. Nesse passo, tem-se uma imagem como entrada, o algoritmo realiza a comparação entre dois histogramas e a saída deste é a imagem com o histograma mais próximo.

Sistema de Ignição Veicular

Segundo Brunetti (2012, p. 517) “o método de ignição convencional, - no caso, o que foi mais utilizado e conhecido e teve o seu auge entre 1920 e 1960 -, era basicamente constituído pela bateria, chave de ignição, bobina de ignição, distribuidor, cabos de alta tensão e velas de ignição”. Na Figura 5, é ilustrada a localização do sistema de segurança automotivo indicado por um círculo vermelho entre a bateria e a chave de ignição do veículo.

Com relação à alimentação do protótipo, este deve ser ligado juntamente à bateria do veículo. Para isso, deve-se realizar a conversão de tensão, pelo fato de que a bateria convencional do veículo possui uma voltagem de 12V (volts) e o microcomputador Raspberry Pi trabalha com 5V (volts). Sendo assim, faz-se necessária a conversão de tensão da bateria de 12V para o Raspberry Pi de 5V ou vice-versa.

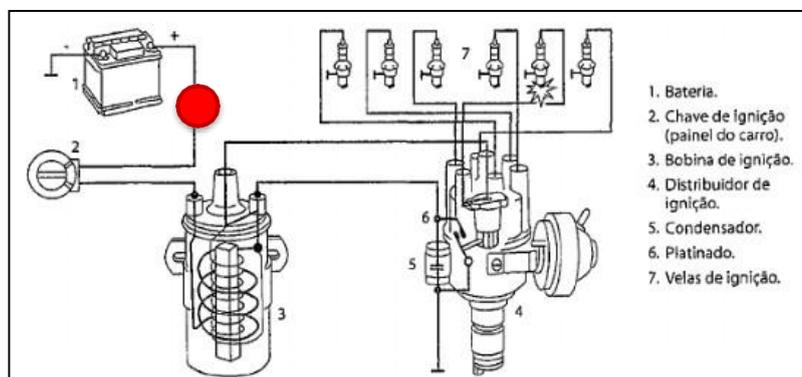


Figura 5 – Componentes de um sistema de ignição convencional.

Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

Ao girar a chave, se o rosto do condutor for reconhecido, é permitida a passagem de corrente vinda da bateria e o veículo liga normalmente. Caso não seja reconhecido, é bloqueada a passagem de corrente e o carro não liga. A autenticação é realizada em segundos, não afetando o sistema de ignição automotivo ou a partida do veículo.

Desenvolvimento do Projeto

O sistema foi desenvolvido utilizando Raspberry Pi 3 modelo B, juntamente com a linguagem de programação Python e biblioteca OpenCV, com uso da câmera

Raspberry Pi v2 8MP, protoboard de 480 furos, botões tácteis, buzzer e LEDs para indicação de status do sistema.

A utilização do Raspberry Pi deu-se pelo seu poder de processamento que é superior a outras placas, como o Arduino – que foi escolhido no início do projeto, porém, através de pesquisas, verificou-se que este não possuía poder de processamento suficiente e precisaria de um módulo externo para realizar o processamento –. A biblioteca OpenCV, foi utilizada por conter funções que realizam algumas das funcionalidades necessárias para o projeto sem muita complexidade. Já, a linguagem de programação Python, foi utilizada por ser uma linguagem simples, de fácil entendimento, por ser demasiadamente utilizada em projetos de visão computacional e por possuir demasiada documentação, auxiliando no desenvolvimento de projetos.

A aquisição das imagens é realizada a partir da câmera Raspberry Pi v2 – própria do Raspberry Pi, como declarado no site oficial do Raspberry Pi (2018). Essas imagens são adquiridas na resolução 1024 x 768 *pixels* e são convertidas em escala de cinza.

Nas imagens adquiridas não foram realizados esforços para que as faces ficassem alinhadas, as expressões faciais não foram constantes e o uso acessórios foram permitidos para que houvesse variância nas imagens adquiridas.

No processo de extração de características, uma representação digital do exemplar é obtida a partir da câmera. Essa representação pode ser denominada de atributo ou *template*. Estes, são armazenados num arquivo, que atua como o banco de dados, juntamente com seus respectivos identificadores.

Nessa fase, são utilizados os métodos Viola-Jones e *haar cascade* que, após localizar uma face, delimita com uma marcação colorida o espaço ocupado pelo rosto, expondo a face encontrada, como demonstrado na Figura 6.

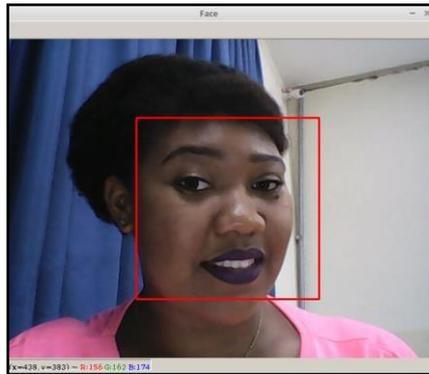


Figura 6 – Detecção da face. Fonte: Autores.

Após realizar a detecção e a delimitação da área onde a face se encontra, a aplicação extrai somente a parte onde localiza-se a face, converte esse fragmento da imagem para escala de cinza e armazena para posteriores comparações, como exemplificado na Figura 7.



Figura 7 – Fragmento de face extraído. Fonte: Autores.

No processo de registro, ocorre o cadastramento (*enrollment*) que obtém previamente os dados biométricos do indivíduo. Esse perfil biométrico obtido é armazenado em um arquivo de extensão YML. Esse arquivo, *trainer.yml*, opera como um banco de dados do sistema, pois nele são armazenadas todas as faces de cada usuário para posterior comparação.

O processo de comparação (*matching*) é responsável por verificar o grau de similaridade entre a imagem capturada na execução do sistema e a imagem armazenada anteriormente. Para isso, o sistema tenta localizar uma face no vídeo de entrada e realiza os processos de extração de características e processamento de imagens novamente e, caso o grau de similaridade for maior ou igual ao limiar – também denominado *threshold*, que é um limite pré-determinado –, o sistema valida o acesso do indivíduo e, caso contrário, o sistema recusa seu acesso.

Ao iniciar o sistema, os LEDs são acesos sequencialmente, um por vez, para indicar que o sistema já está pronto para utilização.

A Figura 8, apresenta o esquema do protótipo desenvolvido. Este, possui 3 botões tácteis para que o usuário possa interagir com o sistema e, também, 1 buzzer e 3 LEDs para indicação de status do sistema.

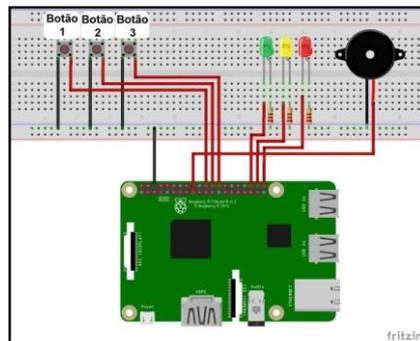


Figura 8 – Esquema do funcionamento elétrico. Fonte: Autores.

Ao pressionar o botão de cadastro, botão 1, o algoritmo *capture.py* é chamado. Por meio deste, o sistema acende o LED amarelo e inicia a detecção da face. As fotos são registradas toda vez que o sistema detecta uma face e, ao completar 30 fotos registradas, o LED verde acende para indicar que o cadastro foi realizado com sucesso. Caso houver insucesso na etapa de cadastro, o LED vermelho acende para indicação. Quando o sistema termina de registrar as 30 fotos, o algoritmo *trainer.py* é chamado e, por meio dele, o sistema monta o banco de dados das faces e salva no arquivo *trainer.yml* que funciona como um banco de dados para o sistema.

Ao pressionar o botão de reconhecimento, botão 2, o algoritmo *recognition.py* é chamado. Por meio desse algoritmo, o sistema acende o LED amarelo e inicia o reconhecimento facial. Se o rosto do condutor for reconhecido pelo sistema, é permitida a passagem de corrente e, assim, o LED verde acende e o *buzzer* é acionado emitindo um som contínuo para indicar que o veículo liga normalmente. Caso o sistema não reconheça o usuário, é bloqueada a passagem de corrente e o *buzzer* emite som pausadamente para indicar que o condutor não foi reconhecido e o carro não ligará.

Ao pressionar o botão de exclusão, botão 3, o sistema aguarda o usuário pressionar o botão de exclusão novamente. Caso o usuário pressione o botão

novamente, o LED verde acende para indicar que todas as faces cadastradas anteriormente foram excluídas com sucesso e, caso o usuário não pressione o botão de exclusão novamente, o sistema ignora o comando de exclusão.

A Figura 9 (da esquerda para a direita) demonstra o comportamento dos LEDs do sistema de segurança automotivo quando um novo usuário está sendo cadastrado, quando um usuário é autenticado e quando um usuário não é autenticado pelo sistema.

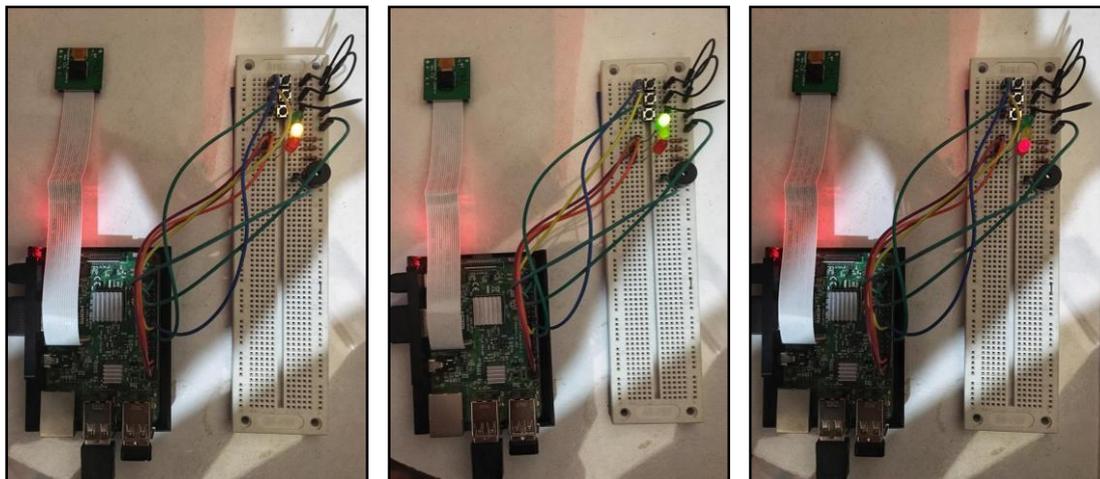


Figura 9 – Novo usuário sendo cadastrado, usuário autenticado e usuário não autenticado (da esquerda para a direita). **Fonte:** Autores.

Para verificar o desempenho do sistema, foram realizados testes aleatórios com os próprios autores em diferentes ambientes, com distâncias variadas em relação à câmera e níveis diversos de luminosidade. Em cinquenta testes, o sistema apontou dez vezes o FRR (*False Rejection Rate* – Taxa de Falsas Rejeições), que analisa a quantidade de vezes que um usuário autorizado a acessar o sistema, é rejeitado pelo mesmo. Porém, não foram obtidos valores para FAR (*False Acceptance Rate* – Taxa de Falsas Aceitações), que analisa a quantidade de vezes que o indivíduo não autorizado é falsamente aceito pelo sistema.

Devido à complexidade da implementação da aquisição e tratamento das imagens, não foi possível realizar testes com o protótipo instalado em um veículo. Porém, para testes no interior do automóvel, o protótipo estaria posicionado junto ao painel para estar mais próximo do condutor e para melhor aproveitamento do ângulo no momento de captura das imagens.

CONCLUSÕES

Sistemas de reconhecimento facial exigem que os algoritmos

Revista eSALENG – Revista eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO – Vol.8, n.2, 2019

implementados tenham capacidade para operar acatando os parâmetros mínimos exigidos por um sistema biométrico de faces, como: variações nas poses dos indivíduos, ruídos na imagem de entrada e diferentes níveis de luminosidade no ambiente.

O sistema de reconhecimento facial apresentado acata os parâmetros mínimos descritos no parágrafo acima, sendo viável para ser desenvolvido comercialmente. O processo de detecção de faces foi baseado no algoritmo Viola-Jones, o de extração de características baseado no LDA e o processo de reconhecimento facial utilizou como base o algoritmo LBPH. Ao final, o sistema de segurança automotivo baseado em reconhecimento facial pôde identificar os indivíduos com êxito.

A realização do projeto foi uma experiência desafiadora, a partir do momento em que o trabalho foi desenvolvido aproveitando-se de tecnologias ainda pouco conhecidas, porém, demasiadamente enriquecedora, pois possibilitou a aquisição e reflexão de extremos aprendizados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Diogo Lacerda de e MARINHEIRO, Fernando Henrique Horibe. **Biometria Facial**. Araçatuba, São Paulo, 2011. Dissertação (Dissertação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. UniSALESIANO. 2011.

ALMEIDA, Osvaldo Cesar Pinheiro de. **Técnicas de processamento de imagens para localização e reconhecimento de faces**. Dissertação (Dissertação em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – ICMC-USP. São Carlos. 2006.

ARAUJO, Gabriel Matos. **Algoritmo para reconhecimento de características faciais baseado em filtros de correlação**. Rio de Janeiro, RJ, 2010. Dissertação (Dissertação em mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. 2010.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Processamento de Imagens Digitais**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2000.

MARENGONI, Maurício e STRINGHINI, Denise. Tutorial: **Introdução à Visão Computacional usando OpenCV**. v. 16. 2009. Disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/rita/article/viewFile/rita_v16_n1_p125/7289> Acesso em: 3 nov. 2017.

NIKISINS, Olegs et al. Face Recognition System on Raspberry Pi. In International Conference on Information Processing and Control Engineering (ICIPCE), 2015.

OpenCV. **OpenCV modules**, 2018. Disponível em:

<<https://docs.opencv.org/3.4.4/>> Acesso em: 19 de fev. 2018.

PEREIRA, Cléber Bidegain e ALVIM, Marília Carvalho de Mello e. **Manual para estudos craniométricos e cranioscópicos**. Santa Maria, 1978.

PRESTES, Álvaro N. **Sistema de Reconhecimento de Impressões Digitais**. Rio de Janeiro, RJ, 2011. Dissertação (Programa de Engenharia de Sistemas e Computação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. 2011.

Raspberry Pi. **Camera Module**, 2018. Disponível em:

<<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/README.md>> Acesso em: 13 de jan. 2018.

SALTON, Kelvin. **Reconhecimento Facial: Como funciona o LBPH**. Updated Code, 2017. Disponível em:

<<https://updatedcode.wordpress.com/2017/11/26/reconhecimento-facial-como-funciona-o-lbph/>> Acesso em: 16 dez. 2017.

SANTANAS, Luciana M. Q. **Processo de detecção facial, utilizando Viola; Jones**. Aracaju, SE, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Sergipe. UFS. 2015.

Dispositivo Vestível Inteligente para Detecção de Quedas e Envio de Alertas em Tempo Real

Smart Wearable Device for Falls Detection and Real Time Alerts Sending

Jonathan Manoel Pessoa¹
Samuel Antonio Rodrigues Carbalan¹
Anderson Kanegae Soares Rocha²

RESUMO

O objetivo desta pesquisa consiste no desenvolvimento e apresentação de um dispositivo vestível inteligente microcontrolado para detecção de quedas e envio de alertas de emergência. Para isso, uma revisão bibliográfica foi realizada, a fim de encontrar componentes e métodos para desenvolver um protótipo. Como resultado temos um protótipo, com funções de detecção de quedas, envio de mensagens de alerta via SMS e notificações em tempo real. Os testes mostram a eficácia da solução, com uma taxa de acerto de 85% na detecção de quedas. Conclui-se que o protótipo apresentado atende ao objetivo proposto e representa uma solução simples e barata para o problema de quedas de pessoas idosas.

Palavras-Chave: Detecção de Queda, Dispositivo Vestível Inteligente, SMS, Notificações.

ABSTRACT

The goal of this research is the development and the presentation of a micro-controlled smart wearable device to falls detection and emergency alerts sending. For this, a bibliographic review was performed to find components and methods to develop a prototype. The result is a prototype with fall detection functions, SMS alerts sending and real-time notifications. Tests showed the solution effectiveness with a hit rate of 85% in falls detection. The conclusion is that the presented prototype satisfies the proposed goal and represents a simple and inexpensive solution to the problem of falls in the elderly people.

Keywords: Fall Detection, Notifications, Smart Wearable Device, SMS.

Introdução

As quedas, apesar dos inúmeros esforços preventivos, continuam sendo uma grande causa de mortalidade entre os idosos. As quedas geralmente levam a lesões graves, como fraturas ósseas, hospitalização e até a morte. Mesmo quando não ocorre lesão grave, o medo de cair novamente, restrições na mobilidade e funções motoras podem levar a uma perda de autonomia pessoal e que afeta

¹ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mails: jonathan.mpeessoa@hotmail.com e samuel.a.carbalan@gmail.com.

² Tecnólogo em desenvolvimento de sistemas pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium (UniSALESIANO), especialista em engenharia de componentes utilizando Java pelas Faculdades Integradas de Ourinhos (FIO), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e docente dos cursos de Engenharia da Computação, Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas e Tecnologia em Jogos Digitais do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: anderson.kanegae@gmail.com.

diretamente a qualidade de vida dos idosos (FERRETTI; LUNARDI; BRUSCHI, 2013).

Pessoas idosas passam grande parte do tempo em sua residência. Devido à familiaridade e segurança que este ambiente proporciona, ele pode se tornar um ambiente de risco. A pessoa idosa tem sua prontidão diminuída, que se deve a autoconfiança construída pela familiaridade e conhecimento que possui sobre o ambiente em que vive. Como as atividades desempenhadas em seu lar são costumeiras a atenção fica reduzida, aumentando a incidência dos acidentes que são causadores da redução da mobilidade ou da capacidade funcional (FERRETTI; LUNARDI; BRUSCHI, 2013). Assim sendo, “muitas situações que eram corriqueiras, em sua juventude, passam a se constituir em perigos iminentes” (FERRETTI; LUNARDI; BRUSCHI, 2013, p.62).

A detecção em tempo real de quedas permite a comunicação imediata desses eventos, para que a assistência médica possa ser fornecida rapidamente. Tal assistência é necessária para promover a sensação de segurança nos idosos, especialmente entre aqueles que vivem sozinhos, e para reduzir o medo de cair e o impacto negativo das quedas. As fraturas decorrentes de quedas são responsáveis por aproximadamente 70% das mortes acidentais em pessoas acima de 75 anos (FERRETTI; LUNARDI; BRUSCHI, 2013). Ainda nesse sentido, “idosos apresentam dez vezes mais hospitalizações e oito vezes mais mortes consequentes de quedas” (FERRETTI; LUNARDI; BRUSCHI, 2013, p.62).

Neste contexto, o estudo realizado neste artigo está relacionado à detecção em tempo real de quedas, com o intuito de reduzir as consequências decorrentes deste tipo de acidente e aumentar a sensação de segurança dos idosos em seu dia a dia. Com isso, surgiu à ideia do desenvolvimento de um Dispositivo Vestível Inteligente, para o monitoramento à distância de pessoas idosas, com capacidade de detectar quedas em tempo real e enviar alertas de emergência para os responsáveis pelo idoso. Apesar do fato deste dispositivo não prevenir a ocorrência da queda, acredita-se que com ele seja possível reduzir o tempo entre a queda e a assistência necessária ao idoso, a fim de reduzir as consequências da queda e melhorar a qualidade de vida destas pessoas.

Revisão Bibliográfica

Para a realização do sistema para detecção de quedas, uma revisão do estado da arte foi realizada. Dentre os trabalhos relacionados, alguns foram selecionados para discussão e comparação.

Existem várias abordagens que podem ser usadas para detecção de quedas, como detectores de som, de calor e a utilização de sensores como acelerômetro, magnetômetro e até câmeras, como realizado por OZCAN et al (2017). O estudo em questão utiliza uma câmera anexada ao corpo, então se houver uma mudança na orientação da câmera, pode-se concluir que a pessoa caiu. Essa pesquisa obteve resultados positivos, com uma taxa de sucesso de 86,66% na detecção de queda. No entanto, devido à utilização de uma câmera, esta solução pode ser vista como uma tecnologia invasiva, podendo levar a baixa aceitação pelos usuários. A aceitação do dispositivo de detecção de quedas é necessária para que o idoso se sinta confortável e seguro ao utilizá-lo.

Outro trabalho que utiliza de sensores de acelerômetro e giroscópio, presentes nos *smartphones* foi desenvolvido por RAKHMAN *et al.* (2014). Captando os dados destes sensores foi possível determinar, através de algoritmos específicos, a ocorrência de uma queda. Além de determinar vários tipos de movimentos realizados pelo usuário e a posição em que a pessoa se encontra. Os dados do sensor foram amostrados a partir de um usuário, que colocou o *smartphone* no peito esquerdo. O protótipo do sistema apresentou resultados promissores, obtendo uma precisão de 93,33% na detecção de quedas em 120 ensaios. Porém, a utilização de *smartphones* para o propósito de monitoramento e detecção de quedas pode não ser muito funcional, tendo em vista que o usuário muitas vezes pode não utilizar o aparelho no momento da queda. Além do incômodo causado por não ser um dispositivo vestível, o aparelho é geralmente retirado do corpo quando o usuário vai tomar banho ou dormir, deixando-o vulnerável nessas situações que possuem uma alta incidência de quedas.

Outro exemplo é o projeto WatchAlert (ALMEIDA, *et al.*, 2016). Esse projeto foi desenvolvido visando contribuir para o suporte na detecção de quedas, por meio do uso de sensores presentes em *smartwatches*, tais como acelerômetro, magnetômetro e microfone. Quando o aplicativo no *smartwatch* detecta algum problema com o usuário, ele imediatamente inicia uma comunicação com o

aplicativo no *smartphone* que envia um SMS de alerta para os contatos. Não foram apresentados dados sobre a eficiência da detecção de quedas, porém esse projeto apresenta uma boa solução para o problema de monitoramento de quedas. Porém, um ponto que pode ser encarado como um problema nesta solução é o uso do *smartwatch*. O *smartwatch*, diferente do *smartphone*, não é uma tecnologia muito difundida, mesmo hoje em dia. Além do que, dispositivos com tais sensores costumam ser caros, tornando-a uma solução cara.

Quando se fala de monitoramento de pessoas idosas o maior desafio é fazer com que o usuário se sinta o mais confortável possível com a tecnologia. É possível observar a partir do estudo de trabalhos anteriores que, algumas vezes estas tecnologias podem ser muito invasivas, podendo causar transtornos ao usuário e conseqüentemente reduzir a eficácia da solução. Ou se apresentam uma solução cara, se tornando inacessível a grande parte da população que necessita destes sistemas.

Componentes

Para o desenvolvimento do protótipo em questão, alguns componentes de *hardware* se fazem necessários. Estes componentes foram escolhidos devido a algumas características que apresentam, em relação ao objetivo de se desenvolver um Dispositivo Vestível Inteligente.

MPU6050 Acelerômetro e Giroscópio - Os dispositivos MPU6050 são os primeiros *Motion Tracking* do mundo projetados para os requisitos de baixo consumo de energia, baixo custo e alto desempenho de *smartphones*, *tablets* e sensores vestíveis. O MPU6050 combina um giroscópio de três eixos e um acelerômetro de três eixos na mesma matriz de silício, junto com um Processador Digital de Movimento Integrado (DMP), que processa complexos algoritmos *Motion Fusion* de seis eixos, oferecendo a precisão para a captura de movimentos que se faz necessária no projeto (INVENSENSE, 2013).

Os dispositivos MPU6050 podem ser usados em aplicações que vão desde monitoramento de saúde e condicionamento físico até serviços baseados em localização. Os principais requisitos para os dispositivos habilitados para *Motion Interface* são o tamanho pequeno do pacote, baixo consumo de energia, alta precisão e repetibilidade, alta tolerância a choques e programabilidade de

desempenho específica da aplicação, tudo a um baixo preço (INVENSENSE, 2013).

O MPU6050 pode ser facilmente integrado a outros dispositivos através de seus pinos SCL e SDA para a comunicação através do protocolo I2C.

ESP 01 - Para realizar as funções de controle do protótipo e integrar os componentes do circuito, o ESP 01 foi escolhido. O seu uso justifica-se pelo fato de oferecer um módulo WiFi, mais um microcontrolador programável em um único chip. O módulo possui internamente uma capacidade de processamento e armazenamento grande o suficiente para que seja integrado com sensores e outros dispositivos. Logo, o módulo oferece, além de um microcontrolador programável, um método de comunicação com a internet, possibilitando assim o envio do alerta de emergência via notificações para *smartphones*, como aquelas que recebemos de aplicativos.

Como o ESP 01, desenvolvido pela Espressif, fornece uma solução econômica para o mercado em rápido crescimento de projetos e dispositivos conectados à Internet (*Internet of Things*), ele se tornou uma das plataformas de desenvolvimento mais populares nos últimos anos. Em decorrência desta popularidade, uma comunidade dedicada se formou em torno da plataforma concentrada em melhorar suas funcionalidades, dentre elas a IDE do Arduino. Diferentes opções de *firmware* foram portadas para rodar no ESP 01, levando-o efetivamente de um simples adaptador serial WiFi, a um microcontrolador totalmente funcional, portado em um chip com pequenas dimensões (CALDAS, 2018).

GSM SIM800L - Para o envio do alerta via SMS, foi utilizado um módulo GSM SIM 800L. Como dito anteriormente, o alerta é enviado via notificações, através da Internet. Porém, para garantir que os responsáveis pelo monitoramento recebam o alerta em caso de quedas e assim aumentar a eficiência da solução, foi idealizado o envio do alerta também via SMS, oferecendo uma maior garantia que os contatos recebam o alerta. Para isso, é necessário um componente para executar esta função, que neste caso se deu por um módulo GSM.

O módulo escolhido para essa função foi o GSM SIM 800L. O módulo GSM SIM 800L com suporte Quad Band 850/900/1800, pode transmitir SMS, voz e informação de dados com baixo consumo de energia. Para este projeto apenas utilizou-se a função de SMS. Com tamanho pequeno, pode ser utilizado em

aplicações que exigem pouco espaço e incorporadas com outros dispositivos para o controle de SMS, transferência de dados, alertas, sensores, etc (SIMCOM, 2013).

Bateria de Polímero de Lítio - Diversos tipos de baterias foram considerados para este projeto. A escolha se deu pelas baterias de Polímero de Íons de Lítio ou Polímero de Lítio (LiPo). As baterias de LiPo, apesar de não ser das mais baratas no mercado, é uma das baterias com maior aceitação na relação qualidade/preço, tendo uma grande profundidade de descarga e a capacidade de fornecer grandes correntes e variados níveis de tensão, bastando para isso jogar com a disposição das células, e a sua capacidade quase infinita de cargas e descargas (RODRIGUES, 2018).

O modelo escolhido foi uma bateria de Polímero de Lítio de uma célula. Cada célula fornece 3,7V nominais a 1800mAh e vem com um conector JST-PHR2 de 2 pinos e 2 milímetros de espaçamento entre eles. A escolha desta bateria se deve principalmente ao fato do módulo GMS SIM 800L consumir uma corrente de 2A de pico para as transmissões, além de oferecer uma tensão adequada para o sistema.

Módulo Carregador de Baterias de Lítio - As baterias de LiPo exigem rigorosos e extremamente controlados planos de carga, uma vez que uma falha pode levar à destruição da bateria ou causar danos em materiais que estejam perto (RODRIGUES, 2018). Com isso, foi adquirido um Módulo de Carregamento para Baterias de Lítio.

Com LED indicador de carga e fácil conexão por cabo micro USB, o Módulo em questão possibilita que as baterias sejam recarregadas sem a necessidade de removê-las do circuito, onde se pode usufruir da facilidade de recarga no próprio protótipo.

Circuito Elétrico

Os componentes citados anteriormente foram conectados a uma *protoboard* de 400 furos, para que fosse possível aproveitar as suas conexões e proporcionar uma melhor organização das entradas e saídas. As conexões elétricas foram feitas seguindo as recomendações dos fabricantes, fornecidas através do *Datasheet* de cada componente. A Figura 1 apresenta o esquema elétrico que foi desenvolvido na plataforma Fritzing. Vale ressaltar que a bateria utilizada no projeto foi uma LiPo

utilizando a IDE do Arduino, facilitando o desenvolvimento com o uso de diversas bibliotecas já conhecidas.

Algoritmo de Detecção de Quedas - O algoritmo desenvolvido neste projeto baseia-se no conceito de que, durante uma queda, uma pessoa experimenta uma queda livre momentânea ou uma redução na aceleração, seguida por um grande pico de aceleração, depois por uma mudança na orientação. A Figura 2 mostra um fluxograma do algoritmo.

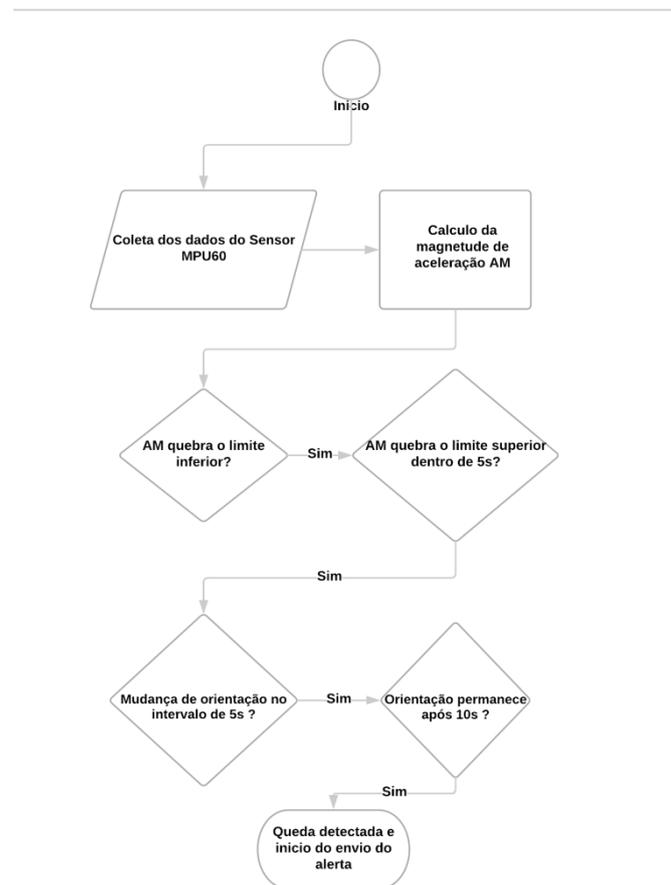


Figura 2 - Fluxograma do algoritmo. Fonte: Autores.

Pode-se ver o algoritmo verificando se a magnitude da aceleração (AM) quebra um limite inferior definido. Sendo este limite inferior quebrado, o algoritmo verificará se o AM quebra um limite superior, definido em 0,5s. Quando este limite superior for quebrado, o algoritmo verificará se a orientação da pessoa foi alterada em um intervalo definido de 0,5s, o que indicaria que uma pessoa caiu ou tombou. Caso a orientação da pessoa tenha mudado, o algoritmo então examina para ver se esta orientação permanece após 10s, o que indicaria que a pessoa está

imobilizada em sua posição caída ao chão. Sendo isso verdade, o algoritmo reconhece isto como uma queda. Uma falha de qualquer uma das condições intermediárias de decisão redefine os gatilhos e envia de volta ao início.

Alerta - Caso uma queda seja detectada, entra-se na fase de envio do alerta. A maior preocupação neste momento foi garantir a entrega da mensagem para os responsáveis pelo monitoramento. Para isso, foram implementados dois métodos, tanto via SMS para os números dos contatos, quanto via notificação pela internet. A Figura 3 ilustra o momento em que é recebido o alerta em um *smartphone*.

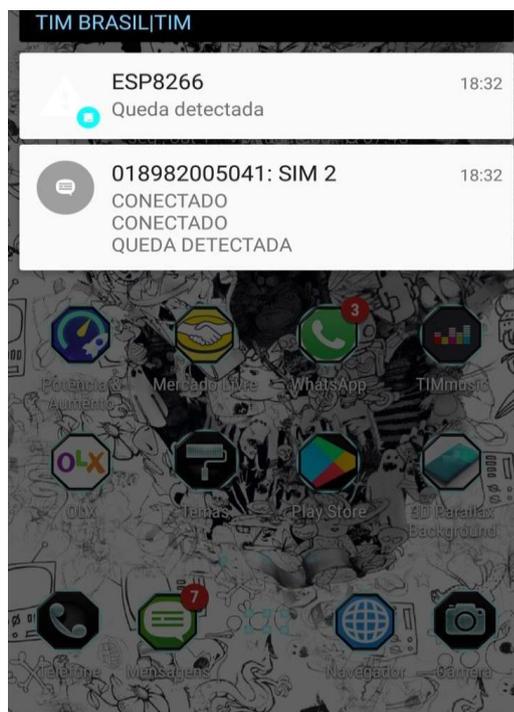


Figura 3 - Notificação de alerta. Fonte: Autores.

A mensagem por SMS é enviada através do GSM SIM 800L, para os números definidos na memória do protótipo. Para isto, o sistema tem a necessidade do uso de um cartão SIM com suporte para envio de SMS para funcionar.

A comunicação do ESP 01 com o GSM SIM 800L é feita através da comunicação pelo serial RX/TX e o envio da mensagem por comandos AT. Com isso, foi definida uma função para o envio do SMS, onde é definido o número ao qual será enviada a mensagem e a rotina de envio dos comandos AT para o controle do módulo.

O envio pela internet é via notificações através do módulo WiFi ESP 01. A notificação é enviada para um aplicativo para celulares Android previamente

instalado, chamado ESP Notify. Com este aplicativo é possível receber notificações a partir do ESP 01. Usando a biblioteca Arduino fornecida pelo aplicativo, possibilitou-se enviar notificações para telefones Android. O aplicativo pode ser facilmente adquirido gratuitamente pela loja de aplicativos do Google Play.

O aplicativo ESP Notify e sua biblioteca Arduino correspondente permitem com facilidade o envio notificações de qualquer plataforma ESP 8266, como o ESP 01, além de outros compatíveis com Arduino baseados no ESP 8266. A Figura 4 ilustra o aplicativo.

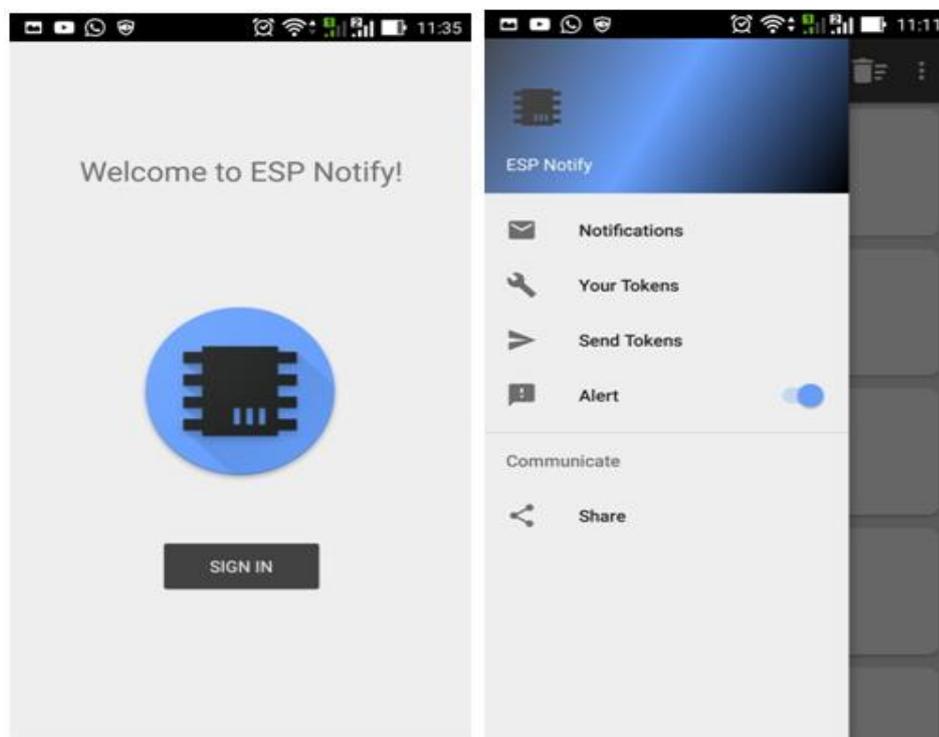


Figura 4 - Aplicativo ESP Notify. Fonte: Autores.

Design

O objetivo principal deste projeto é o desenvolvimento de um Dispositivo Vestível. Logo, o design do protótipo foi desenvolvido para tal propósito. Tecnologias vestíveis são tecnologias feitas para serem usadas em alguma parte do corpo. Com isso, para este projeto desenvolveu-se um protótipo de um dispositivo para ser utilizado no braço do usuário, como uma braçadeira. Esta braçadeira consiste em um case, para proteger o circuito, anexado a uma braçadeira esportiva, que foi modificada para isso.

Case - O Case foi desenhado em 3D para ser impresso em uma Impressora 3D, com intenção de melhor dispor o circuito e proteger os componentes. O Case consiste em duas partes que se encaixam, como é possível observar na Figura 5. Estes encaixes fixam as duas partes, mas para dar maior fixação foi produzido um furo onde é possível colocar um parafuso de 3mm (milímetros). O Case oferece também um encaixe e uma entrada para o micro USB do módulo de recarga e também um encaixe para um botão liga e desliga. A Figura 5 ilustra o protótipo.

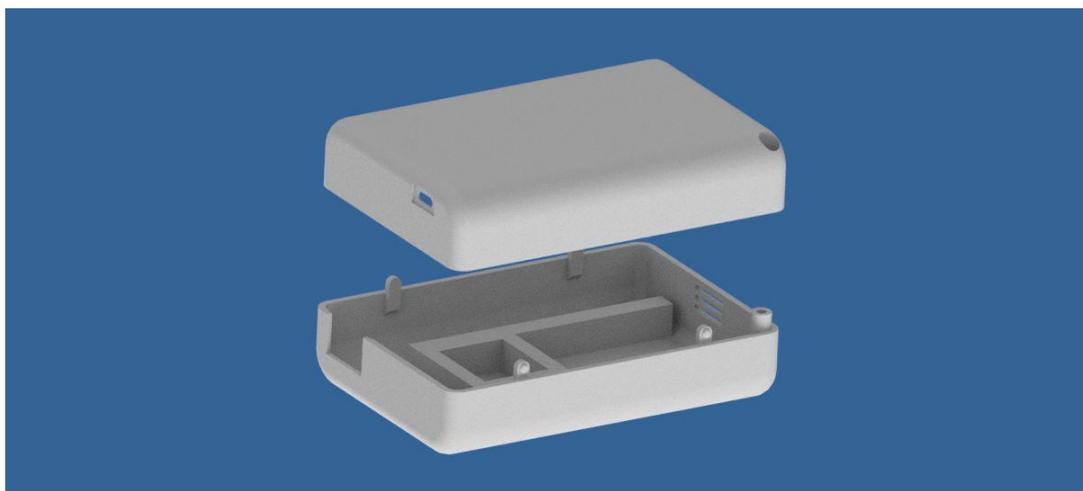


Figura 5 - Desenho do *case* 3D. Fonte: Autores.

Braçadeira - Com o intuito de dar a vestibilidade necessária a este projeto, uma braçadeira foi adquirida e modificada para anexar o Case. Esta braçadeira conta com um ajuste, para melhor se adequar ao braço do usuário, e a fixação acontece através de um velcro. A modificação é feita com a retirada da parte plástica para a fixação do Case.

Protótipo

Com o decorrer do projeto, um protótipo de Dispositivo Vestível Inteligente foi desenvolvido. Este protótipo detecta a ocorrência de uma queda em tempo real e envia alertas de emergência, via SMS e Notificações. O protótipo oferece também uma bateria com opção de recarga via micro USB. A Figura 6 ilustra o protótipo.

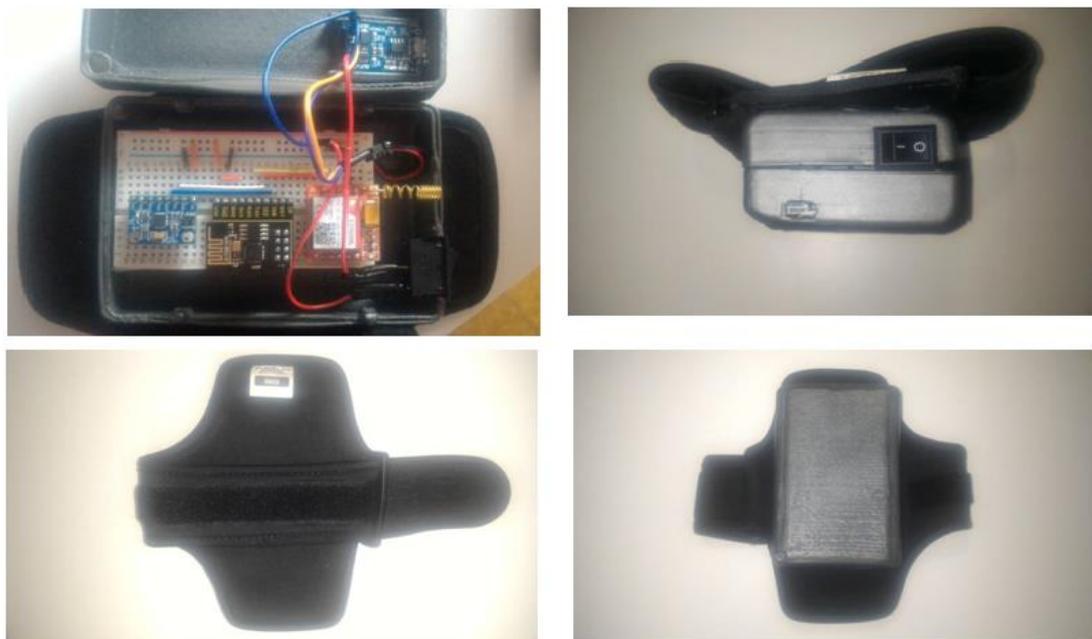


Figura 6 - Protótipo final. Fonte: Os autores.

A fim de se verificar o funcionamento do protótipo proposto, realizaram-se alguns testes, avaliando o sistema como um todo. A validação do mesmo é realizada pela coleta dos dados obtidos durante os testes, sobre as quais foi submetido, e pela comparação dos resultados com aquilo que se espera que o sistema realize.

Deteccção de Queda - Os primeiros testes se dão em torno da capacidade que o sistema tem de detectar quedas. Para isso, realizaram-se ensaios, onde foram simuladas quedas em um colchão, para não causar lesões ao usuário no momento dos ensaios. Vale mencionar que as simulações de quedas foram realizadas pelos autores do trabalho. Foram realizadas 20 simulações de quedas e, dos 20 ensaios realizados, 17 quedas foram detectadas e 3 não foram detectadas, dando ao sistema uma taxa de acerto de 85% na deteção de quedas. Como o algoritmo é baseado em limiares, para se detectar uma queda, os mesmos devem ser quebrados. Um dos limiares observa a mudança de orientação do usuário que, em alguns tipos de quedas, observou-se não ter havido a quebra destes limiares.

Alerta - Como já citado nas seções anteriores, o alerta, em caso de deteção de quedas, é realizado através de dois métodos, tanto via SMS quanto via Notificações. Em todos os ensaios onde ocorreu uma queda, a mensagem foi enviada e recebida com sucesso, por ambos os métodos de envio. A mensagem pela

internet, via notificação, foi recebida no momento em que ocorreu a queda, quase que instantaneamente. Já a mensagem via SMS chegou cerca de 5 segundos depois. Isso se deve ao fato da velocidade da transmissão pela rede de Internet ser demasiadamente mais rápida via rede GSM. Porém, este fato não implica na eficiência da solução.

Bateria - Não foi possível verificar o tempo exato de descarga da bateria do protótipo, a fim de atestar a autonomia média do sistema. No entanto, com os dados do consumo máximo dos componentes do sistema, foi possível calcular a autonomia. Para isso, calculou-se quantos mAh (Miliamperes) de carga esgotariam a bateria em 1 hora. Neste caso, a bateria utilizada fornece 1800mAh, e o sistema consome um total de 571mAh, com a soma de corrente máxima de todos os componentes. Com isso foi possível atestar que a bateria descarrega em aproximadamente 3 horas e 15 minutos, ininterruptos de funcionamento. Como os valores para o cálculo são valores máximos, vale ressaltar que este tempo pode variar.

Custo - Também foi realizada uma tabela com os valores dos componentes utilizados (Quadro 1), para o desenvolvimento do sistema, a fim de avaliar o custo/benefício da solução. Vale ressaltar que alguns componentes não foram agregados ao custo, pois podem ser utilizados outros meios para a mesma função. Assim, apenas foram considerados os componentes essenciais do sistema. Também vale mencionar que os componentes podem apresentar valores muito menores em outras lojas ou se comprados em grandes lotes.

Quadro 1 - Valor de custo do protótipo.

COMPONENTE	VALOR R\$
MPU 6050	25
ESP 01 e Adaptador	40
SIM 800L e Cartão SIM	55
Case	40
Bateria e Módulo de Recarga	57
Protoboard	4
Botão liga/desliga	9

TOTAL	230
--------------	------------

Fonte: Autores

Considerações Finais

O modelo de Dispositivo Vestível Inteligente desenvolvido neste trabalho representa uma possível solução para diminuir as consequências decorrentes de uma queda em pessoas idosas, visto que o dispositivo pode garantir aos responsáveis pelo monitoramento do idoso a percepção do acidente no instante em que este ocorre, possibilitando, assim, tomar as providências necessárias para promover um socorro imediato.

A capacidade do sistema em alertar a ocorrência de uma queda remotamente, via mensagens SMS e notificações, proporciona ao idoso uma maior liberdade para que ele desenvolva suas atividades diárias e com uma menor preocupação com possíveis acidentes que possam ocorrer, também diminuindo a preocupação daqueles que são responsáveis pelo monitoramento destas pessoas.

Outro ponto relevante é o fato de a bateria utilizada no protótipo ter se mostrado capaz de garantir a autonomia do sistema durante um período de tempo consideravelmente longo, tendo como base as 3 horas em que o sistema foi submetido à condição de descarga, o que dá liberdade à realização das atividades do dia a dia com menor preocupação. Também, o protótipo oferece a opção de recarga no próprio dispositivo, bastando plugar um carregador micro USB com fonte máxima de 5V.

Por mais que o sistema não tenha sido testado com usuários finais, observando a aceitação do dispositivo, concluiu-se que o sistema apresentado atende aos objetivos propostos e representa uma solução simples, prática e barata para o problema que atinge grande parte da população idosa, conseqüentemente podendo melhorar a qualidade de vida destas pessoas.

Melhorias Futuras

Como forma de prosseguimento da pesquisa desenvolvida neste trabalho, sugere-se as seguintes propostas:

- Implementar um aplicativo autoral para o recebimento de alertas via notificações em *smartphones*;

- Aperfeiçoar o algoritmo para detecção de quedas para oferecer também, por exemplo, a detecção postural, e melhorar a taxa de acerto na detecção;
- Implementar outros meios de envio de alertas, como ligações, tendo em vista que o módulo utilizado oferece esta opção;
- Implementar outros sensores, a fim de detectar uma diversidade maior de problemas de saúde, a exemplo de sensores de batimentos cardíacos e pressão arterial;
- Reduzir o tamanho do dispositivo.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Rodrigo L. A. et al. **WatchAlert: Uma evolução do aplicativo fAlert para detecção de quedas em smartwatches**. In: WORKSHOP DE FERRAMENTAS E APLICAÇÕES - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS MULTIMÍDIA E WEB (WEBMEDIA), 2016, Teresina. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. p. 124-127. ISSN 2596-1683.

CALDAS. Matheus Machado de Mello Pereira. **CONTROLANDO DISPOSITIVOS REMOTAMENTE COM O MICRO CONTROLADOR NODEMCU**. 2018. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/34305/34305.PDF>>. Acessado em: 02 set. 2018.

FERRETTI, Fatima; LUNARDI, Diany; BRUSCHI, Larissa. **Causas e consequências de quedas de idosos em domicílio**. *Fisioterapia em Movimento*, Curitiba, v. 26, n. 4, p. 753-762, Dec. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-51502013000400005>. Acesso em: 18 Mar. 2018.

INVENSENSE, Inc. **MPU-6000 and MPU-6050, Product Specification Revision 3.4, 2013**. Disponível em: <<https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/robocore-lobjovirtual/974/MPU-6000-Datasheet1.pdf>>. Acessado em: 02 Set. 2018.

OZCAN, Koray; VELIPASALAR, Senem; VARSHNEY, Pramod K. **Autonomous Fall Detection With Wearable Cameras by Using Relative Entropy Distance Measure**. *IEEE Trans. Human-Machine Systems*, v. 47, n. 1, p. 31-39, 2017.

RAKHMAN, Arkham Zahri *et al.* **Fall detection system using accelerometer and gyroscope based on smartphone.** In: Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014 1st International Conference on. IEEE, 2014. p. 99-104.

RODRIGUES, João Pedro Quintas. **Gestão inteligente da carga das baterias de um robô futebolista.** Universidade do Minho, 2011. Disponível em: <<http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/50073.pdf>>. Acessado em: 02 Set. 2018.

SIMCOM. **SIM800L_Hardware_Design_V1.00.** Disponível em: <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf>. Acessado em: 02 Set. 2018.

Uma Solução utilizando a Rede LoRa para Geolocalização de Cães e Gatos

A Solution using the LoRa Network to Geolocate Cats and Dogs

Israel José Mameli¹
Jean Carlos de Carvalho Gentil¹
Rosane Damaceno Rodrigues¹
Anderson Kanegae Soares Rocha²

RESUMO

Com o aumento da popularidade de animais de estimação e o aumento significativo de incidentes de desaparecimento deles, é notável a movimentação nas redes sociais por conta do desaparecimento de cães ou gatos. Estes incidentes provocam danos emocionais e financeiros para muitas pessoas, e a frequência destes cresce a cada dia. Nesse contexto, este projeto utiliza recursos de geolocalização para localizar em tempo real animais de estimação, de forma prática e rápida. Para viabilizar esse projeto foi desenvolvida uma aplicação a ser acessada de dispositivos móveis, que possibilita a sincronização com uma coleira acoplada a um microcontrolador embarcado.

Palavras-Chave: Animais de Estimação, Aplicativo, Geolocalização, LoRa.

ABSTRACT

The growing popularity of pets has also increased the number of incidents related to them, which sheds light on remarkable mobilizations on social media, such as when a dog or a cat goes missing. This kind of incident, which is getting more common by the day, often lead to emotional distress and financial losses. With this context in mind, this project uses geolocation capabilities to easily and quickly track pets in real time. To make this project possible, a mobile device application was developed, which allows for the synchronization with an embedded microcontroller attached to a pet's collar.

Keywords: Application, Geolocation, LoRa, Pets.

Introdução

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2018, o Brasil possui cerca de 54 milhões de cães e 23 milhões de gatos. Além disso, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET, 2019), o Brasil é o 3º país do mundo que mais fatura com o mercado de animais de estimação: é estimado para 2020 um faturamento de R\$20 bilhões. Apesar da crise econômica instaurada no Brasil a alguns anos, o mercado de

¹ Acadêmicos do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba.

² Tecnólogo em desenvolvimento de sistemas pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium (UniSALESIANO), especialista em engenharia de componentes utilizando Java pelas Faculdades Integradas de Ourinhos (FIO), mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e docente dos cursos de Engenharia da Computação, Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas e Tecnologia em Jogos Digitais do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: anderson.kanegae@gmail.com.

animais de estimação teve um crescimento relevante no mesmo período, chegando a 7% ao ano, demonstrando que a população brasileira, a cada dia, se importa e investe mais nos cuidados e precauções com seus cães e gatos (ABCASA, 2019).

Nesse contexto, o objetivo principal do projeto em questão, é disponibilizar aos donos de animais de estimação, uma maneira prática para prevenir ou remediar incidentes como perda ou até mesmo furto dos mesmos. Sendo assim, servindo como medida cautelar e passando a ser um acessório fundamental no dia a dia. De forma a tentar sanar parcialmente esses incidentes, trazendo benefícios tanto para os animais de estimação quanto para seus donos.

A solução se apresenta no formato de um protótipo composto por 3 partes: um aparelho de rastreamento localizado na coleira do animal de estimação, um aplicativo para dispositivos móveis e um dispositivo central responsável pela comunicação dos dados entre a coleira e uma plataforma em nuvem que fornece os dados para o aplicativo. O aparelho de rastreamento presente na coleira, é responsável por capturar a geolocalização dos animais de estimação e enviar os resultados para o dispositivo central, através de uma rede de rádio frequência (LoRa), que realiza a leitura dos dados obtidos e os envia para a plataforma em nuvem, permitindo ao aplicativo disponibilizar as informações de geolocalização da coleira. A solução possui um raio de alcance determinado pela capacidade do dispositivo central, tal como a distância entre o mesmo e o aparelho de rastreamento localizado na coleira.

Revisão Bibliográfica

Corporações como Cisco, Oracle e IBM desenvolvem diversas tecnologias aplicadas ao mundo da Internet das Coisas, partindo da ideia de permitir a conexão de inúmeros produtos a Internet. Nesse contexto, foi desenvolvida a tecnologia base da solução em questão: LoRa (*Long Range*), traduzida como longa distância. Lançada em 2015, opera por meio da modulação espectral CHIRP (CSS) e utiliza a tecnologia de rádio frequência sem fio. Contando com um baixo consumo de energia e disponibilizando um longo alcance, acredita-se que a tecnologia LoRa possa resolver múltiplos problemas que o universo da Internet das Coisas enfrenta, como, por exemplo: o gerenciamento de energia, redução dos recursos naturais, controle de poluição, eficiência em infraestrutura, previsão de desastres, entre outros (Semtech,

2019).

Tecnologia LoRa e LoRaWan

LoRa é a denominação utilizada para a camada física da rede, LoRaWan é o nome utilizado para a camada lógica da rede, ou seja, é a arquitetura do sistema, os parâmetros de comunicação que utilizam a tecnologia LoRa.

A empresa Semtech é responsável pela patente da tecnologia em questão, entretanto, um grupo de empresas como a IBM, Cisco, Orange e Flash1net são patrocinadoras do grupo LoRa Alliance (LoRa Alliance, 2019a), uma associação sem fins lucrativos e com o intuito de, por meio da tecnologia LoRa, com especificações da LoRaWan, padronizar esta tecnologia.

A LoRaWan é um protocolo de comunicação que utiliza a LPWAN de baixa potência. Projetado para conectar sem fio as coisas operadas por bateria à Internet em redes regionais, nacionais ou globais. O protocolo LoRaWan aproveita o espectro de radiofrequências não licenciado na banda Industrial, Científica e Médica (ISM) (COSSINI, 2019).

Em todo continente americano, a faixa de frequência utilizada vai de 902 a 928 MHz. Sendo que, são frequências que não precisam de autorização para serem utilizadas no Brasil.

Quadro 1 - Comparação entre as tecnologias Sigfox e LoRa.

	Sigfox	LoRaWan
Espectro Licenciado	Não	Não
Modulação	UNB/GFSK/BPSK	SS CHIRP
Largura de Banda do receptor	100 Hz	50 -125 KHz
Taxa de dados	100 bps 12 bytes Max.	290 bps - 50 Kbps
Número máximo de mensagens por dia	140	Ilimitado
Duração da bateria	20	9 anos
Cobertura de uma ERB	raio de 1 mil km	centenas de km ²

Fonte: Adaptado de Teleco Inteligência em Telecomunicações (2019).

Similar a tecnologia LoraWan, a Sigfox é uma empresa voltada para prover conectividade global para a Internet das Coisas. De acordo com a Teleco Inteligência em Telecomunicações (2019), uma empresa francesa, fundada em 2009, a sua rede no Brasil vem sendo implantada desde setembro de 2017, onde já atende uma população de 80 milhões de pessoas em 100 municípios.

Apesar da semelhança entre as tecnologias, o Quadro 1 apresenta comparações fundamentais para a escolha da LoRaWan para o desenvolvimento do protótipo deste trabalho, como a capacidade de taxa de transmissão e a limitação de mensagens por dia. Sendo assim o LoRa se apresenta mais funcional para tal utilização.

As frequências utilizadas por essas tecnologias no Brasil são padronizadas pela Anatel, no qual permite que essas tecnologias trabalhem nas faixas de frequência: 902-907,5; 915-928; 2400-2483,5; 5725-5850 Mhz.

Como a rede LoRa trabalha com modulação CSS, *CHIRP Spread Spectrum*, estão disponíveis alguns comandos para customização como o Fator de Espalhamento (SF) que atua diretamente na quantidade de bits enviados, na velocidade, sua resistência ao ruído e no alcance do sinal.

A arquitetura da rede LoRa pode ser dividida em 4 objetos: os módulos, que são os sensores (elementos básicos da rede); *gateways*, esses são os receptores dos sinais dos módulos e encaminha para a rede; servidores da rede, que são responsáveis de receber essas informações e enviá-las para o último objeto, que seriam as aplicações (BARTKEVICIUS, 2019).

Metodologia e Etapa Experimental

Android

O aplicativo para dispositivos móveis que integra esse trabalho, foi desenvolvido para o sistema operacional Android devido a disponibilidade e a popularidade do mesmo.

Atualmente desenvolvido pela empresa de tecnologia Google, o Android é um dos sistemas operacionais para dispositivos móveis mais usados no mundo. Em uma pesquisa realizada em 2013 pela Google, conclui-se que esse sistema

operacional abrange 71% dos programadores para sistemas moveis. Além disso, em 2014, a empresa registrou mais de 1 bilhão de usuários ativos (MONTEIRO, 2016).

GPS

O GPS (*Global Positioning System*) é um instrumento de posicionamento por satélite, que permite ao aparelho receptor a sua localização. Sua operação consiste na comunicação com uma rede de satélites que orbitam a Terra.

A sua utilização tem se tornado cada vez mais vantajosa e prática para os usuários e desenvolvedores de aplicações, uma vez que diversos equipamentos populares como celulares e relógios de baixo custo vem se integrando a esse instrumento para prover serviços de geolocalização (VIEIRA, 2019). Sendo assim, essa tecnologia vai de encontro aos propósitos deste trabalho.

Firestore Realtime Database

O Firestore é outro produto desenvolvido pela Google, que consiste em uma plataforma consolidada para o desenvolvimento de dispositivos móveis. O *Firestore Realtime Database* é um dos serviços desta plataforma que disponibiliza um banco de dados NoSQL e fornece aos desenvolvedores de aplicativos uma API para que os dados de aplicativos sejam sincronizados entre os clientes e armazenados na nuvem (Firestore, 2019).

A integração do Firestore com *Android* é uma tarefa relativamente simples devido a ambos os produtos serem desenvolvidos pela mesma empresa, mas ainda são disponibilizadas bibliotecas de integração com *iOS*, *JavaScript*, *Java*, *Objective-C*, dentre outras (Firestore, 2019). Sendo assim, o Firestore foi outra tecnologia adotada para compor a solução desse trabalho.

React Native

O *React Native* é um *framework* que viabiliza o desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis, utilizando-se principalmente do *JavaScript*. Esse *framework* oferece um diferencial em relação a outras tecnologias para desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis no quesito produtividade pois uma única base de código pode ser convertida para a linguagem de programação nativa dos sistemas operacionais, seja Android ou iOS.

Diferente de outros *frameworks* com propostas similares, que apenas abrem uma página Web simulando um aplicativo, o *React Native* gera uma aplicação nativa, oferecendo assim um melhor desempenho e melhor compatibilidade com o próprio sistema operacional em que está sendo executado. Sendo assim, optou-se por utilizar esse *framework* no desenvolvimento do aplicativo que integra esse trabalho.

Quadro 2 - Comparação entre ESP 32 com e sem tecnologia LoRa.

	ESP 32	ESP 32 LoRa
Preço:	R\$ 109,90	R\$ 150
Consumo Operação WiFi 13 a 21 DBM:	160 a 260 mAh	115 a 135 mAh
Consumo Operação LoRa:	-	50 a 130 mAh
Consumo Baixa Operação (<i>Deep Sleep</i>):	0,15 mAh	800uA
Módulo GPS:	Não	Não
Necessidade de chip GSM para localização:	Sim	Não
Necessidade de plano operadora do chip:	Sim	Não
Dimensões:	64 x 27,5 x 5,5 mm	50,2 x 25,5 x 9,74 mm

Fonte: Adaptado dos dados da Semtech (2019).

Quadro 3 - Cotação dos materiais.

Cotação (junho de 2019)	
ESP 32 LoRa V2:	R\$ 150,00
Baterias:	R\$ 31,00
Modulo GPS:	R\$ 100,00
Resistor:	R\$ 0,40
Botão:	R\$ 2,00
Fios:	R\$ 12,90
Tubo termo retrátil (M):	R\$ 7,99
Conector micro SH 1,25:	R\$ 45,80

Fonte: Autores.

Hardware

Para o desenvolvimento do protótipo de *hardware* da solução apresentada nesse trabalho, foram consideradas e comparadas algumas características de

componentes eletrônicos como apresentado no Quadro 2. Além disso, após identificadas as opções mais adequadas, foi realizada a cotação média desses componentes (Quadro 3).

O **ESP 32 LoRa V2** foi selecionado por ser o menor dispositivo encontrado com chip LoRa integrado e *display*, necessário para os testes. O **Modulo GPS** foi selecionado devido ao seu tamanho diminuto aliado a um menor consumo de energia, requisito considerado importante para melhor autonomia energética do protótipo. A **Bateria** selecionada foi a de lítio pela maior segurança oferecida em relação aos outros tipos.

Resultados e Análise

Aplicativo

Para a construção do aplicativo foi utilizado o *framework React Native*. Esse *framework* utiliza a linguagem *JavaScript* para construir aplicações *mobile* multiplataformas, ou seja, com um único código se obtém uma aplicação *mobile* Android e iOS. No entanto, para fins de demonstração foi utilizada apenas a aplicação Android.



Figura 1 – Tela do aplicativo, zona de alcance. **Fonte:** Autores.

Para a retaguarda da aplicação foi utilizado o Firebase, um *BaaS (Backend as a Service)*, ou seja, uma retaguarda como serviço, pago de acordo com o uso ou consumo da aplicação. Como o foco do protótipo não é a retaguarda, optou-se por simplificar essa parte como o uso dessa tecnologia, uma vez que a mesma possui uma generosa franquia de uso gratuito e mais do que suficiente para a realização dos testes. Além disso, a escolha pelo *Firebase* também se deu devido ao fato de o mesmo conseguir ser integrado ao ESP 32 e ao *React Native*.

O *framework React Native* fornece funções e bibliotecas suficientes para a execução do projeto. Utilizando-se da biblioteca *React Native Maps* foi possível ter acesso ao mapa. Como no caso da aplicação de demonstração foi utilizando o *Android*, logo, foi utilizado também o mapa do *Google*. A biblioteca *Native Base* foi utilizada para a incorporação do componente FAB (*Floating Action Button*) que é utilizado sobreposto ao mapa para o usuário ter acesso ao menu e também para demarcar a localização de sua casa para que o aplicativo gere o raio de alcance aproximado do *LoRa*. Foi utilizada também a biblioteca *React Navigation*,

responsável pelo controle da navegação entre as telas da aplicação. A biblioteca *Firebase* foi a responsável pelo controle das conexões com o banco de dados. Já as bibliotecas *React* e *React Native* são as principais por possuírem os componentes essenciais para o funcionamento e geração de toda a aplicação. O resultado pode ser observado na Figura 1.

Protótipo

Coleira: No intuito de melhorar a flexibilidade da coleira, as peças utilizadas no protótipo foram divididas em três partes diferentes interligadas. A parte central é onde se localizada a placa ESP 32, onde acontecem todos os comandos do *hardware* do projeto, incluindo o envio de dados para o *gateway*, base fixa em algum local. A esquerda da parte principal está localizada a *case* onde o módulo GPS se encontra. É através dos comandos recebidos desse módulo que o *hardware* central realiza as comunicações com satélites para assim obter a localização. Nesta peça não é gravada nenhuma informação, ela apenas realiza a leitura dos dados e os envia para a parte central. A direita da parte central está localizada a bateria do protótipo. Essa bateria é responsável por toda a alimentação elétrica da coleira. O resultado pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 – Protótipo final da coleira. Fonte: Autores.

Gateway: É composto por um segundo ESP 32 e um botão, localizado em um lugar fixo e conectado a uma tomada. No momento em que se conecta esse

chão e foi obtida uma distância máxima aproximada de 500 metros, como pode ser observado no mapa apresentado na Figura 3. Convém considerar que a altura em que se encontrava o *gateway* corresponde aproximadamente a altura da copa das árvores.

Conclusões

No decorrer deste artigo foi apresentada a possibilidade de utilizar o recurso de geolocalização incorporado à Internet das Coisas. Para implementar este cenário foi escolhida uma tecnologia de rede de área ampla de baixa potência, o LoRa, combinada com modulação GPS tradicional. Por meio desta rede foi possível a transmissão dos dados de latitude e longitude e por meio de uma aplicação para dispositivos móveis foi possível exibir a localização do dispositivo móvel, da coleira e do protótipo receptor (*gateway*).

A escolha do *framework React Native*, se justificou por ser uma plataforma atual e escalável que permite, com o mesmo código fonte, a expansão da solução apresenta para múltiplos sistemas operacionais.

A rede LoRa se demonstrou uma boa alternativa para a transmissão de pacotes, com interferências mínimas, atingindo o objetivo proposto. O ponto negativo a ser considerado é que se a rede não é composta por uma antena de qualidade e a mesma não for posicionada em um local alto, o sinal pode não atingir grandes distâncias, impedindo a rede utilizar todo seu potencial.

O consumo de bateria pode ser reduzido com a implementação do comando de *Deep Sleep* para o ESP 32 trabalhar em modo de baixo consumo energético.

Como implementações futuras, pode-se habilitar a opção de vincular mais de um dispositivo (coleira) ao *gateway*, visando rastrear mais de um animal ao mesmo tempo. Além disso, em próximas versões do projeto físico, a solução pode sofrer alterações para reduzir seus componentes e torná-la menos invasiva.

O desenvolvimento da solução, foi baseado no bem estar do animal de estimação e na tentativa de mantê-los seguros sobre os cuidados dos seus donos. Além disso, os custos envolvidos não foram ignorados na tentativa de mantê-los reduzidos. Sendo assim, espera-se que a solução apresenta seja adaptável a rotina

dos animais e de seus respectivos donos.

Referências Bibliográfica

ABCASA. Em ascensão, mercado pet deve atingir R\$20 bilhões de faturamento em 2020. Disponível em: <<https://abcasa.org.br/mercado-pet-2020/>>. Acessado em 20 de set. de 2019.

ABINPET. Associação brasileira da indústria de produtos para animais de estimação. Disponível em: <<http://abinpet.org.br/mercado/>>. Acessado em 25 de set. de 2019.

Semtech. O que é LoRa? Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acessado em 18 de mar. 2019.

LoRa Alliance. Sobre a LoRa Alliance. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lora-alliance>>. Acessado em 27 de mar. 2019.

Teleco Inteligência em Telecomunicações. Guia de Conectividade de IoT. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/iotconnect.asp>>. Acessado em 27 de mar. 2019.

COSSINI, Fabio. LoRaWan: uma rede alternativa para Internet das Coisas. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbbr/entry/mp274?lang=en>>. Acessado em 27 de mar. 2019.

BARTKEVICIUS, Flávia Cruz. Tecnologia LoRa e suas aplicações em IoT. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/events/tecnologia-lora-e-suas-aplicacoes-em-iot/>>. Acessado em 25 de mar. 2019.

MONTEIRO, João Bosco. Google Android: Crie aplicações para celulares e tablets. Casa do Código, 2016.

VIEIRA, Samuel. Os benefícios da utilização da geocalização no seu app. Disponível em: <<http://innovea.com.br/os-beneficios-da-utilizacao-de-geocalizacao-no-seu-aplicativo/>>. Acessado em 20 fev. 2019.

Firestore. Firestore Realtime Database. 2019. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/database>>. Acessado em 20 de maio. 2019.

Princípios de Usabilidade e Design em IHC: Avaliação de Interface e apontamento de melhorias de acordo com as Heurísticas de Nielsen

Principles of Usability and Design in IHC: Interface Evaluation and designation of improvements according to Nielsen Heuristics

Paula Alexandra Pavani¹
Lucilena de Lima²
Francisco Antonio de Sousa³

RESUMO

Esse é um projeto voltado à área de IHC que tem como finalidade analisar e apontar melhorias de interface. Certamente, a pesquisa diferencia-se pelo fato de que o meio tecnológico cresce constantemente e com isso, a interação-humano computador se torna frequente em ações cotidianas de todas as pessoas. A boa interface refere-se no objetivo de se submeter a avaliação de requisitos de usabilidade e aplicação de heurísticas para o comprometimento da satisfação do usuário final a partir da interação. Nesse trabalho serão abordadas as etapas para finalização de uma boa interface, mais especificadamente determinadas por validações heurísticas. A validação será apresentada por conceitos e documentação preenchida através de formulários com requisitos específicos aplicados ao site do UniSALESIANO. Em cada interface analisada será feita a comparação da interface anterior com a interface atual utilizando a ferramenta *FastStone Capture* para enfatizar os apontamentos das heurísticas que foram reparadas e o que ainda precisa ser reparado.

Palavras – chave: IHC; interface; heurísticas; usabilidade; avaliação.

ABSTRACT

This is a project aimed at the HCI area that aims to analyze and point out interface improvements. Certainly, research differs since the technological environment

¹ Acadêmica do 10º termo do curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: paula.pavani@hotmail.com

² Analista de Sistemas, Mestre em Ciência da Computação, pós Graduada em Computação Avançada e docente do curso de Engenharia Da Computação, Tecnologia em Desenvolvimento de Sistemas e Tecnologia em Jogos Digitais do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: lucilena.li@yahoo.com.br

³ Bacharel em Ciências Contábeis e Especialista em Sistemas de Informação pela Faculdade de Informática de Lins, Esp. Em Análise de Sistemas pelo Centro Universitário Eurípedes de Marília e docente do curso de Engenharia da Computação do Centro universitário Católico Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: xsousa@yahoo.com.br

grows constantly and with this, human-computer interaction becomes frequent in everyday actions of all people. The good interface refers to the objective of submitting to the evaluation of usability requirements and the application of heuristics to compromise the satisfaction of the end user from the interaction. In this work, the steps to finalize a good interface will be discussed, more specifically determined by heuristic validations. The validation will be presented by concepts and documentation filled out through forms with specific requirements applied to the UniSALESIANO website. In each analyzed interface, the previous interface will be compared with the current interface using the FastStone Capture tool to emphasize the notes of the heuristics that were repaired and what still needs to be repaired.

Keywords: IHC; interface; heuristics; usability; evaluation.

Introdução

Constantemente, surgem pesquisas de diferentes áreas, gerando inúmeras descobertas, principalmente, quando a questão é tecnologia.

Antigamente, os usuários de programas de computadores se sujeitavam a ser os próprios desenvolvedores, e assim, conseqüentemente, usuários externos começaram a acessar o computador devido a necessidade, tanto de uso pessoal quanto profissional. Porém, a dificuldade na interação com o computador tornou-se constante e com isso, os usuários necessitavam receber treinamento intenso para poder lidar com as interfaces. Hoje, todas as pessoas têm acesso aos computadores ou possuem produtos interativos. Mas, nem todas as pessoas se sentem satisfeitas ao utilizarem esses produtos.

Segundo Messenger (1982), o início do ramo da informação foi o momento pós-industrial em que os serviços começam a ser interconectados por computadores por meios de telecomunicação, operando em tempo real e criando uma dependência do seu bom funcionamento para diversas atividades rotineiras do usuário, seja para fins de entretenimento ou comunicação. Já atualmente no ramo da informática produtos interativos são criados o tempo todo, e com isso a internet se torna cada vez mais complexa devido a liberdade de conteúdo existente na mesma.

Com a diversidade de produtos interativos atualmente, não basta para o usuário que o produto tenha funcionalidade e sim, resulta na precisão de uma boa usabilidade e interfaces propícias para uma boa interação com o usuário. Existem hoje, estudos e pesquisas sobre design de interação que, contudo, fornecem um determinado procedimento para criação deste tipo de interfaces.

De acordo com Cooper, Reimann e Cronin (2007), muitos desenvolvedores, ao invés de planejar e executar tendo em mente as necessidades das pessoas que usarão o seu produto, acabam criando soluções de difícil uso e controle. Quando utilizados os métodos apropriados, o design de interação pode oferecer a conexão que faltava nos produtos tecnológicos com o ser humano.

Passos (2010) considera que um dos pretextos das pesquisas voltadas para o contexto de design de interação a partir de interfaces apoiam-se na necessidade de impulsionar a usabilidade e a comodidade do usuário, além de adquirir eficiência no trabalho.

Segundo Nielsen (1994), essa usabilidade é designada pelo alcance e a intensidade que o produto ou sistema pode ser usado eficientemente e adequadamente para alcançar os objetivos de alguns usuários.

Portanto, com o fundamento de entender o problema e corrigir a interface inadequada de produtos interativos ou websites é possível realizar uma avaliação heurística dos seus requisitos funcionais e não-funcionais, a partir dos princípios de Nielsen (2000; 2007) da experiência do usuário.

Ao longo dessa pesquisa foram abordados temas envolvendo o design de interação e sua importância, juntamente com a definição de usabilidade, a partir da experiência do usuário. E qual a fundamentação de uma boa interface aplicada a partir de várias metodologias.

Pretende-se com esse trabalho analisar uma interface de website onde os estudos e aplicabilidades do especialista em usabilidade web Jakob Nielsen, será ênfase absoluta a esse projeto de pesquisa, onde será utilizado das teorias e aplicação de suas técnicas heurísticas, e diretrizes da usabilidade para conclusão de todo estudo abordado no projeto. Será documentado a partir de formulários toda validação heurística realizada a partir do conceito objetivando a aplicação de tais teorias na prática.

Interação Humano-Computador

A popularidade do termo IHC (Interação Humano-Computador) emprega no avanço tecnológico atual que conseqüentemente conseguiu transformar o computador em um equipamento extremamente necessário, e com isso, fica difícil obter-se locais onde o computador não exista.

Passar a maioria do tempo diante de uma tela é absolutamente desgastante quando o resultado é a dificuldade em realizar tarefas a partir da interface do produto. O usuário necessita de praticidade e facilidade em uso, e a disciplina de IHC, sugere estudos e métodos para definir um design de interação de qualidade, com tudo o que o usuário necessita na hora de interagir com o produto que contém uma boa interface.

A dificuldade dos usuários em interagir com uma interface ruim implica principalmente na falta de vontade em explorar ao máximo um produto interativo. Portanto, problemas presentes no produto por falta de usabilidade acabam confundindo os usuários e assim induzindo-os a cometer erros frequentes. O resultado de todas as dificuldades dos usuários em interagir com uma interface ruim resulta na insatisfação do usuário que, conseqüentemente, decresce a produtividade de quem está interagindo com uma interface sem qualidade.

A IHC trouxe para a sociedade, valores como: igualdade, fraternidade, liberdade, solidariedade, visando garantir a inclusão digital de indivíduos no meio tecnológico já que o computador se faz tão presente na vida das pessoas, e sem ele será cada vez mais difícil a adaptação na sociedade que se faz tão moderna (Werner, 2014)

Nielsen (1993) integra esses propósitos em uma ideia mais ampla que ele determina como aceitabilidade de um produto interativo. Para ele a aceitabilidade final de um produto interativo agrega em sua aceitabilidade social juntamente com sua aceitabilidade prática.

Assentado nos estudos de Jakob Nielsen, os integrantes da interface usuário-máquina foram associados do modo a ordenar corretamente a base dessas interfaces

e as percepções para distinguir, ajustar e analisar determinados elementos.

Design de Interação e sua importância

A definição de Design de Interação segundo Preece, Rogers e Sharp (2005, p.28), [...] *Design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou no trabalho, ou na escola. Especificadamente, significa criar experiências que melhorem e estendam a maneira como as pessoas, trabalham, se comunicam e interagem*”

Provavelmente, em algum momento, os usuários se sentem definitivamente incomodados com o retorno que o sistema lhe oferece, de forma não objetiva e desagradável, e assim, o tempo gasto necessariamente fazendo o dispositivo funcionar da forma correta, não se torna prazeroso, pois a realidade é que os usuários não tem tempo de sobra para ficar inúmeras horas tentando obter uma resposta objetiva do software que está sendo utilizado.

Sendo assim, observa-se que muitos produtos não são necessariamente projetados pensando no usuário, e sim projetados apenas para realizar determinadas tarefas. E é nesse ponto que se resulta a aplicação do termo usabilidade, onde o simples fato de que se um produto simplesmente funciona, não importa o quanto intuitivo ele é nem o quanto a interface o facilita, sendo assim, nessa tecnologia avançada que atuamos hoje essa perspectiva de análise não é um fator resultante.

A partir do design de interação, fica claro que, facilmente, o mesmo, consegue realizar resultados para que um sistema qualquer seja mais eficiente a transmitir de forma correta às ações do usuário. As alternativas no mercado, vêm se alastrando cada vez mais diante da tecnologia, e com isso, os utilizadores de software, requerem rapidez e praticidade em suas ações, pois quando isso não acontece, o retorno é o mínimo satisfatório, rapidamente o mesmo, buscará soluções alternativas com os adversários.

Todo conteúdo com enfoque totalmente voltado na capacidade de interação com o usuário e a funcionalidade do produto, é o que emprega a importância de um bom design de interação. A partir disso, fica necessário ressaltar que o design de interação facilita na prevenção de erros que o usuário poderá encontrar, ou auxilia na forma como os erros poderão ser contornados, quando houver necessidade, automaticamente despercebidos pelo usuário.

Princípios de usabilidade e design

Uma outra maneira de conceitualizar a usabilidade se dá em termos de princípios de design. Segundo Thimbleby (1990) esses princípios são mais especificadamente destinados a auxiliar os designers a explicar e melhorar o projeto.

Portanto, todos esses conceitos não são utilizados para relatar como criar o *design* de uma interface real, mas podem ser utilizados mais detalhadamente como uma mistura de aspectos que devem ser lembrados, observando que determinados aspectos foram incluídos à interface. Alguns princípios de design já foram definidos, porém os mais conhecidos derivam de como determinar o que os usuários devem observar e realizar quando executam determinadas ações fazendo o uso de qualquer produto interativo. Os princípios mais comuns são:

1. **Visibilidade:** Esse princípio tem como definição, que o usuário saiba dizer

o estado em que se encontra um dispositivo e as opções de ação a partir daquele estado apenas olhando para ele. Segundo Norman (1998) quanto mais visíveis forem as funções, mais os usuários saberão como proceder.

2. **Feedback:** Esse princípio tem a finalidade de deixar claro para o usuário que toda tarefa executada por ele automaticamente propõe uma reação vinda do sistema, e essas reações devem ser caracterizadas por sons, brilhos, animações e a combinação de todos esses elementos. Segundo Norman (2000) é importante mostrar o efeito de uma ação ao usuário.
3. **Restrições:** Esse princípio resulta no objetivo de restringir que somente alguns tipos de ações possam ser executados. O usuário é impedido de selecionar opções incorretas ou clicar em botões errados, e isso, diminuirá a proporção de vezes que o usuário poderá errar.
Para Norman (1999) estas podem ser: física que resulta em indicar como os objetos físicos limitam o movimento das coisas, lógica que resulta dependentemente da maneira como as pessoas entendem sobre como é a funcionalidade do mundo ou cultural que resulta na utilização de vermelho para sinais de alerta, alguns tipos de sinais de áudio para perigo, e de uma determinada carinha sorrindo que determine felicidade. A maioria dessas restrições são arbitrárias, isso quer dizer que sua relação com o que está sendo representado é concreta e que poderia tê-lo sido de diferente modo.
4. **Mapeamento:** Preece (2005, p. 44) relata que a definição de mapeamento [...] refere-se à relação entre os controles e seus efeitos no mundo. Portanto, os botões devem ser mapeados de acordo com a sequência de ações apresentadas.
5. **Consistência:** Esse princípio tem em seu conceito a finalidade de transmitir para o usuário interfaces que proporcionem facilidade na hora de aprender a utilizar o sistema.

[...] *“Uma operação consistente utiliza a mesma ação para marcar qualquer objeto gráfico na interface, como clicar sempre o botão esquerdo do mouse. Interfaces inconsistentes, por outro lado permitem exceções à regra.”* Preece (2005, p.45)

6. **Affordance:** “É um termo utilizado para se referir ao atributo de um objeto que permite às pessoas saber como utilizá-lo. Por exemplo, o botão do *mouse* convida-nos a pressioná-lo (o que acaba ativando o clique), pela forma como está fisicamente posicionado em sua concha de plástico. Simplificando, *affordance* significa “dar uma pista” (Norman, 1988).

Esse conceito está sendo utilizado para apresentar a maneira de como objetos de interface necessitariam de ser projetados para realizar tarefas de maneira objetiva e clara dentro do sistema.

Usabilidade e suas metas

Segundo Preece (1994) a usabilidade é um conceito chave dentro da IHC e trata do projeto de sistemas fáceis de aprender a usar.

Em inúmeras pesquisas de IHC, já foram produzidos vários conceitos para o termo, porém todos esses conceitos atuam em concordância e se englobam em um único ponto. Para Nielsen, que é mais conhecido como o pai da usabilidade e das

diretrizes que concluem o bom uso das coisas, é exatamente os seus conceitos que serão abordados a seguir neste projeto de pesquisa.

Segundo ele, essa popularidade do termo usabilidade tem se alastrado no mundo virtual, pelo fato de que um produto com fácil utilização dá retorno financeiro.

A seguir serão abordadas as metas de usabilidade que são apontadores do produto ainda sendo criado inicialmente, mais especificadamente em forma de projeto, sendo assim resultaram na garantia de uma boa usabilidade. Ainda nesta pesquisa será enfatizado que as metas de usabilidade caminham juntas com as metas decorrentes da experiência do usuário e fala da junção desses dois modos de estabelecer metas em um determinado projeto.

Ainda se conclui que as metas utilizadas em um projeto de interação auxilia no esclarecimento de precauções, e as mesmas são definidas por: produtividade ao usuário utilizar determinado sistema; e desafiar e motivar o usuário obtendo auxílio adequado de uma instrução eficiente. Elas proporcionam barreiras e comandos para os resultados da interação.

Ainda nesse mesmo contexto, Irla (2012) define que dois conjuntos de metas auxiliam no direcionamento de um projeto de interação, são elas: Metas de usabilidade: que busca eficiência e utilizam de dados quantitativos e atuam com metas objetivas; e Metas decorrentes da experiência do usuário: onde a mesma requer qualidade da experiência do usuário, porém também utilizam dados quantitativos e atuam com metas objetivas. As mesmas diferenciam-se pela instrumentalização e finalidade sendo indispensável compreender como podem ser alcançadas e que métodos podem ser desfrutados para alcançar um resultado final com qualidade. Além disso, as metas de usabilidade adequam-se para compreender as necessidades do usuário e buscar compreensão de um propósito indispensável. Para realizar isso, o mais utilizado é empregar as seis metas de usabilidade apresentadas por Preece, Rogers e Sharp (2005, p. 35)

- 1- Eficiência: Ser eficiente no uso;
- 2- Segurança: Ser segura no uso;
- 3- Utilidade: Ser de boa utilidade;
- 4- Eficácia: Ser eficaz no uso;
- 5- Memorização: ser fácil lembrar como se utiliza;
- 6- Aprendizado: ser fácil de aprender;

Heurísticas de Nielsen

Resumindo os conceitos de uma avaliação heurística, fica objetivo relatar que os princípios de design já descritos anteriormente, resultam em uma avaliação heurística quando usados na prática, seguindo de uma aplicação para solucionar algum problema de experiência do usuário.

Nielsen (1995), relata que a avaliação heurística pode ser aplicada em qualquer fase do ciclo de desenvolvimento do software, permitindo apoiar o desenvolvimento de projetos e sendo aconselhável nas fases iniciais, onde a interface, às vezes, se restringe a um esboço descrito em papel.

Esse método de usabilidade de Nielsen resulta em determinadas fases que devem ser seguidas no processo:

- Preparação do conhecimento específico do sistema ou website a ser avaliado;

- Auxílio e acompanhamento na execução do teste;
- Fortalecimento da lista de problemas encontrados na avaliação;
- Diagnóstico dos problemas encontrados a partir do grau de severidade e documentação e aparição dos resultados finais;

Define-se uma equivalência de 0 a 4 aplicada para relacionar os problemas de usabilidade encontrados, onde são descobertos durante a investigação da interface, das quais os graus de severidade podem ser definidos como:

0 – Sem Importância: não afeta nenhuma ação do usuário ao utilizar a interface. Não é definido especificadamente como um problema de usabilidade.

1 – Cosmético: Não há necessidade de reparo enquanto não tenha tempo disponível.

2 – Simples: Pode ser restaurado, com mínima precedência de reparo.

3 – Grave – Deve ser restaurado, com transcendente precedência de reparo.

4 -Catastrófico: Necessita de reparo indispensável previamente de disponibilizar para utilização do usuário.

São 10 itens para a avaliação da usabilidade como apresentado por Nielsen (2001), com o objetivo de não deixar que os usuários cometam erros comuns ao realizar ações simples. Ele define que essas heurísticas foram baseadas em 294 tipos de erros de usabilidade que ele sempre encontrava em suas análises, e que definitivamente são prejudiciais a experiência do usuário.

1. **Visibilidade de Status do Sistema** – o sistema é capaz de deixar os usuários sempre informados sobre o que está acontecendo, fornecendo um *feedback* adequado, dentro de pouco tempo.
2. **Compatibilidade do sistema com o mundo real** - o sistema fala a linguagem do usuário utilizando palavras, frases e conceitos familiares a ele, em vez de termos orientados ao sistema. Metáforas como o uso de ícones são fundamentais para tornar a interface familiar para o usuário.
3. **Controle do usuário e liberdade** – transmite modos de deixar que os usuários saiam facilmente de lugares indesejáveis onde se situam, utilizando “saídas de emergência” obviamente observadas.
4. **Consistência e padrões** –Normalmente, usuários optam por não precisarem pensar muito para realizar ações dentro de um sistema, ele não se sente confortável em ter que pensar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa.
5. **Ajuda os usuários a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros** a natureza do problema é descrito claramente com linguagem simples que faça com que o usuário entenda facilmente e consequentemente o sistema define um modo de resolvê-lo.
6. **Prevenção de erros** – o sistema consegue transmitir de forma clara para o usuário mensagens que tem a finalidade de impedir que possivelmente ocorra erros.
7. **Reconhecimento em vez de memorização** – fazer com que o usuário visualize com facilidade objetos, ações e opções de realizar tarefas, em vez de ter que memorizar uma ação já realizada dentro do sistema.

8. **Flexibilidade e eficiência de uso** – O sistema deve estar apto a qualquer usuário, seja ele antigo ou atual. Um sistema com boa flexibilidade resulta

em facilitar as ações de usuários antigos e conseqüentemente torna mais rápido o modo de como essas ações são realizadas por usuários mais experientes.

9. Estética e design minimalista – evita o uso de informações desnecessárias, enfim, o sistema deve manter uma estética agradável que satisfaça o usuário.

10. Ajuda e documentação – Por mais que o sistema tenha o objetivo de proporcionar facilidade em uso, conseqüentemente o mesmo deve sempre deixar disponíveis informações relevantes em lugares onde fique fácil do usuário encontrá-las, com isso, o sistema também deve fornecer respostas para possíveis perguntas do usuário.

Aplicação da Heurística

Para a aplicação do método proposto por Nielsen (apresentado neste artigo) utilizou como suporte o site do UniSALESIANO, cujo propósito é o de apresentar/apontar possíveis erros de design e que com a aplicação do método proposto é possível descobri-las/evidenciá-las e, então, posteriormente a equipe de designers/desenvolvedores poderá realizar as adequações necessárias.

Avaliando a interface “antiga”: Apontamentos de erros de usabilidade na interface do Website UniSALESIANO Antigo

A figura 1 apresenta a interface inicial do site do UniSALESIANO, a esta foram aplicados os princípios de usabilidade (heurísticas), o que resultou em vários apontamentos, identificados também na figura 1 de acordo com os princípios e o grau de severidade relacionado a importância do erro.



Figura 1: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisaesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores.

Item 3 (3.a e 3.b): Liberdade e Controle do Usuário: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que o usuário seleciona várias opções no sítio como: “Mensalidade”- Emissão de Boleto Online – Clique Aqui” ou então, Boletim Online, e automaticamente é aberto um pop-up. Portanto, o sítio possui vários botões que ao serem selecionados pelo usuário um pop-up é aberto automaticamente, e isso causa

transtorno, pois a mesma é bloqueada por vários navegadores e ainda assim, totalmente inacessíveis. Isso causa para o usuário frustração e falsa impressão que o sistema proporciona e um efeito sobre a tarefa seria a perda de tempo na execução. Melhoria proposta: não abrir pop-up ao selecionar botões, e sim abrir uma tela com todo conteúdo dentro da mesma página do sítio.

Item 4: Consistência e Padrões: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que o usuário quer selecionar uma opção no sistema sem ter que ficar dando zoom nos botões que se encontram na página do sítio. E o mesmo, quer navegar na página tanto em plataforma web quanto mobile. As informações se encontram todas centralizadas em um único lugar na lateral, sendo que o conteúdo fica desproporcional a tela, e ainda sobra espaço. Contudo, os menus são alinhados na lateral do sítio. O sítio não segue convenções da plataforma computacional utilizada. As Informações do sítio não são responsivas, inclusive na plataforma mobile. O usuário se perde no momento em que vai executar suas ações e ocorre perda de tempo na execução.

Melhoria proposta: ajustar os menus centralizados na tela e ajustar o conteúdo do sítio de acordo com a plataforma estabelecida.

Item 7 (7.a) Flexibilidade e eficiência em uso: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário está acessando a página do sítio pela primeira vez e quer realizar uma determinada ação apenas olhando para o menu, ou seja, selecionar um determinado botão com a menor sequência de passos necessários. A página inicial do sítio contém poucos atalhos e muito texto, principalmente no menu. Um efeito sobre o usuário seria uma frustração dada e desorientação. E com isso causa perda de tempo na execução.

Melhoria proposta: incluir atalhos que facilitem as ações realizadas pelos usuários. E uma prática comum seria oferecer uma página especial para usuários que estão acessando a página do sítio pela primeira vez ou que desejam realizar uma ação rápida com uma menor sequência de passos. Criar um botão de “Meu primeiro acesso” ou “Acesso Rápido”.

Item 8: (8.a, 8.b e 8.c) : Estética e design minimalista: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que O usuário seleciona a opção “Pós – Graduação” localizado no menu lateral esquerdo. Logo, em seguida o usuário seleciona a opção “Pós – Graduação” localizado à esquerda no menu lateral, a mesma página foi carregada novamente. Existem dois botões na página que possuem representação gráfica e hierarquia diferentes, mas ambos se direcionam para a mesma página do sítio. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo.

Melhoria proposta: eliminar um dos botões de “Pós – Graduação” da página.



Figura 2: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: [https://unisaesiano.com.br/-2018-anoações dos autores](https://unisaesiano.com.br/-2018-anoações%20dos%20autores).

Item 2: (2.a, 2.b, 2.c e 2.d): Relacionamento entre a interface do sistema e o mundo real: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário quer selecionar um ícone de pesquisa, revista universitária, e visualizar manuais acadêmicos, porém os itens estão alocados no sítio sem lógica e sem comunicação contextualizada ao usuário. A tarefa se torna complicada por falta de comunicação contextualizada ao usuário. E um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo.

Melhoria proposta: inserir menus com informações necessárias separadas em determinados contextos que facilitem a interação do usuário com o sistema ao realizar tarefas.

Item 6: Reconhecimento ao invés de lembrança: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário se torna incapaz de realizar determinadas tarefas simplesmente observando a interface, ele precisamente explora o sistema realizando vários passos até chegar na tela desejada. Um sítio confuso dificilmente faz o usuário reconhecer ações já executadas anteriormente. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo na execução da ação.

Melhoria proposta: seria diminuir o esforço cognitivo do usuário incluindo ícones e organizando as informações de forma lógica e separadamente.

Item 7: Flexibilidade e eficiência de uso: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário estudante leigo e de primeiro acesso quer realizar um acesso rápido. A página inicial do sítio contém poucos atalhos e muito texto, principalmente no menu. Um efeito sobre o usuário é frustração dada e desorientação e isso causa perda de tempo na execução.

Melhoria proposta: incluir atalhos que facilitem as ações realizadas pelos usuários. E uma prática comum seria oferecer uma página especial para usuários que estão acessando a página do sítio pela primeira vez. Criar um botão de "Meu primeiro acesso".

Item 8: Estética e design minimalista: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário quer buscar por uma notícia recente com uma menor sequência de passos.

Existem uma lista com muitas notícias de datas extremamente passadas, e isso faz com que o usuário se perca em buscar uma única notícia. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo.

Melhoria proposta: Eliminar as notícias de datas anteriores e deixar visível na página no máximo três notícias recentes.

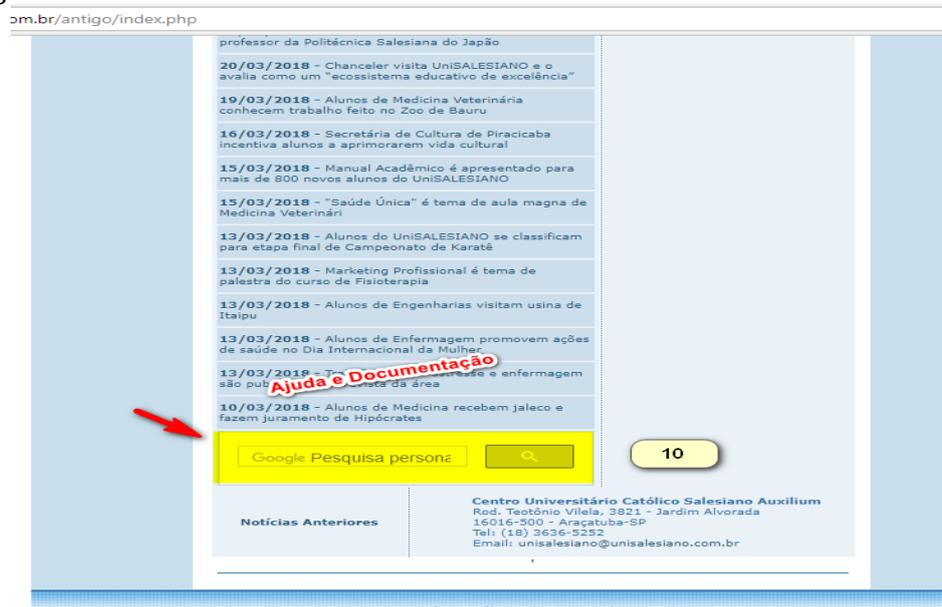


Figura 3: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisaesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores..

Item 10: Ajuda e Documentação: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário deseja tirar uma dúvida e não encontra nenhum botão que possa ser selecionado para realizar essa ação. Não existe um ícone de "ajuda" integrado com as páginas do sítio. E o único ícone de "busca" presente no sistema é sem visibilidade alguma. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa falha na execução da tarefa por falta de conteúdo.

Melhoria proposta: inserir um botão de "Ajuda" na página do sítio com boas e claras informações.



Figura 4:Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisalesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores.

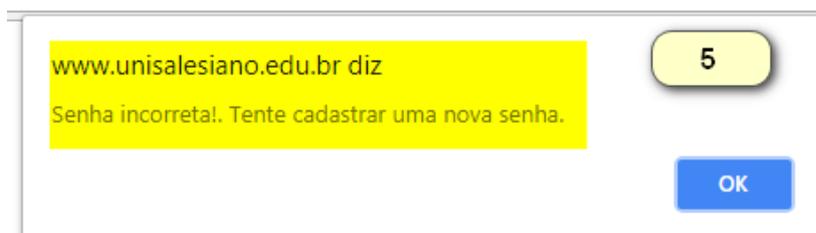


Figura 5: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisalesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores.

Item 2: Relacionamento entre a interface do sistema e o mundo real: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário está na tela de “área do aluno” e deseja voltar a página inicial. Não existe nenhum botão “página inicial”, existe uma frase bem complexa que ao ser selecionada o usuário retorna a página inicial, e isso não fica claro para o usuário. A comunicação utilizada não foi coerente com o chamado modelo mental do usuário. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo na execução da tarefa.

Melhoria proposta: inserir uma comunicação simples e contextualizada a comunicação do usuário, simplesmente eliminando a frase e inserindo um botão “página inicial”.

Item 5: Prevenção de erros: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário ao acessar o sistema e selecionar a opção de “Área Acadêmica”, a tela de login é aberta e os campos “Ra” e “Senha” não são preenchidos pelo mesmo. Mesmo assim o usuário seleciona a opção “enviar” na página. O usuário não preencheu os dados necessários, mesmo assim, a opção de “enviar” no sistema permanece disponível. Um efeito sobre o usuário seria frustração dada e falsa impressão que o sítio proporciona e isso causa perda de tempo na execução.

Melhoria proposta: desabilitar o botão de “enviar” e tornar os campos “Ra” e “Senha” de preenchimento obrigatório. Dar destaque a uma mensagem de que esses campos necessitam ser preenchidos.

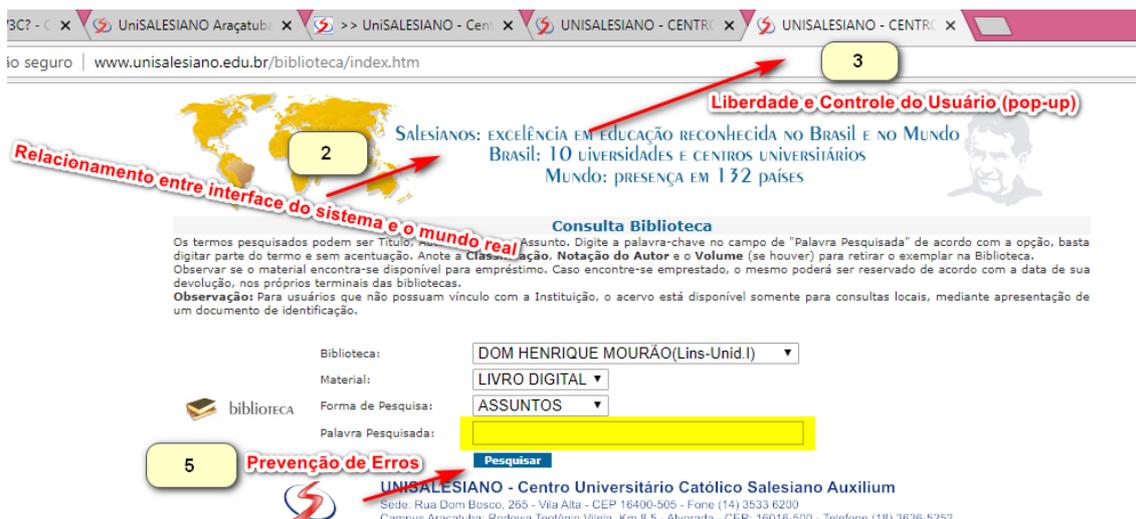


Figura 6: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisalesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores..

Item 2: Relacionamento entre a interface do sistema e o mundo real: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário está na tela de “biblioteca” e deseja voltar a página inicial. Não existe nenhum botão “página inicial”, existe uma frase bem complexa que ao ser selecionada o usuário retorna a página inicial, e isso não fica claro para o usuário. A comunicação utilizada não foi coerente com o chamado modelo mental do usuário.

Um efeito sobre o usuário seria desorientação e isso causa perda de tempo na execução da tarefa.

Melhoria proposta: inserir uma comunicação simples e contextualizada a comunicação do usuário, simplesmente eliminando a frase e inserindo um botão “página inicial”.

Item 3: 3- Liberdade e controle do usuário: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário seleciona a opção “Biblioteca” e é aberto um pop-up. O sítio possui vários botões que ao serem selecionados pelo usuário um pop-up é aberto automaticamente, e isso causa transtorno, pois a mesma é bloqueada por vários navegadores e ainda assim, totalmente inacessíveis. Um efeito sobre o usuário seria frustração dada e falta de impressão que o sistema proporciona e isso causa perda de tempo na execução.

Melhoria proposta: não abrir pop-up ao selecionar botões, e sim abrir uma tela com todo conteúdo dentro da mesma página do sítio.

Item 5: Prevenção de erros: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário ao acessar o sistema e selecionar a opção de “Biblioteca”, a tela é aberta e alguns já são preenchidos, porém o campo “palavra pesquisada” não é preenchido pelo usuário e mesmo assim o usuário consegue selecionar a opção “pesquisar” na página. O usuário não preencheu os dados necessários, mesmo assim, a opção de “pesquisar” no sistema permanece disponível. Um efeito sobre o usuário seria

frustração dada a falsa impressão que o sítio proporciona e isso causa perda de tempo na execução e ação realizada com erro por falta de orientação.

Melhoria proposta: desabilitar o botão de “pesquisar” e tornar o campo “palavra pesquisada” de preenchimento obrigatório. Dar destaque a uma mensagem de que esse campo necessita ser preenchido.

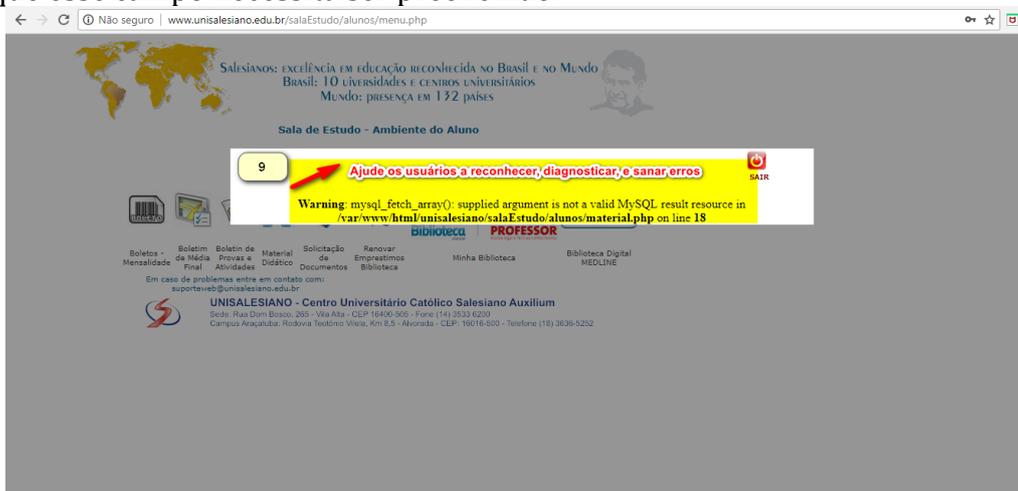


Figura 7: Apontamento de erros de usabilidade na interface do site do UniSALESIANO "antigo". Fonte: <https://unisalesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores.

Item 9: Auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e corrigir erros: O grau de severidade desse problema é classificado como 3 (grave) e a sua descrição é definida no contexto de que um usuário está logado na tela de “área acadêmica” e seleciona a opção “material didático”. Automaticamente é emitido um erro na tela com um contexto nada simples. Um efeito sobre o usuário seria desorientação e frustração e isso causa falha na execução da tarefa.

Melhoria proposta: inserir uma mensagem de erro de contexto simples e clara que não intimide o usuário.

Avaliando a interface “nova/atual”

Apontamento de erros de usabilidade reparados na interface do Website UniSALESIANO Novo

O novo site do UniSALESIANO passou por uma reestruturação cujo objetivo foi o de substituir, atualizar e modernizar o mesmo, porém ao aplicar o princípio de usabilidade alguns erros ainda foram encontrados. A figura 8 apresenta a nova interface com a indicação dos apontamentos e há uma breve descrição das melhorias revisadas.



Figura 8: Apontamento de erros de usabilidade reparados na interface do site do UniSALESIANO "novo/atual". Fonte: <https://unisaesiano.com.br/> -2018-anotações dos autores.

O item 4: Consistência e padrões: foi identificada e atendida em todas as plataformas pois o sítio se torna responsivo. Também, o tamanho da tela está ajustável sem sobras de espaço, e ao utilizar a plataforma mobile os menus automaticamente são alocados ao lado da tela em forma de listagem.

O item 7: Flexibilidade e eficiência em uso: também foi atendida em um determinado conceito baseado em usuários leigos e que estão acessando o sítio pela primeira vez, ou desejam realizar ações rápidas, pois existe um campo de "Acesso Rápido" para facilitar a navegação.

Item 8 (8.a): Estética e Design minimalista: é corrigida em determinadas partes do sítio, onde engloba um maior número de ícones alocados junto aos botões, e um menor número de textos. Dentro dessa heurística corrigida também inclui a localidade dos manuais inclusos no menu diminuindo a poluição visual e respeitando o grau de importância dessa informação.

Item 2: Relacionamento entre a interface do sistema e do mundo real: foi corrigida determinando uma linguagem mais explícita e contextualizada aos usuários. Os menus são centralizados e agrupados de forma mais lógica, com uma formatação maior e sem a necessidade do usuário ter que expandir a tela para selecionar determinadas opções.

Item 6 (6.a, 6.b, 6.c e 6.d): Reconhecimento ao invés de lembrança: O sítio possui ícones e botões que diminuem o esforço cognitivo.

Apontamento de erros de usabilidade que ainda persistem na interface e necessitam de reparo do Website UniSALESIANO "novo/atual"

Embora tenha ocorrido melhorias alguns erros ainda persistem/existem. A figura 9, apresenta a enumeração e uma breve apresentação destas.



Figura 9: Apontamento de erros de usabilidade que ainda necessitam de reparo na interface do site do UniSALESIANO "novo/atual". Fonte: <https://unisaesiano.com.br/> -2018- anotações dos autores.

Ainda necessitam de ajustes os elementos apontados e registrados através da figura 9. Observando uma especial atenção aos itens:

Item 5: Prevenção de erros e relacionamento entre a interface do sistema e o mundo real ainda necessita de ajustes na tela de "login".

Item 10: Ajuda e documentação: ainda necessita de ajuste, por mais que o botão de busca melhorou a localidade do mesmo ainda está sem visibilidade nenhuma.

Item 9: auxiliar os usuários a reconhecer, diagnosticar e sanar erros: erros resulta no feedback inadequado que o sítio oferece para os usuários ao notificar erros e esse cenário ainda ocorre.

Item 3 (3.a, 3.b, 3.c e 3.d): liberdade e controle do usuário: ainda é frequente e é explícita no sítio através de um pop-up que é aberto automaticamente em grande parte dos botões selecionados.

Item 6: Reconhecimento ao invés de lembrança: ainda há falta de ícones em determinados botões e muito texto no sítio, isso impede que o usuário reconheça uma ação imediata que precisa ser realizada por ele.

Item 8 (8.a, 8.b, 8.c, 8.d, 8.e e 8.f): Estética e design minimalista: ainda existe pelo simples fato de que a página inicial do sistema ainda possui informações desnecessárias e também ainda existe botões na página que levam o usuário para a mesma tela.

Conclusão

O nível de qualidade desejado após a realização da avaliação heurística de Nielsen está de acordo com o grau de eficiência de cada profissional. Depois da realização da avaliação, precisa-se antepor as correções mais primordiais, até que atinja o grau de qualidade definido pelo profissional adequado. A prescrição de graus de inflexibilidade ajuda na maneira como estabelecer prioridades, mas deve ser estudada em conjunto com os demais critérios.

Um exemplo do resumo de todos esses conceitos, é que um problema que é averiguável para todos os tipos de usuário é, obviamente, mais preferencial que um

outro que se averigüe somente para poucos usuários. Um problema de usabilidade preferencial, também é aquele que possa transmitir para o usuário tempo perdido em ações realizadas por ele, com inúmeras frequências ou que transmite falhas ou perda de dados em ações de extrema importância.

Conclui-se que com a finalização desse projeto que o mesmo atingiu o objetivo de especificar as heurísticas de Jakob Nielsen e defini-las de acordo com os conceitos de usabilidade em conjunto com os demais critérios. O diferencial da aplicação dessa validação heurística requer um aperfeiçoamento em conceitos afim de não deixar que os usuários cometam erros comuns ao realizar ações simples e que definitivamente são prejudiciais a experiência do usuário.

Referências Bibliográficas

AZEVEDO, Paula. MACEDO. et. al. Universidade de São Paulo. Artigo – USP. São Paulo. Visualizado em: 14. Abr. 2018.

BARBOSA, Alberto. Raposo. INF1403 – Introdução a Interação Humano – Computador (IHC). PucRio – Disponível em: <http://www.inf.puc-rio.br/~inf1403/docs/alberto2014-1/aula07_AvHeuristica.pdf> Acesso em: 21. Abr. 2018.

EDITORA, Porto. Jakob Nielsen, 2003. Infopédia – Disponível em:<[https://www.infopedia.pt/\\$jakob-nielsen](https://www.infopedia.pt/$jakob-nielsen)>. Acesso em: 25 fev. 2018.

FOURNIER, Diana. Heurísticas de Nielsen – Avaliando a usabilidade de interfaces. Medium – Disponível em <<https://medium.com/vivareal-ux-chapter/heur%C3%ADsticas-de-nielsen-avaliando-a-usabilidade-de-interfaces-e96f9801cd5>> Acesso em: 28. Mar.2018.

GONÇALVES, Mileni. KAZEDANI. et. al. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Artigo – UNESP. Bauru. Visualizado em: 07. Abr. 2018.

HORVATH. Eduardo. Usabilidade Mobile – Uma visão de Jakob Nielsen – dclick. Disponível em: <<http://www.dclick.com.br/2012/01/19/usabilidade-mobile-uma-visao-de-jakob-nielsen/>> Acesso em: 30. Ago. 2018.

MACEDO. Gabriel. MO. 10 heurísticas de Nielsen para o design de interface. 2017.UX Collective BR – Disponível em:<<https://brasil.uxdesign.cc/10-heur%C3%ADsticas-de-nielsen-para-o-design-de-interface58d782821840?gi=f62e220a71bb>> Acesso em: 13. Mar. 2018.

MACIEL, Cristiano. NOGUEIRA, José Luis T. CIUFFO, Leandro Neumann. GARCIA, Ana Cristina Bicharra. et al. Universidade Federal Fluminense. Artigo – UFF. Rio de Janeiro. Visualizado em: 26 fev. 2018.

MAGRINELLI, Juliana Villas Boas et al. Universidade Federal de Lavras. Monografia (Monografia do curso de Sistemas de Informação) – UFLA. Minas Gerais. 2010. Visualizado em: 24 fev. 2018.

NORMAN, Dom. Democratizing Design (Dom Norman). Nngroup – Disponível em: <<https://www.nngroup.com/videos/democratizing-design-don-norman/>> Acesso em: 04. Abr. 2018

NEGRÃO, Flavia. A importância de IHC no desenvolvimento de software – SlideShare Disponível em:<<https://pt.slideshare.net/flavianegrao/a-importancia-de-ihc-no-desenvolvimento-de-software>>Acesso em: 12.Mai.2018.

PUC.Rio – Certificação Digital – Nº 0510329/CA. Et. al. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10500/10500_4.PDF > Acesso em: 12.Mai. 2018.

PREECE, Jennifer. ROGERS, Yvonne. SHARP, Helen. DESIGN DE INTERAÇÃO – Além da interação homem – computador. 2. Ed. Artmed: Bookman, 2005.

PREVEDELLO, Clarissa, FELKL. Et. al. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. Visualizado em: 22.Mai.2018.

REBELO, Irla. User *Experience and HCI expert* – irlabr – Disponível em: <<https://irlabr.wordpress.com/apostila-de-ihc/parte-1-ihc-na-pratica/6-usabilidade-e-suas-metas/>> Acesso em: 03 out. 2018.

RIBEIRO, Rogerio Albuquerque e WERNER, Claudete. et al. Universidade Paranaense. Artigo – Unipar. Paraná. 2010. Visualizado em: 26 fev. 2018.

RODRIGUES, Cristiano. 10 Heurísticas de Jakob Nielsen para usabilidade – UI Design. LinkedIn – Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/10-heur%C3%ADsticas-de-jakob-nielsen-para-usabilidade-ui-rodrigues>> Acesso em: 21. Abr. 2018.

SANTOS, Ana Paula. A Importância da Interação Humano Computador, 2012. TIQx. – Disponível em:< <http://tiqx.blogspot.com.br/2012/02/compreenda-importancia-da-interacao.html>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

SANTANA, Vagner Figuerêdo de e MUSTARO, Pollyana Notargiacomo. Usabilidade é popular, graças a seu retorno financeiro, diz Jakob Nielsen, 2007. Folha uol – Disponível em:<<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u21504.shtml>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

SAKAKIBARA, Luiz, AUGUSTO. Et. al. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Matinhos. Visualizado em: 22.Mai.2018.

SIDNEI. Leandro, IMMICH. Et. al. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. Visualizado em: 25. Ago. 2018.

UNIRITTER,Rodrigo. Heurísticas de Nielsen – rodrigouniritter. Disponível em: <<https://rodrigouniritter.wordpress.com/2011/04/27/heuristicas-de-nielsen/>>Acesso em: 22.Ago.2018.

Desenvolvimento e projeto de uma policorte automatizada

Design and development on an automated polycut

Artur Quessa de Souza¹

Gilson Roberto Criolézio Rodrigues Filho¹

José Erinaldo Alves Da Silva¹

José Matheus Viana Xavier¹

Kauê Fernandes de Oliveira¹

Lucas Loverdi¹

Marcelo Junior Rodrigues¹

Thiago Santana Aranha²

RESUMO

Com o crescimento e demanda na produção de pequenas e grandes empresas que utilizam abrasivos como ferramenta de corte, é necessário deixar para o passado máquinas que requerem meios convencionais de manuseio e se adaptar as novas tecnologias em sua produção afim de garantir a execução com qualidade e cumprir prazos estabelecidos. Com a automação industrial é possível alcançar recordes em áreas requerentes de progresso, por esse motivo foi desenvolvida uma policorte automatizada buscando a eficiência e qualidade ao produto final com um menor tempo de execução. Teve-se como objetivo do presente projeto solucionar problemas existentes em empresas que utilizam a policorte, sendo desenvolvido uma automação através de um sistema elétrico e pneumático trabalhando em conjunto. Aumentando a produtividade permitindo alcançar novos ciclos de produção e como consequência aumentar o faturamento da empresa, reduzir custos com mão de obra, energia pois a máquina ficará ligada por um menor tempo, qualidade e precisão no corte, evitando riscos de falhas humana, segurança ao operador através do sistema de sensores e proteção teve como objetivo reduzir acidentes. Foi desenvolvida uma bancada de trabalho para se instalar os componentes, sobre ela foi instalada a policorte, um sistema de guias para que o material a ser passado pelo processo de corte não deslize sobre os roletes afetando a precisão, um sistema de roletes para apoio e outro para alimentação do material acompanhados de um motorreductor para dar movimento. O sistema pneumático pode oferecer uma grande vantagem no processo, em substituir o trabalho manual por atuadores pneumáticos na área de prensa do material e movimento da policorte, a prensa tem como objetivo travar o material para que o corte seja realizado reto sem angulações e o atuador da policorte realiza o movimento que antes seria feito pelo operador. Com o sistema elétrico trabalhando em conjunto com o pneumático, foi possível dar mais segurança a operação, sendo instalados sensores para etapas de processo e segurança, disjuntores para segurança da

¹ Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba.

² Engenheiro e professor do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba e coorientador do presente trabalho de conclusão de curso.

máquina, CLP para que toda a automação fosse possível de ser realizada. Através do resultado foi possível notar a evolução no processo de corte.

Palavra-chave: Automação, Ferramenta de corte, Indústria, Policorte.

ABSTRACT

With the growth and demand in the production of small and large companies that use abrasives as a cutting tool, it is necessary to leave in the past machines that require conventional means of handling and to adapt new technologies to their production in order to ensure quality and efficient execution. meet established deadlines. With industrial automation it is possible to achieve records in areas requiring progress, for this reason an automated crosscut was developed seeking efficiency and quality to the final product with a shorter execution time. The objective of the present project was to solve existing problems in companies that use the policorte, being developed an automation through an electric and pneumatic system working together. Increasing productivity allowing new production cycles to be achieved and as a result increase company revenues, reduce labor costs, energy because the machine will be turned on for a shorter time, quality and precision in cutting, avoiding risks of human failure, safety while operator through the sensor and protection system aimed to reduce accidents. A workbench has been developed to install the components, a policorte has been installed on it, a guide system so that the material to be passed through the cutting process does not slip over the rollers affecting precision, a support roller system and another for feeding the material accompanied by a gearmotor for movement. The pneumatic system can offer a great advantage in the process of replacing manual work with pneumatic actuators in the area of material press and cross-cut movement, the press aims to lock the material so that cutting is performed straight without angles and the actuator of the policut performs the movement that would be done before by the operator. With the electrical system working in conjunction with the tire, it was possible to give more safety to the operation, being installed sensors for process and safety steps, circuit breakers for machine safety, PLC so that all automation could be performed. Through the result it was possible to notice the evolution in the cutting process.

Keywords: Automation, Court Tool, Industry, Policut.

Introdução

Com a demanda de produção de pequenas e grandes empresas que utilizam abrasivos como ferramentas de corte, são necessários novos meios de produção para garantir a execução em prazos estabelecidos. Com a automação industrial é possível alcançar novos recordes por meios de sistemas automatizados.

Nas determinadas áreas de produção, é essencial introduzir uma ferramenta que possa oferecer as empresas uma forma de acompanhar a demanda do mercado de forma segura e eficaz. Com as expectativas de crescimento do

mercado consumidor, pode demonstrar novas maneiras de acompanhar esse meio em questão com ferramentas de produção em larga escala.

A automação deixa no passado os meios convencionais do manuseio de certas ferramentas, com o início das produções em larga escala que necessita de medidas e cortes exatos, em grandes quantidades de materiais e maior rentabilidade, assim reduzindo os riscos de acidentes e maior aproveitamento de tempo, trazendo maior segurança e exatidão para as empresas.

Com a utilização da automação nas áreas requerentes de progresso, pode-se solucionar vários problemas relacionados ao tempo de execução de serviço provenientes de meios convencionais agregados as empresas por gerações passadas. É de extrema importância deixar de lado as ferramentas ultrapassadas e aproveitar o que há de melhor para suprir essa demanda de consumo.

A eficiência e garantia de serviço é fundamental para o desenvolvimento do produto final, logo deve-se dar grande atenção a máquina de serra policorte, pois ela estabelece muito bem esse papel na produção em larga escala com custos mínimos comparados a meios manuais.

O objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema automatizado para trazer eficiência, agilidade, praticidade com qualidade e segurança no corte de peças. Sendo composto por vários elementos cruciais para que seja efetuado o corte com precisão, sendo eles, sensores fim de curso, roletes acompanhados de motorreductor para avanço do material a ser cortado, sistema pneumático, o próprio policorte fixado na mesa, motor elétrico para o funcionamento do mesmo e CLP para a programação.

Introdução ao Policorte

Toda modernização existente, deve-se aos antepassados, pois foram eles que desenvolveram as primeiras ferramentas de cortes, que vem evoluindo ao longo dos anos, vindo desde os homens primitivos que se baseavam em ferramentas feitas de ossos pontiagudos e com isso surgiu o hábito de afiar o fio das ferramentas para melhor precisão (ALBUQUERQUE, 2017).

No início da idade média, houve o surgimento das serras circulares, com seu funcionamento manual à manivela, que ao passar dos anos foram evoluindo para acionamento à pedal, e assim passando pela idade moderna que foram adaptados,

um mecanismo alternativo, movimentado através de um sistema de biela e manivela adaptados ao eixo de uma roda hidráulica (ALBUQUERQUE, 2017).

Com o início da evolução industrial entre 1760 e 1860, surgiram as máquinas à vapor, adaptadas para máquinas de serraria entre 1830 e 1860. A partir do século XX vieram as adaptações para motores à explosão, dando sequência ao acionamento por motores elétricos como é realizado nos dias de hoje, fazendo máquinas de alta produtividade com funcionamento cada vez mais automático. O homem que era um artesão, se tornou operário, tendo a necessidade do aumento da produtividade e diminuindo desperdícios, fazendo com que a tecnologia de corte venha se modernizando a cada dia, para melhor eficiência e melhor qualidade ao produto final (MILL, 2017).

As serras policorte depois de todo esse processo de modernização, possui como sua finalidade cortar materiais em escala e em diferentes ângulos, são muito comuns em indústrias, metalúrgicas, serralherias, dentre outros. Seu corpo giratório e o prato da serra permitem fazer cortes em ângulos de até 45° dos dois lados, porém no desenvolvimento desse projeto, essa mesma policorte realizará corte em apenas 90°. A Estrutura do policorte se baseia no motor para acionamento da serra, base, corpo, tampa do disco em ferro fundido para garantir a segurança do operador e o cabo elétrico dimensionado para sua necessidade aprovado pelo Inmetro, fazendo com que todo o conjunto do equipamento esteja de acordo a norma NR12 (GODOI, SILVA, 2015).

Desde a pré-história, já era conhecido pelo homem, uma forma de afiar suas ferramentas e suas armas para caça. Neste caso se utilizavam pedras como o material abrasivo. Esfregando uma pedra para se obter um melhor acabamento, da mesma forma o material abrasivo funciona na policorte. Fazer uma relação cronológica completa sobre o surgimento e evolução dos abrasivos seria um pouco difícil. Porém, de uma forma geral, os fatos mais importantes foram ocorridos desde o século XVI, por volta do ano de 1500 foi desenvolvida uma máquina de afiar ou amolar usando um rebole de pedra talhada a mão feita por Leonardo da Vinci, e assim conforme o tempo vem passando e as exigências no padrão de qualidade aumentando, foi-se evoluindo (NUSSBAUN, 1988).

Os abrasivos, são materiais capazes de lixar, desgastar e cortar os materiais com a ação do atrito entre eles, indispensáveis em uma policorte. Um abrasivo

pode ter origem natural sendo extraído de minas, e origem sintética quando são fabricados, tudo vai de acordo com o objetivo final, para cada material e operação existe seu abrasivo adequado, tendo que considerar alguns fatores principais como dureza, tenacidade e composição (NUSSBAUN, 1988).

Introdução a energia elétrica e o motor elétrico como parte da evolução

De acordo com a evolução de pesquisas, e teorias relacionadas a Eletricidade, por volta do ano de 1600, um cientista inglês chamado William Gilbert publicou um estudo sobre a força da atração magnética, vindo em 1663 o alemão Otto Guericke, construir a primeira máquina eletrostática que veio se aperfeiçoando com o passar dos anos (ENERGY, 2018).

O primeiro passo importante ao desenvolvimento do motor elétrico foi realizado pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted em 1820, quando colocou uma agulha magnética próxima de um condutor de eletricidade. Para esse experimento, foi utilizado uma bússola e um fio de platina em um circuito, o fio de platina, ao ser percorrido pela corrente elétrica, ficava incandescente, o que garantia uma corrente suficientemente intensa, fazendo com que quando o fio era aproximado da bússola, sua agulha magnética sofria uma deflexão (ENERGY, 2018).

Através dessas constatações, o físico e matemático André Marie Ampère, desenvolveu o primeiro eletroímã, que se tornou fundamental para a invenção de posteriores aparelhos eletrônicos (ENERGY, 2018).

No ano de 1831, o inglês Michael Faraday deu início a lei da Indução Magnética, o qual é o nome que se dá ao fenômeno de um campo magnético variável que produz num circuito uma corrente elétrica, chamada de corrente induzida. Esse fenômeno foi descoberto em 1831 por dois cientistas, Michael Faraday, na Inglaterra, e Joseph Henry, nos Estados Unidos, porém, de forma independente (ENERGY, 2018).

Em 1889, o engenheiro eletricista russo Michael Von Dolivo Dobrowolsky, insistindo na pesquisa do motor de corrente alternada, entrou com pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. O equipamento era simples, silencioso, tinha menos manutenção e alta segurança em operação. Em 1891 deu-se início a fabricação em série de motores assíncronos (ENERGY, 2018).

Com toda essa evolução, pode-se verificar que, ao longo de todo esse tempo, físicos, cientistas, engenheiros e os demais profissionais, nem sempre com alguma ligação com a ciência, puderam contribuir para a descoberta e evolução da eletricidade e motores.

Para o processo de corte com o Policorte, é necessário o uso de um motor acoplado a máquina para que gere um movimento rotacional. O policorte a ser utilizado no presente trabalho será comprado pronto, sendo feito apenas adaptações na automação, onde junto a máquina tem-se um motor elétrico de corrente alternada, sendo utilizado para converter energia elétrica em energia mecânica com o objetivo de produzir trabalho em um sistema. Esse método é utilizado para fornecer energia para uma grande variedade de sistemas, variando desde os pequenos servomecanismos até grandes máquinas industriais. A energia rotacional do sistema é produzida a partir da força de campos magnéticos, induzidos pela corrente alternada que flui através de bobinas elétricas (BERTULUCCI, 2014).

A maioria dos motores de corrente alternada possuem dois componentes principais: um estator e um rotor. O estator é um metal com fendas que prendem as bobinas de fio isolado em um núcleo de aço, a corrente alternada passa por esses fios para produzir um campo magnético rotativo. O Rotor é uma haste, com uma pilha de barras condutoras uniformemente espaçadas no seu núcleo. Durante o momento da operação, o núcleo do rotor interage com o campo magnético gerado pelos enrolamentos do estator, fazendo o rotor girar e produzir torque. Todos estes componentes são alojados dentro de uma caixa ou invólucro projetado para proteger o motor e controlar a geração de calor durante o trabalho como mostra a figura 1 (BERTULUCCI, 2014).

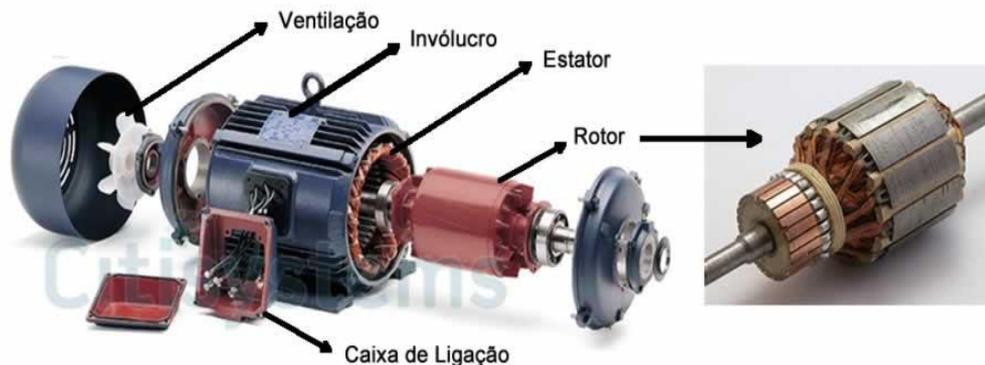


Figura 1- Imagem de componentes de um motor. Fonte - Cristiano Bertulucci Silveira, Automação Industrial (2014)

Além do motor elétrico do policorte, será adicionado um “motorreductor” para o avanço do tubo a ser realizado a medição e o processo de corte, esse motorreductor é um equipamento formado com a mesma composição do motor elétrico e um redutor de engrenagens em um único pacote. O objetivo é fornecer movimento rotativo com um torque elevado, reduzindo a velocidade. Realizando a adequação da velocidade para a rotação necessária do avanço do tubo e com seu torque elevado, suportando o peso (IBR, 2016).

Introdução a automação

Os avanços tecnológicos proporcionam que hoje um sistema elétrico seja comandado e supervisionado de forma cada vez mais automática, simples, ocupando menos espaço e com custos cada vez menores (MATTEDE, 2019).

Segundo a definição encontrada no Dicionário Aurélio um sistema automático é aquele no qual “os mecanismos controlam seu próprio funcionamento, quase sem a interferência do homem” (PELLINI, 2015).

Existem diversos equipamentos utilizados na automação industrial, porém, o controlador lógico programável (CLP) é um dos mais importantes. O CLP surgiu no final da década de 1960 e revolucionou os comandos e controles industriais. Nessa época, a automação era executada quase totalmente por relés com base em lógica fixa, ou lógica hardware, o que resultava em enormes armários de relés eletromecânicos interligados por circuitos elétricos e extensas fiações (RIBEIRO, 1999).

CLP é um dos controladores mas usados nas indústrias, ele é um equipamento que foi projetado com o intuito de comandar e monitorar máquinas ou processos industriais, ou seja, o CLP é um computador com microprocessador que desempenhe funções de controle através de softwares desenvolvidos por um profissional que possui uma memória programável para armazenamento interno e instruções para comandar o equipamento como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética para controlar através do módulo de entrada. Cada CLP possui seu próprio software dedicado para determinado processo a ser executado. Para que o processo seja correto, é preciso que seja monitorado por sensores, que possa atuar através das leituras (RIBEIRO, 1999).

O CLP é responsável por fazer a conexão entre os atuadores e sensores através de diversos componentes elétricos e eletrônicos como botoeiras (botões de liga/desliga), botões de parada de emergência, sensores, disjuntores e painel de energia.

Sistema pneumático como parte da automação

A utilização de componentes hidráulicos e pneumáticos na automação e controle de máquinas e processos já está bastante consolidada tendo sido, nas últimas décadas, reforçada pelo grande desenvolvimento tecnológico da eletrônica, possibilitando a solução de problemas ainda mais complexos. A eletrônica se faz presente nos sistemas hidráulicos e pneumáticos de duas formas: por um lado, por meio da disponibilização de sensores eletrônicos e de CLP s (Controladores Lógicos Programáveis) e por outro, com a incorporação de circuitos de realimentação e compensação em válvulas (NEGRI, 1999).

O sistema pneumático é muito utilizado em grandes indústrias, apesar de ser um sistema não muito preciso, pode ser mais rápido do que um sistema hidráulico, gerando agilidade no processo industrial.

As principais vantagens de se usar os sistemas pneumáticos:

- É encontrado com grande facilidade no ambiente;
- Melhor funcionamento em qualquer situação térmica;
- Um simples sistema de filtragem torna-se o ar comprimido limpo;
- Se houver algum tipo de vazamento de ar, não ocorrerá poluição ambiental;

- Consegue alcançar grande velocidade de trabalho;
- Torna-se seguro contra sobrecarga.

Como todo sistema, há suas limitações, tais como:

- Variação na velocidade conforme compressibilidade do ar;
- Escapes muito ruidosos, sendo obrigado a usar algum tipo de silenciador.

Apesar de suas limitações o sistema pneumático será o mais viável para o projeto, obtendo menor custo benefício e atendendo as especificações, com maior agilidade e versatilidade no processo de corte e travamento do material a ser cortado.

Existem vários tipos de atuadores pneumático portanto o definido para o projeto é o de movimento linear o qual esses tipos de atuadores tem por finalidade transformar energia pneumática em movimentos retilíneos. O atuador no projeto terá como função fazer a movimentação do policorte para o processo de corte assim também fazer com que o material a ser cortado seja travado durante o processo de corte, gerando mais segurança para o operador da máquina.

Metodologia

Como otimização da policorte, será feito toda automação para que o corte seja realizado de forma automática, através dessa tecnologia, é possível proporcionar mais segurança, ergonomia, agilidade, cortes precisos, aumento de produção, não sendo necessário a utilização de gabaritos como usado nos dias atuais.

O desenvolvimento inicial do projeto foi feito através do software de design Autodesk Inventor 2018, tendo em vista desenvolver uma bancada de trabalho para ser adaptada a policorte e todos seus componentes para a automação conforme a figura 2.

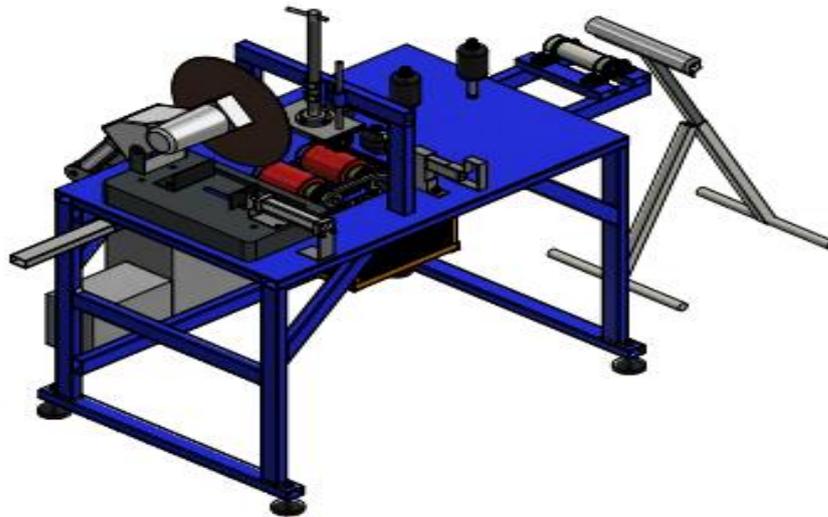


Figura 2 - Bancada sem a proteção. Fonte: Autores.

A bancada de trabalho foi desenvolvida para sustentar o maquinário e componentes utilizados a fim de garantir uma estabilidade segura no momento do corte, evitando possíveis falhas que possam interferir no produto final.

Como parte da automação e a substituição da mão de obra humana pela máquina, foram desenvolvidos sistemas de roletes e guias apoiados sobre mancais para melhor sustentação, fazendo com que o processo seja realizado com qualidade e precisão. Os roletes foram dimensionados para que haja um nivelamento da máquina através da bancada de trabalho e entrada da policorte, com a finalidade de que o material deslize sobre eles e chegue ao sensor indutivo da régua de medidas. Para avanço e alimentação do material a ser passado pelo processo de corte, foi desenvolvido um sistema de dois roletes transportadores onde foram revestidos com Poliuretano para melhor aderência e evitar deslizamentos, adaptado em cada eixo uma engrenagem para receber o movimento gerado pelo motorreductor e corrente de aço, sendo acoplados em mancais de apoio.

No sistema pneumático desenvolvido na automação da policorte, será utilizado quadro de comando pneumático, mangueira, conexões, válvulas solenóide, válvulas reguladoras de fluxo, válvulas silenciadora, atuadores, lubrificante e compressor. Para o processo de corte será utilizado o sistema pneumático em duas situações, uma no processo de trava do material, através do atuador instalado na prensa com a finalidade de que o material esteja reto não afetando a qualidade e

precisão do corte. E outro para movimento de avanço e retorno da policorte, sendo substituído a mão de obra humana pelo atuador.

A automação elétrica é o processo aplicado a fim de tornar automático determinadas funções, como acendimento de luzes até funções mais complexas realizando alimentação de energia, o acionamento e o controle de máquinas na linha de produção. No presente projeto, como parte da automação da policorte, foi implantado o sistema pneumático em conjunto ao sistema elétrico, garantindo a substituição da mão de obra humana através de programações. Sendo como objetivo aumentar a produtividade, reduzir a despesa com mão de obra, melhor qualidade e segurança.

Como um dos objetivos é mais segurança, foi desenvolvida duas gaiolas de proteção conforme a figura 3, para evitar acidentes durante o processo.



Figura 3 – Imagem do projeto no inventor e finalizado. Fonte: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a automação da máquina policorte, foi possível de se obter grandes vantagens como na ergonomia ao operador da máquina, visando o bem-estar do mesmo evitando movimentos de agachar e levantar, substituição do trabalho bruto manual pelo automatizado, trazendo assim um resultado satisfatório nos processos de corte, pois o operador pode em um plano de trabalho somente, medir e cortar materiais. Além do mais foi possível se obter:

- Aumento de produtividade
- Redução de custos operacionais

- Maximizar a precisão no corte
- Facilitar o manuseio do equipamento

Durante o desenvolvimento do projeto, teve-se acompanhamento de métodos convencionais durante o processo de corte, obtendo assim um ótimo resultado e avanço na produção através do projeto.

Com dados coletados em uma serralheria renomada da região de Araçatuba-SP que utilizam métodos convencionais como morsa, lixadeira e trena, foi possível notar um grande avanço através da automação da policorte, como segue o exemplo na tabela 1:

Tabela 1 - Diferença no processo de corte.

Método	Tempo de processo	Precisão	Quantidade
Convencional	42 Min	Boa	40Un
Policorte automatizada	42 Min	Ótima	78Un
Resultados			Aumento de 28pç

Fonte: Autores.

Foi acompanhado um processo de corte de 42 minutos barras aço carbono 1020 de 27cm, através do método convencional foi realizado o corte de 40 unidades, o resultado da qualidade do corte e precisão foi boa devido a experiência no ramo do trabalhador que realizou a tarefa, porém foi possível notar que houve um desvio do padrão devido aos vícios dos métodos convencionais como: realizar somente a primeira medida, fazendo com que as demais se tornem referência do primeiro corte, ao riscar a barra com o gabarito em cima, existe um distância da ponta riscador e das extremidades laterais, fazendo com que dê um erro de medida nas barras seguintes, sendo necessário realizar a medida em todas as barras ao fim do processo. Já na policorte automatizada realizou o corte de 78 unidades, não é necessário que o operador tenha um conhecimento no ramo, apenas deve conhecer o manual de instruções para manuseio da máquina, após a alimentação e ajustes na régua de medidas e dado início do processo, ao término do corte das 78 unidades,

foi possível notar a diferença da qualidade do corte, com a policorte automatizada, todas as barras estavam exatamente na mesma medida e sem a exaustão do operador pois o mesmo não requer esforço físico.

Com base nesses resultados, pode-se obter um ganho de até 35% no processo de corte com a automação da policorte, um outro ponto que foi possível de ser notado é a precisão dos cortes seguintes, sendo de costume a utilização de gabaritos, realizando a medida exata apenas no primeiro corte, enquanto a automação da policorte resulta em todos os cortes com exatamente a mesma medida. Com o aumento da produtividade para determinada tarefa através da automação, a empresa pode aumentar sua produção em até 35% com a mesma despesa.

Tabela 2 - Tabela de custos do operador

Salário	Carga horária por dia (segunda a sexta- feira)	Carga horaria mensal	Aumento da produtividade	Redução na carga horária mensal
R\$1.800,00	8Hr	160Hr	35%	56Hr

Fonte: Autores.

Com base na tabela 2, pode-se notar a redução na carga horária do trabalhador que por consequência gera uma economia para a empresa. É possível que com a realização da tarefa em menor tempo, a empresa possa aumentar seu faturamento. Entregando pedidos em prazos estabelecidos, o salário dado como exemplo está livre de encargos.

Hora do operador x Redução na carga horária

$$R\$11,25 \times 56 \text{ Horas} = R\$630,00 \text{ mensais}$$

Com base nessa conta de economia de custos da empresa em honorários do trabalhador, a máquina que tem o valor total para aquisição de R\$11.300,00, pode se pagar em 18 meses somente com a redução do custo de mão de obra do

operador. Deve-se levar em consideração o aumento da produtividade para que a máquina se pague em menor tempo.

Durante o desenvolvimento do projeto, encontraram-se dificuldades como:

- Alimentação do material: Foi necessário a utilização de um cavalete para apoio da barra fora da bancada de trabalho, pois a mesma vem com um padrão de 6m de comprimento.

-Material deslizando: Foi necessário a instalação de novas guias ajustáveis para que o corte fosse realizado com precisão e qualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as expectativas de crescimento nos setores metalúrgicos é essencial deixar para trás os meios convencionais de trabalho e introduzir ferramentas mais eficientes. Com a automação da policorte foi possível alcançar novos recordes em processos como, na garantia do prazo estabelecido de entrega, ergonomia do operador evitando doenças ocupacionais, qualidade e precisão no produto final. Além do mais gerando uma economia significativa para a empresa.

Todos os objetivos propostos no início de projeto foram alcançados, dificuldades e imprevistos apareceram, porém solucionados para que o resultado fosse de uma máquina eficiente.

REFERÊNCIAS

ABECOM, **MANCAIS, VOCE SABE OQUE É?** Disponível em <<https://www.rolport.com.br/faq/mancais-de-rolamentos--voce-sabe-o-que-e>>, acessado em 06 de novembro de 2019.

ABECOM, **O QUE É ROLAMENTO?** Disponível em <<https://www.abecom.com.br/o-que-e-rolamento/>>, acessado em 06 de novembro de 2019.

ALBUQUERQUE, Pedro U. Braga de, THOMAZINI, Daniel. **SENSORES INDUSTRIAIS**. 1º edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

ALBUQUERQUE, Prof. Carlos Eduardo Camargo. **PROCESSOS DE CORTE**, 2017. Disponível em <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasprofcamargo/processos2010/1%20Historico.pdf>>, acessado em 25 de Abril 2019.

BARROS, Kenia Batista, **CARACTERÍSTICAS DO AÇO GALVANIZADO**, 2013. Disponível em <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-986HZV/disserta_o_15.04.pdf?sequence=1>, acessado em 31 de maio de 2019.

BERTULUCCI, Cristiano Silveira. **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**, 2014. Disponível em <<https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/>>, acessado em 12 de maio 2019.

BORNES PARA QUE SERVEM. Disponível em <<http://www.ilumisul.com.br/bornes-para-que-servem/>>, acessado em 05 de novembro de 2019.

CASTRUCCI, Plínio, SALES, Roberto Moura. **CONTROLE DIGITAL**. vol. 3. Sp.1990.

DUARTE, Felipe. **O QUE SÃO CONTADORES.** Disponível em <<https://www.bluelux.com.br/contadores-o-que-sao-e-para-que-servem/>>, acessado em 05 de novembro de 2019.

ENERGY, Leonardo. **A HISTÓRIA DO MOTOR ELÉTRICO**, 2018. Disponível em <<https://www.leonardo-energy.org.br/noticias/a-historia-do-motor-eletrico/>>, acessado em 20 de abril 2019.

FERRAMENTAS DE CORTE – UM DOS PRINCIPAIS ITENS EVOLUTIVO DO SER HUMANO. Disponível em <<http://www.mill.com.br/ferramentas-de-corte-um-dos-principais-itens-evolutivo-do-ser-humano/>>, acessado em 28 de abril 2019.

GODOI, Eduardo Raimundo; SILVA, Jose Carlos Alves. **POLICORTE AUTOMATIZADA: PRATICIDADE NO MANUSEIO E CORTE DE BARRAS E TUBOS**. Garça-SP: Faculdade de Tecnologia de Garça “Deputado Júlio Julinho Marcondes de Moura”, 2015.

GUIA TRABALHISTA, NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, 1978. Disponível em <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>>, acessado em 02 de maio de 2019.

HIBBELER, Russel C. **RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**. 7ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HISTÓRIA DAS FERRAMENTAS. Disponível em <<http://www.semar.com.br/historiaferramentas.htm>>, acessado em 27 de abril 2019.

IBR, **MOTORREDUTORES**, 2016. Disponível em <<http://www.redutoresibr.com.br/pt/Noticia/motorredutores--o-que-sao->>>, acessado em 12 de maio 2019.

LUZ, Gelson, **AÇO CARBONO SAE 1020**, 2019. Disponível em <<https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>>, acessado em 30 de maio de 2019.

MARINS, Alisson. **TECNOLOGIA PNEUMÁTICA**. Salto: IFSP Instituto Federal de São Paulo, 2009.

MATTEDE, Henrique. **COMO FUNCIONA OS DISJUNTORES**. Disponível em <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-os-disjuntores/>>, acessado em 05 de novembro de 2019.

NIEMANN, Dr eng. G. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS**. Editorial Labor. A, 1973.

NORTON, Robert. **PROJETO DE MÁQUINAS**. 4^o edição, 2013.

NUSSBAUN, Gulaim Ch. **REBOLOS E ABRASIVOS: TECNOLOGIA BÁSICA**. Editora Ícone – São Paulo, 1988.

PARLOW, Ricardo de Campos, **ADEQUAÇÃO DE UMA SERRA CIRCULAR À NR-12**, 2014. Disponível em <http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Ricardo_de_Campos_Parlow.pdf>. Acesso em 01 de maio de 2019.

PELLINI, Eduardo L.; **INTRODUÇÃO A AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**. Versão 1.1. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 2015.

PENIDO, Édilus C. C.; COSTA, Pedro L. A. O, **PROJETOS DE AUTOMAÇÃO**. Ouro Preto-MG:Redee-Tec, IFSP Instituto Federal de São Paulo, 2016.

RIBEIRO, Marco A.; **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**. 4^o edição. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

SALES, Plínio C. R. M.; **CONTROLE DIGITAL**. Volume 3. São Paulo: Editora Edgard Blutchter Ltda, 1990.

Projeto e desenvolvimento de máquina de roscas helicoidais

Development and project of a helicoid screws machine

Lucas Badaró Silva Rodrigues¹

Fernando Gabriel Eguía Pereira²

RESUMO

O presente artigo traz a descrição teórica e prática do projeto e construção de um equipamento que faz a conformação de barras chatas de aço carbono SAE 1020 e aço inox AISI 304 em fita helicoidal de diâmetro e comprimento de passes específicos. O projeto consiste em um sistema de roldanas acionadas por um conjunto motriz a partir de uma combinação de um motor e um redutor tracionam a barra chata fazendo-a que se conforme plasticamente em um helicóide. Este projeto automatizou o processo de fabricação de uma rosca helicoidal, diminuindo significativamente o tempo e custo de produção.

Palavras-chave: Conformação, helicóide, rosca transportadora.

ABSTRACT

The current article describes the theoretical and practical design and construction of an equipment that forms SAE 1020 carbon steel and AISI 304 stainless steel flat bars in helical shape with specific diameter and pitch. The equipment consists of a set of pulleys, driven by a geared motor, which plastically deforms the flat bar in a helical shape. This project automates the manufacturing process of a helical, significantly reducing production time and cost.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP.

² Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica. Orientador do trabalho e Docente do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da evolução o homem cria dispositivos e ferramentas que o auxiliam em determinados processos e tarefas, e após as revoluções industriais foi verificado que a tecnologia voltada para os processos dentro de uma cadeia produtiva é um ponto chave para se obter um produto com alta competitividade no mercado.

Tendo em vista esta alta competitividade, a automação de processos manuais por sistemas mecânicos é quase que obrigatório se quiser um tempo de produção menor com um custo final de fabricação também menor.

Para se ter um produto competitivo dentro do mercado, diminuir o tempo e o custo de produção são fatores cruciais.

Diminuir os custos de produção e o tempo que leva para ser entregue aos clientes seus pedidos estão intimamente ligados à modernização dos processos de produção. Tarefas repetitivas que necessitam de esforço braçal são características de que o processo em análise necessita de melhoria no método de produção e/ou mecanização do trabalho.

Seguindo este conceito foi verificado que o processo de fabricação de um dos componentes uma rosca helicoidal que fazem parte de uma máquina para tratamento de sementes de uma empresa, gasta um tempo demasiadamente grande assim gerando um custo de produção maior.

Dado o problema teve-se a ideia do desenvolvimento de um projeto mecânico capaz de realizar a conformação do metal de forma automática.

METODOLOGIA

Revisão bibliográfica

Transportador helicoidal

O transportador helicoidal também conhecido como transportador parafuso é um dos mais antigos sistemas de transportes de materiais, como o parafuso de

Arquimedes (287 a.C. – 212 a.C.) utilizado na antiguidade para transportar água entre níveis diferentes.

Segundo Gehrke (2017), o transportador helicoidal é um equipamento capaz de fazer a movimentação de materiais tanto em planos horizontais como inclinados onde esta movimentação se dá por arraste e seu sentido é determinado pelo sentido de rotação do helicóide (direito ou esquerdo).

Segundo Milman (2002), a configuração básica de um transportador helicoidal é dada por um tubo ou calha, onde em seu interior tem-se um helicóide que é montado sobre um eixo apoiado em suas extremidades em mancais de rolamento auto compensadores de rolo e quando necessário na parte intermediária em mancais de deslizamento. Seu acionamento geralmente é feito por moto-redutor.

Conformabilidade plástica

Segundo BRESCIANI (2011) a capacidade em que um metal ou liga-metálica tem em sofrer uma deformação plástica sem apresentar irregularidade como fraturas, trincas, ou seja, algum defeito macroscópico é chamado de conformabilidade plástica onde está intimamente ligada ao processo de conformação em que esta peça irá ser submetida.

A temperatura tem vital influencia na característica que o metal tem em ser conformado onde são denominados trabalhos de conformação mecânica à frio ou à quente.

Como as influências nas características de conformabilidade estão intrinsecamente ligados a um processo específico de conformação, existem fatores de princípios mecânicos e metalúrgicos do material que devem ser analisados para que haja melhor aproveitamento das propriedades do material e do processo de conformação. Em considerações gerais a capacidade de conformabilidade de um metal está associado a uma maior ductilidade e uma baixa resistência mecânica para suportar as cargas de tensões da deformação plástica.

No processo de conformação das fitas helicoidais por se tratar de uma barra chata de dimensões constantes pode-se afirmar que a distribuição tensão-deformação se mante constante em todo processo.

Cada vez que o ponto físico do corpo passa durante o processo de escoamento por um determinado ponto geométrico, ele é submetido à um mesmo estado de tensão e de deformação (BRESCIANI et al, 2011, p. 150).

Um fator de influência na conformabilidade do material é o atrito entre o componente em trabalho com a ferramenta de conformação uma vez os esforços exercidos à peça alteram as condições de conformação. Outro fator é a velocidade de conformação uma vez que as características dos metais se alteram conforme a velocidade do processo.

Destaca-se novamente a influência da temperatura onde, com a sua elevação aumenta também a capacidade de deformação do material.

Construção do protótipo

O projeto da Máquina de Roscas Helicoidais teve como início o desenvolvimento do protótipo virtual de modelamento em software tipo CAD o Autodesk Inventor Professional 2019.

Como o produto final já existe e se conhece todas as dimensões, com o auxílio do software foi realizado um estudo das dimensões dos diâmetros máximos e mínimos das polias que irão fazer a conformação do material assim como as distâncias entre elas.

A empresa solicitante do projeto possui a disponibilidade de recursos para fabricação, tais como: máquina de corte à plasma, tornos mecânicos, fresadoras, furadeiras de bancada, máquinas de solda MIG, guilhotina. Todos estes recursos são operados por profissionais habilitados e capacitados para as funções no que contribuiu na escolha da geometria dos componentes.

A base estrutural do projeto tem a função de sustentar todos os componentes e o sistema motriz de conformação mantendo estabilidade e confiabilidade na hora da conformação. O conjunto estrutural da base é composto por um conjunto de chapas de aço carbono 1020 de 1/2 pol. de espessura soldadas. Por se tratar de uma chapa de espessa para o corte utilizou-se o recurso de uma máquina de corte á plasma, equipamento que agiliza o processo.

Após o corte as peças foram para o setor de usinagem onde utilizando a fresadora foi realizado a usinagem dos furos e rebaixos para fixação dos demais

componentes. Para a união das peças o processo adotado foi a solda MIG, por suas características mecânicas e baixo custo serem satisfatória.

Para a fixação das roldanas que fazem a conformação da barra chata foi projetado um conjunto de chapas com geometrias complexas que se encaixam e são fixadas através de parafusos. Pensando na praticidade na manutenção e possíveis trocas das peças esses conjuntos não terão uniões permanentes (soldas).

As roldanas fixas e a de tração tem como função fazer a conformação do material mantendo-o fixado e estável na hora da operação. Elas possuem a geometria de uma polia com diâmetro externo de 74mm e diâmetro interno de 50mm com 24mm de espessura e 4mm de vão entre os diâmetros inferior e superior onde a barra chata de 1/8 pol. irá ser fixada e conformada. Ao centro da roldana de tração tem um furo por onde passará o eixo motriz do redutor

Pelo alto atrito entre a roldana e a barra chata, o material escolhido para fabricação foi o aço carbono 1045, um aço com maior concentração de carbono por isso tem maior resistência ao desgaste.

O conjunto do fuso tem a função de transmitir o deslocamento para o conjunto de fixação da roldana móvel. Com este deslocamento consegue-se ter a fixação da barra chata entre as roldanas de conformação e controla-se o diâmetro interno do helicóide.

O suporte do fuso é fabricado a partir da usinagem de uma chapa de aço carbono 1020 de 3/4 pol. onde a base encaixa-se na chapa vertical do conjunto da estrutura base sendo fixados por parafusos. A barra do fuso é feita a partir de uma barra redonda de aço 1020 trefilado de 3/4 pol. onde uma rosca fina 5/8 pol. é usinada. Com um movimento circular através do puxador de baquelite e o braço de alavanca feito de uma barra chata de 1pol x 1/4pol. de aço carbono 1020 fixado no final do fuso o operador transforma este movimento circular em linear assim fazendo o deslocamento do fuso consequentemente do conjunto de fixação da roldana móvel.

O conjunto de guias é composto por três componentes onde possuem a função de ajustar os passos do helicóide (distância entre duas cristas consecutivas). O primeiro guia ajusta o material em conformação na saída da roldana de tração onde apoia na face superior do helicóide para que o mesmo não force a aba da roldana com a finalidade de não danificar nem a roldana nem o helicóide. Os outros

guias apoiam-se na face inferior do material e são elas que fazem em duas etapas os passos do helicóide.

Todo os componentes são fabricados em chapas de aço carbono 1020 de 1/4pol. de espessura. Para diminuir o atrito e possíveis danificações dos componentes e do material em conformação na região onde terá contato foi desenvolvido um sistema de roletes feitos de aço carbono 1020 com eixos e rolamentos. Por serem somente de apoios a força exercidas sobre o sistema de roletes são desprezíveis. Abaixo ilustração do conjunto de guias.

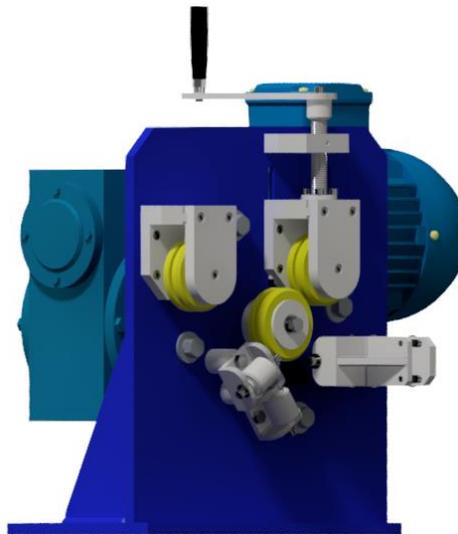


Figura 1 – Desenvolvimento da Máquina de Roscas Helicoidais em Autodesk Inventor®. Fonte: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento da máquina de roscas helicoidais obteve-se significativas vantagens começando pela ergonomia dos trabalhadores que faziam a fabricação dos helicóides de forma artesanal; economia na mão de obra pois antes era necessários dois trabalhadores para desenvolver a fabricação da rosca; e uma expressiva diminuição no tempo que era gasto para a fabricação, assim obteve-se:

- Aumento de produtividade;
- Diminuição dos riscos de acidentes de trabalho;
- Diminuição dos custos de produção;

Para a fabricação manual do helicóide, a matéria prima precisa passar por duas etapas de preparação antes de ir para processo de conformação. A primeira é a necessidade de se cortar ao meio a barra chata, assim tendo duas partes de três metros. Esta atividade demanda um tempo médio de 5 minutos e um recurso que custa 10 R\$/hora. A segunda etapa é o corte em ângulo da ponta da barra chata para que se possa fazer a fixação no gabarito, como que esta atividade é necessária tanto no processo manual como no mecânico os custos se cancelam. Portanto na preparação o custo é de R\$ 0,80. No processo de conformação demanda um tempo médio de 40 minutos para cada parte de três metros da barra e utiliza-se dois recursos de 15 R\$/hora cada. Sendo assim o custo médio é de R\$ 40,00 por barra de 6 metros. Assim totalizando um tempo médio de 85 minutos com custo de R\$ 40,80.

No processo mecânico de fabricação não se tem a necessidade de cortar ao meio a matéria prima, então não há custos de preparação uma vez que se desconsidera a etapa de corte da ponta pois é necessário em ambos processos. O processo de conformação demanda um tempo médio de 6 minutos para a fabricação dos 6 metros de barra chata e utiliza um recurso que custa 15 R\$/hora. Portanto o custo médio é de R\$ 1,50.

Fazendo um estudo comparativo do tempo e custos entre os dois processos, o resultado foi uma diminuição de aproximadamente 93% no tempo de fabricação que influenciou em uma diminuição de aproximadamente 96% no custo de fabricação do helicóide.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o projeto atendeu ao proposto no objetivo que era o desenvolvimento de um equipamento mecânico capaz de fazer a conformação de uma barra-chata de aço em uma rosca helicoidal de forma automática e contínua.

O desenvolvimento deste projeto teve retornos satisfatórios tanto economicamente quanto na preservação da saúde dos trabalhadores.

Considera-se o conhecimento adquirido ao longo de todo o desenvolvimento deste projeto de muita valia para formação profissional e pessoal, visto que além do aprendizado acadêmico e técnico se fez necessário a articulação interpessoal com todos os setores dentro dos processos produtivos.

REFERÊNCIAS

- ARCELORMITTAL. **Guia do Aço**. Disponível em:
<<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>> Acesso em:
22 mar. 2019
- ATLAS STEELS. **Stainless Steel Grade Datasheets**. 2013. Disponível em:
<http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Atlas_Grade_datasheet_-_all_datasheets_rev_Aug_2013.pdf> Acesso em:
22 mar. 2019
- BASSO, Igor F. **Projeto de uma Dobradeira de Tubos**. Alegrete: UniPampa. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica, 2014
- BRESCIANI, Ettore F. Da Silva, Iris B. Batalha, Gilmar F. Button, Sérgio T. **Conformação Plástica dos Metais**. 6 ed. Disponível em: <
<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>
> Acesso em 25 mar. 19
- BUDYNAS, Richard G. & Nisbett, J. Keith. **Elementos de Máquina de Shigley**. 10. ed. AMGH Editora Ktda, 2016.
- GEHRKE, Gabriel A. **Revestimento de Roscas Helicoidais Agrícolas a Base de CrC Depositado Via HVOF Posteriormente Irradiadas com Aaser de Nd YAG e de CO2**. Disponível em:
<<http://dspace.unipampa.edu.br:8080/bitstream/riu/2065/1/Gabriel%20Angelo%20Gehrke%20-%202017.pdf>> Acesso em: 9 de abr. de 2019
- GONZÁLEZ, Paula C. S. **Técnica não Convencional para Dobramento de Tubos de Parede Finas Usando Elastometro**. Disponível em:
<<http://161.24.11.4/tesesdigitais/000444759.pdf>> Acesso em: 26 mar. 19
- GROOVER, Michael P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems**. 3 ed. United States of America: Jhon Willey & Sons, 2007.
- MILMAN, Mário J. **Equipamentos para Pré-Processamento de Grãos**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/66792238-Equipamentos-para-pre-processamento-de-graos-mario-jose-milman.html>> Acesso em: 9 de abr. de 2019

NICKEL DEVELOPMENT INSTITUTE, **Design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel. A Designers' Handbook Series N°9014**. Disponível em: <https://www.nickelinstitute.org/media/1667/designguidelinesfortheselectionanduseofstainlesssteels_9014_.pdf> Acesso em: 20 mar. 2019

OCHÔA, Ana L. da S. **Avaliação do Índice de Quebra de Grãos em Transportadores Agrícolas**. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/598/TCC-final%20-%20ANA%20CHOA.pdf?sequence=1>> Acesso em: 9 de abr. de 2019

POLL, Marcia T. **Uma Metodologia para Automação do Processo de Conformação por Calandras**. Santa Maria: UFSM. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2008.

SACRAMENTO, Roberto. C. F. **Transportadores Contínuos para Granéis Sólidos**. 2012 Disponível em: <http://www.transportedegraneis.ufba.br/Apostila/CAP9_TH.pdf> Acesso em: 10 de abr. de 2019

SILVA, Leonardo Perpétuo da. **Inversor de Frequência**. 2011 Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000008/000008bd.pdf>> Acesso em: 13 de ago. de 2019

SHACKELFORD, James F. **Ciências dos Materiais**. 6. Ed. Pearson, 2008

Desenvolvimento e prototipação de exoesqueleto para neuroreabilitação de membros superiores

Development and prototyping of exoskeleton for neuroreabilitação of upper members

Alan Borges Ramos¹
Dyogo Henrique Pereira da Silva¹
Fabricio Consoni Bardella¹
Guilherme Hernandes Dias Meira¹
Kphefciana Garbossa Sena Rossi¹
Lucas César Araújo Galves¹
Flávio Medina Favarin¹
Jander Dantas Ferreira¹
André Tiago de Oliveira Canuto²
Nelson Hitoshi Takiy³
Carla Komatsu Machado⁴
Fernando Henrique Alves Benedito⁵
Edval Rodrigues Viveiros⁶

RESUMO

Esse artigo apresenta o projeto mecânico do exoesqueleto para membros superiores, tendo enfoque na criação e execução da órtese desenvolvida para cooperar no tratamento fisioterapêutico. Através do auxílio das repetições de movimentos, proporcionará estímulos referentes ao sistema nervoso, neurológico e muscular, visando os processos de recuperação e regeneração dos aspectos funcionais e estruturais do sistema neuro musculoesquelético. Em linhas gerais, proporcionará melhoramento funcional das partes móveis do corpo, respeitando o nível máximo de potencial que o paciente apresenta, propiciando os movimentos na articulação do ombro (flexoestensão, abdução-adução, adução horizontal e

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: alanbramos@hotmail.com, dyogo.248@gmail.com, fabricio_consone@hotmail.com, guilhermehdmeira@hotmail.com, kphefgsr@outlook.com, lucasgalves777@gmail.com

²Projetista mecânico, Torneiro mecânico, empresa Remak Montagem Industrial, Araçatuba

³Mestre, Docente e Coordenador das Engenharia Elétrica, Mecânica e Mecatrônica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium Araçatuba.

⁴Mestre, Docente e Coordenadora do curso de Fisioterapia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium Araçatuba.

⁵Fisioterapeuta, Engenheiro Mecatrônico, Docente do Curso de Fisioterapia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium Araçatuba.

⁶Físico, Doutor e Mestre em Educação para a Ciência pela Universidade Estadual Paulista - UNESP. Orientador do trabalho e Docente do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – UniSALESIANO de Araçatuba. E-mail: edvalrv@hotmail.com

abdução horizontal) e cotovelo (flexoestensão). O sistema permitirá, além do ajuste da amplitude do movimento, o ajuste por comprimento antropométrico.

Palavras-Chave:Exoesqueleto, Membro superior, Fisioterapêutico, Reabilitação, Baixo custo.

ABSTRACT

This paper presents the mechanical design of the upper limb exoskeleton, focusing on the creation and execution of the orthosis developed to cooperate in the physical therapy treatment. Through the aid of repetition of movements, it will provide stimuli related to the nervous, neurological and muscular system, aiming at the recovery and regeneration processes of the functional and structural aspects of the neuro musculoskeletal system. In general, it will provide functional improvement of the moving parts of the body, respecting the maximum level of potential that the patient presents, providing movements in the shoulder joint (flexion, adduction, horizontal adduction and horizontal abduction) and elbow (flexion). In addition to adjusting the range of motion, the system will allow for anthropometric length adjustment.

Keywords:Exoskeleton, Upper Limb, Physical Therapy, Rehabilitation, Low Cost.

Introdução

Segundo indicadores sociais cenário nacional, a partir do levantamento de informações oficiais sobre o tema pessoa com deficiência no Brasil precede a fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sobre esse contexto, realizou os censos demográficos de 2010, o IBGE aponta que a proporção das pessoas com deficiência na população é de 6,7%, sendo que 2,3% está relacionada a deficiência motora propriamente, caso considerar a parcela social que apresenta alguma dificuldade nas habilidades motora essa porcentagem passa a ser de 7% . Tais indivíduos que possuem perdas na força motoras e restrição de movimentos dos membros superiores do corpo, dependem diariamente de ajuda para executar tarefas ou ações consideradas simples do cotidiano. Tal dependência pode afeta alguns indicadores, não apenas nos campos associados à pessoa com deficiência, como saúde, proteção social e acessibilidade, mas também relativos ao

campos sociais como à educação, trabalho, rendimentos, vitimização e participação política, visto que a movimentação nos membros inferiores seja ela reduzida ou nula, contribui nestes fatores combinados acarretando na redução da expectativa de vida.

De acordo com TREMBLAY (1996) nota-se que a melhor forma de evitar ou retardar os distúrbios associados à falta de movimentação muscular é a reabilitação fisioterapêutica. O método mais empregado socialmente é a fisioterapia, podendo ser ou não auxiliada por equipamentos ou objetos, permitindo com que as articulações sejam movimentadas de forma que relaxe, alongue e fortaleça os músculos do paciente.

A partir desse cenário, tornou-se indispensável a contribuição para sanar esses fatores sociais, por meio do sistema mecânico o exoesqueleto auxiliará a prática da cinesioterapia, que consiste no treinamento planejado e organizado dos movimentos corporais. Essa prática permite o desenvolvimento do grupo muscular e neurológico que a mesma proporciona, e tem como efeitos a melhora da força, resistência a fadiga, coordenação motora, flexibilidade.

O exoesqueleto propriamente configura-se em uma órtese, segundo HERR (2009) constitui-se de um equipamento mecânico em sua essência antropomórfica, ou seja, imitando movimentos característicos humanos, e que são utilizadas ao redor do corpo, de forma que auxilie o movimento desejado. Em um todo, o exoesqueleto é conhecido por aumentar a quem está o utilizando e a órtese para corrigir (auxiliar) o usuário que possui uma patologia, movimento ou posicionamento incorreto do membro.

De acordo com JOHNSON (2006) a utilização de máquinas de reabilitação robótica, em conjunto com métodos fisioterapêuticos, possibilita que o paciente consiga uma reabilitação em um menor tempo se comparado a pacientes que não utilizam este procedimento.

Nesta perspectiva o projeto busca analisar e discutir o conceito de Tecnologias Assistivas que tem sido fomentado em diversos países, que de modo, classificaram em diversas formas. De acordo com o Comitê de Ajudas Técnicas aprovou por unanimidade, em sua Reunião VII, de dezembro de 2007, a adoção da seguinte formulação para o conceito de Tecnologia Assistiva:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (GALVÃO FILHO et al., 2009, p. 26).

Este projeto tem como finalidade atender e auxiliar a atuação do profissional da área médica e facilitar a recuperação do paciente que possui alguma limitação em relação a sua estrutura muscular, facilitando a reabilitação dos membros superiores. Outro fator considerado consiste no custo financeiro, visto que a maioria dos sistemas mecânicos como órtese, estruturas similares ao projeto possui um valor elevado, uma vez que a parcela significativa da população não possui condições de adquirir um equipamento, e por outro lado o sistema público de saúde infelizmente não proporciona condições adequadas para o tratamento, havendo uma certa carência desse setor, enfatiza-se a necessidade de buscar condições favoráveis referentes ao custo da produção, corroborando as informações pertinentes para possibilitar a aplicação prática do projeto sem inferir os padrões éticos.

Revisão bibliográfica

Tornou-se indispensável a compreensão do funciona e controle motor humano para interagir mais eficientemente e fixar os mecanismos de transferência de informação entre as articulações do ombro, cotovelo e punho e exoesqueletos robóticos do braço, pois os fatores biológicos influenciaram diretamente na projeção do mesmo.

De acordo com HALL (2016) o termo biomecânica combina o prefixo bio, que significa “vida”, com o campo da mecânica, que é o estudo da ação das forças. A comunidade internacional de cientistas adotou o termo biomecânica no início da década de 1970 para descrever a ciência que envolvia o estudo dos aspectos mecânicos de organismos vivos. Dentro dos campos da cinesiologia e ciência do exercício, o organismo vivo mais estudado é o corpo humano.

A cinemática é a geometria, o padrão ou a forma do movimento em relação ao tempo. A cinemática, que descreve a aparência do movimento, é diferente da cinética, as forças associadas ao movimento. A cinemática linear envolve o formato,

o tipo, o padrão e a sequência do movimento linear ao longo do tempo, sem referência particular às forças que causam ou resultam do movimento. Quando as pessoas aprendem uma nova habilidade motora, o processo de aprendizagem é refletido por uma modificação progressiva na cinemática do movimento. Isso é particularmente verdadeiro para crianças pequenas, cuja cinemática de movimento se modifica com as mudanças normais na antropometria e na coordenação neuromuscular que acompanham o crescimento. Do mesmo modo, quando um paciente reabilita uma articulação lesionada, o fisioterapeuta ou o médico buscam o retorno gradual da cinemática normal da articulação.

Assim, a magnitude de uma força e o comprimento de seu braço de momento afetam igualmente a quantidade de torque produzido. O braço de momento também é chamado algumas vezes de braço de força ou de braço de alavanca.

No corpo humano, o braço de momento para um músculo em relação ao centro da articulação é a distância perpendicular entre a linha de ação do músculo e o centro da articulação. Conforme a articulação se move ao longo de uma amplitude de movimento, há variações nos braços de momento dos músculos que cruzam a articulação. Para qualquer músculo determinado, o braço de momento é maior quando o ângulo de tração sobre o osso está próximo de 90° . No cotovelo, conforme o ângulo de tração se afasta de 90° em qualquer direção, o braço de momento para os flexores do cotovelo diminui progressivamente. Como o torque é o produto do braço de momento pela força muscular, variações no braço de momento afetam diretamente o torque que é produzido por um músculo sobre uma articulação. Para que um músculo produza um torque constante sobre uma articulação durante um exercício, necessita produzir mais força conforme seu braço de momento diminui.

Sempre que o braço de momento da força aplicada for maior do que o braço de momento da resistência, a magnitude da força aplicada necessária para mover uma determinada resistência será menor do que a magnitude da resistência. Sempre que o braço de resistência for maior do que o braço de força, a resistência pode ser movida ao longo de uma distância relativamente grande.

As forças estudadas incluem tanto forças internas produzidas pelos

músculos como forças externas que atuam sobre o corpo. A magnitude da força produzida pelo músculo também está relacionada com a velocidade do encurtamento muscular, o comprimento do músculo quando o mesmo é estimulado e o período de tempo desde que o músculo recebeu o estímulo. Como esses fatores são determinantes significativos da força muscular.

HALL (2016) ressalta que as articulações do corpo humano contribuem decisivamente para dar ao corpo o movimento direcional dos segmentos corporais. A estrutura anatômica de uma determinada articulação varia pouco de pessoa para pessoa, assim como as direções em que segmentos corporais conectados podem se mover na articulação. Entretanto, diferenças na rigidez ou na frouxidão relativas dos tecidos moles circundantes resultam em diferenças na amplitude de movimento das articulações que envolvem tipicamente ações cooperativas de muitos grupos musculares que atuam sequencialmente e em conjunto.

Conforme discorrido por MARQUES (2003), o aumento da flexibilidade articular é frequentemente um componente importante de programas terapêuticos e de reabilitação, assim como de programas desenhados para atletas em um determinado esporte. O aumento ou a manutenção da flexibilidade envolvem o alongamento dos tecidos que limitam a amplitude do movimento (ADM) de uma articulação. Diferentes abordagens para alongar esses tecidos podem ser utilizadas, sendo algumas mais efetivas do que outras por causa das diferentes respostas neuromusculares evocadas.

LIPPERT (2003) afirma que a magnitude da força produzida pelo músculo também está relacionada com a velocidade do encurtamento muscular, o comprimento do músculo quando ele é estimulado e o período desde que o músculo recebeu o estímulo. Esses fatores são determinantes significativos da força muscular.

FLOYD (2016) sustenta que a cinemática é a geometria, o padrão ou a forma do movimento em relação ao tempo. A cinemática, que descreve a aparência do movimento, é diferente da cinética, as forças associadas ao movimento. A cinemática linear envolve o formato, o tipo, o padrão e a sequência do movimento linear ao longo do tempo, sem referência particular às forças que causam ou resultam do movimento. Quando as pessoas aprendem uma nova habilidade

motora, o processo de aprendizagem é refletido por uma modificação progressiva na cinemática do movimento. Isso é particularmente verdadeiro para crianças pequenas, cuja cinemática de movimento se modifica com as mudanças normais na antropometria e na coordenação neuromuscular que acompanham o crescimento. Do mesmo modo, quando um paciente reabilita uma articulação lesionada, o fisioterapeuta ou o médico buscam o retorno gradual da cinemática normal da articulação.

Assim como declara ACKLAND (2011), a magnitude de uma força e o comprimento de seu braço de momento afetam igualmente a quantidade de torque produzido. O braço de momento também é chamado algumas vezes de braço de força ou de braço de alavanca.

CAMPOS (2000) ressalta que no corpo humano, o braço de momento para um músculo em relação ao centro da articulação é a distância perpendicular entre a linha de ação do músculo e o centro da articulação. Conforme a articulação se move ao longo de uma amplitude de movimento, há variações nos braços de momento dos músculos que cruzam a articulação. Para qualquer músculo determinado, o braço de momento é maior quando o ângulo de tração sobre o osso está próximo de 90° . No cotovelo, conforme o ângulo de tração se afasta de 90° em qualquer direção, o braço de momento para os flexores do cotovelo diminui progressivamente. Como o torque é o produto do braço de momento pela força muscular, variações no braço de momento afetam diretamente o torque que é produzido por um músculo sobre uma articulação. Para que um músculo produza um torque constante sobre uma articulação durante um exercício, necessita produzir mais força conforme seu braço de momento diminui.

Conforme exemplificado por NORDIN (2014), sempre que o braço de momento da força aplicada for maior do que o braço de momento da resistência, a magnitude da força aplicada necessária para mover uma determinada resistência será menor do que a magnitude da resistência. Sempre que o braço de resistência for maior do que o braço de força, a resistência pode ser movida ao longo de uma distância relativamente grande.

Há diferentes reações dos pacientes neurológicos e amputados aos protocolos de tratamento fisioterapêutico e tecnologias assistivas, isto é, devido à

sua individualidade particular. Outrossim, é fato que a grande quantidade de pessoas que não possuem estas tecnologias de maneira acessível, por diversos fatores, além do baixo poder aquisitivo. A disponibilização de novas formas e produtos assistivos podem contribuir efetivamente como opção ao indivíduo lesado, assim como novas possibilidades não apenas nas áreas da Engenharia e Saúde (Fisioterapia, Enfermagem, Medicina etc.), mas também para área comercial e industrial.

Metodologia

A metodologia que foi utilizada para obter-se o objetivo foi em pesquisar referências bibliográficas como artigos e livros nos campos da fisiologia, biomecânicas, cinemática de movimento, anatomia, fisiologia do exercício, fisioterapia para condicionar o treinamento e desempenho do exercício que será estimulado pelo exoesqueleto no paciente em reabilitação motora. As informações coletadas têm como finalidade definir potenciais resultantes e suas restrições para dimensionamento da estrutura de forma tênue. Durante a análise averiguou-se uma parcela restrita da população que consiste em uma amostra aleatória, de certa forma caracteriza por ser uma amostra representativa da população dentre a qual variam entre 15 a 50 anos, cujo qual irá fornecer informações para estimar características para as demais.

Verificou certa preocupação na seleção das amostras, para que seja de certa forma representativa, restringindo a ocorrência de pequenas discrepâncias inerentes à aleatoriedade. As características que foram empregues para a seleção das amostras, foram as variáveis qualitativas nominal cujo critério preliminar consiste na distinção por biótipos (brevilíneo, normalíneo e longilíneo), também houve a mensuração de variáveis quantitativas contínuas (estaturas dos indivíduos, amplitude dos movimentos e massa corpórea). No que se diz respeito a distinção das amostras por biótipo, optou-se pela aplicação relacionada ao angulamento da intersecção do bordo costal com o apêndice xifoide, procedimento de inspeção do Ângulo de Charpie.

Para mensuração do dados necessitou-se a utilização de ferramentas e técnicas empregadas para a medição das dimensões físicas, dentre as amostras pré-selecionadas conforme biótipo e gênero, sendo assim requisitou o

aconselhamento de profissionais da área com o propósito de oferecer a capacitação e treinamento para o uso das técnicas corretas de coleta, sem descartar o embasamento teórico prévio, tendo como intuito de exercer a coleta dos dados de forma precisa e coerente.

Partindo da categorização optou-se pelo levantamento de dados a partir de cinco amostras de ambos os gêneros (masculino e feminino) conforme cada biotipo, realizando assim o levantamento dos dados. Cabe ressaltar que o projeto será totalmente mensurado a partir Amplitude de movimento (ADM) está relacionada a quantidade de movimento de uma articulação. Para o dimensionamento do protótipo do exoesqueleto para membros superiores, as medições da ADM restringiram-se apenas ao ombro, cotovelo, punho, dos quais estão dispostas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** os valores teóricos, para coleta utilizou-se o goniômetro.

Quadro 1- Ângulos articulares dos membros superiores.

Articulação	Movimento	Grau de Movimento (graus)
Ombro	Flexão	0°-180°
	Extensão	0°-45°
	Adução	0°-40°
	Abdução	0°-180°
	Rotação Interna	0°-90°
	Rotação Externa	0°-90°
Cotovelo	Flexão	0°-145°
	Extensão	145°-0°
Radioulnar	Pronação	0°-90°
	Supinação	0°-90°
Punho	Flexão	0°-90°
	Extensão	0°-70°
	Adução (Desvio Ulnar)	0°-45°
	Abdução (Desvio Radial)	0°-20°
Carpometacárpica do polegar	Flexão	0°-15°
	Abdução	0°-70°
	Extensão	0°-70°
Metacarpofalanganias	Flexão	0°-90°
	Extensão	0°-30°
	Abdução	0°-20°
	Adução	0°-20°
Interfalângicas Proximais	Flexão	0°-110°
	Extensão	0°-10°
Interfalângicas Distais	Flexão	0°-90°
	Flexão Int. do Polegar	0°-80°
	Extensão Int. do Polegar	0°-20°
	Extensão Int. 2 ao 5 dedo	0°-10°

Fonte: ACE.

Resultados obtidos e análise

Os resultados devem ser categorizados conforme a área de abrangência direta ou diretamente relacionada com o mesmo. Como este projeto é de natureza transdisciplinar, já que abrange Engenharia Mecânica e Fisioterapia, mas está focado aqui apenas na Engenharia Mecânica, concentraremos apenas nesta área. Inicialmente o projeto foi desenvolvido no Autodesk Inventor® Professional 2017, como demonstra na Figura 1 após estudo de estrutura similares, debates em grupo para novas ideias e esboços à mão livre.

Conforme demonstrado as peças de sustentação (apoio das costas, hastes do braço e antebraço) estão fixas permitindo a regulagem ajuste, para permitir a fixação correta ao usuário sem folgas ou desconforto, sendo complementada por um sistema simples de parafusos e porcas que atuarão como fixadores da estrutura, abrangendo uma ampla faixa de tamanhos antropométricos como demonstrado na Figura 2.

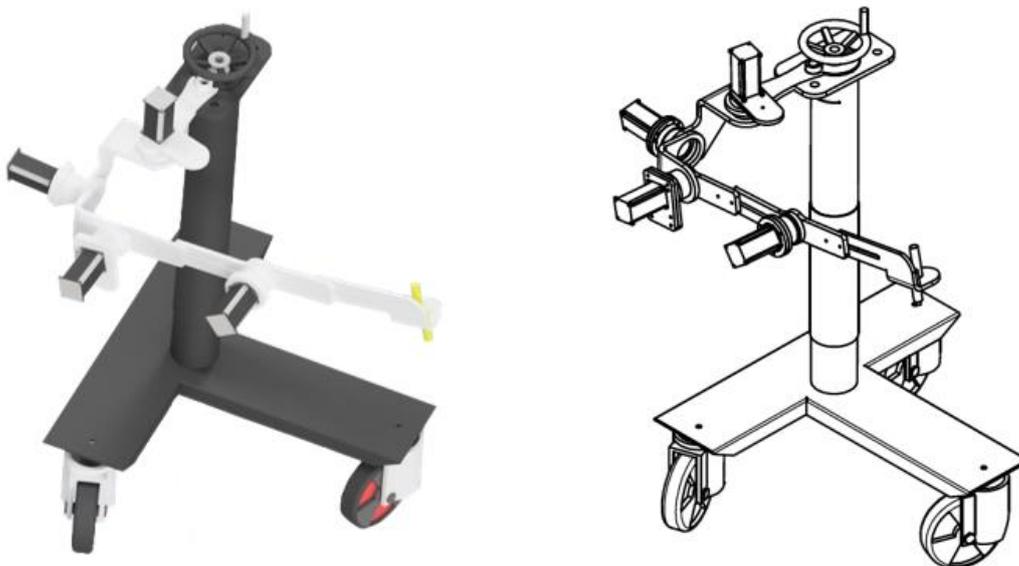


Figura 1- Desenho do exoesqueleto. Fonte: Autores.

Como de fato será desenvolvido um equipamento para o uso em terapia assistiva, a seleção de materiais que apresentem maior resistência e motores com maior torque, como está disposto no Quadro 2 para que seja capaz de suportar o real peso de um braço e executar corretamente os movimentos para cada articulação.

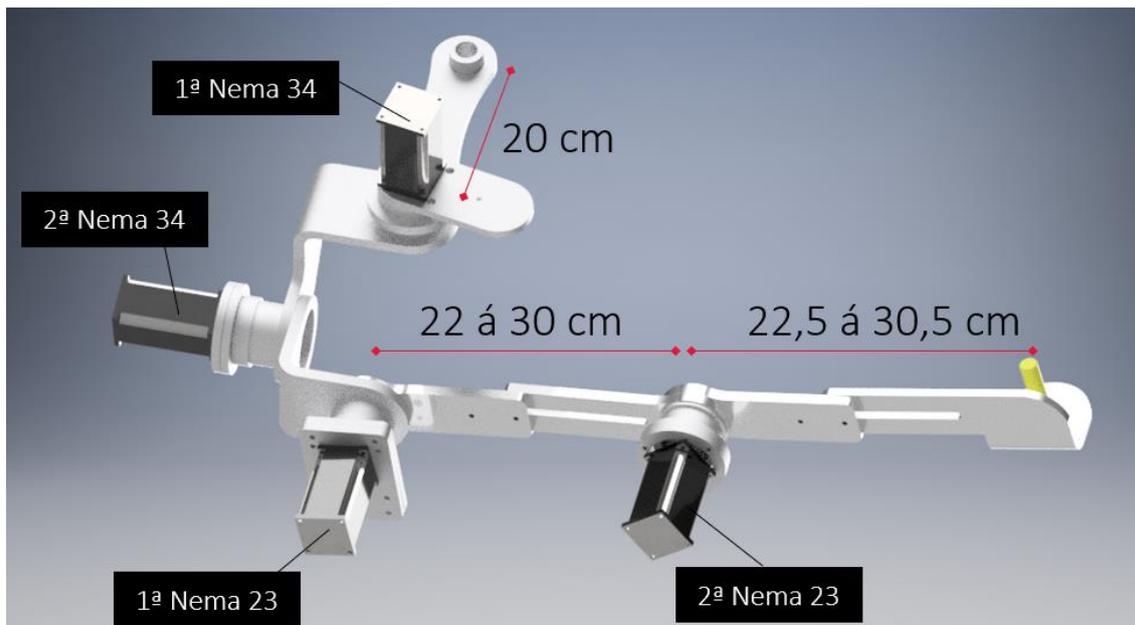


Figura 2-Disposição dos motores de passo. Fonte: Autores.

Quadro 2-Relação dos motores juntamente com o movimento das articulações.

Motor	Movimento	Articulação
1ª Nema 34	Adução horizontal Abdução horizontal	Ombro
2ª Nema 34	Adução Abdução	
1ª Nema 23	Flexão Extensão	
2ª Nema 23	Flexão Extensão	Cotovelo

Fonte: Autores.

Em relação a linguagem utilizada para a interface C++, a mesma consiste de forma simplificada, devido ao fato do motores de passo atuarem de forma individual para a execução dos movimentos segmentos, com ilustra na Figura 2 juntamente com a relação do Quadro 1, o desenvolvimento de um hardware mais complexo que analise os dados como posicionamento e velocidade e envie as instruções de forma que o motor mova para a posição requisitada. Cabe ressaltar que inicialmente o protótipo do exoesqueleto, mais especificamente em relação ao braço mecanizado antes de executar qualquer movimento sofre com o peso da própria estrutura juntamente com os motores de passos, antes de ocorrer o travamento dos mesmos, desta forma inicialmente encontra-se na posição 1 nesta posição os elos devem estar alinhados ao eixo zero, a fim de se evitar alteração na amplitude de movimento determinada no algoritmo. Após a abertura do pront de

comando automaticamente ocorre a atuação do segundo motor Nema 34 ocorrendo a flexão em um angulação restrita como demonstra na posição 2, somente para permitir a entrada do usuário com a cadeira de rodas, possibilitando que o fisioterapeuta possa fixar o braço e antebraço do paciente na estrutura, permitindo assim a execução subsequente dos demais movimentos.



Figura 3-Exoesqueleto finalizado, mostrando os posicionamentos iniciais do mesmo.
 Fonte: Autores.

Cabe posteriormente implementar na programação a comunicação de forma mais fluida entre os motores, pois conforme descrito no Quadro 3 e nas, foram programados somente a execução de 5 movimentos, posteriormente é necessário executar novos comandos dentro da linguagem, desta forma possibilitará a execução de movimentos mais complexos e simultâneos das articulações.

Quadro 3-Movimentos executados.

Movimento programados na linguagem C++	Articulação
Movimento 1	Realização inicial da Extensão-Flexão-Adução Horizontal-Abdução Horizontal (Ombro)
Movimento 2	Abdução-Adução (Ombro)
Movimento 3	Extensão-Flexão (Ombro)
Movimento 4	Adução Horizontal-Abdução Horizontal (Ombro)
Movimento 5	Flexão-Extensão (Cotovelo)

Fonte: Autores.

Atuação do 1ª Nema 34-Execução do movimento de adução e abdução horizontais.



Figura 4-Atuação do primeiro Nema 34. Fonte: Autores.

Atuação do 2ª Nema 34-Execução do movimento de abdução e adução.



Figura 5-Atuação do segundo Nema 34. Fonte: Autores.

Atuação do 1ª Nema 23-Execução do movimento de extensão e flexão.



Figura 6-Atuação do primeiro Nema 23. Fonte: Autores.

Atuação do 2ª Nema 23-Execução do movimento de flexão e extensão.



Figura 7-Atuação do segundo Nema 23. Fonte: Autores.

Cabe ressaltar que todos os movimentos descritos anteriormente estão programados para executar o movimento e retornar no ponto inicial, para futuramente permitir a execução de novos movimentos, no próprio algoritmo o sistema que impeça a movimentação dos membros para um ângulo que um ser humano não consiga exercer, caso possa ocorrer algum empecilho o mesmo apresentará um painel elétrico de atuação seguindo as normas de segurança NR 10 e NR 12, que será composto por controlador dos movimentos, chave geral, botões pulsadores verde (liga), vermelho (desliga).

Para os resultados mecânicos relacionam-se com diversos tipos de soluções: inéditas; modificadas. Para isto adotaremos uma escala de 1 até 5, sendo 1 a mais alta, e 5 a mais baixa. Assim: 1: atende perfeitamente ao requisito; 2: atende parcialmente à necessidade, principalmente considerando as condições da característica do projeto (graduação, baixo custo, curto tempo (menos de 1 ano)); 3: solução intermediária, cabendo outra solução técnica possível; 4: solução viável, mas de durabilidade duvidosa; 5: solução industrial não recomendável (apenas para fins de protótipo de demonstração), os resultados estão dispostos no Quadro 4.

Quadro 4-Qualificação do sistema mecânico.

Sistema	Tipo de solução	Nota	Justificativa
Graus de liberdade	5 graus de liberdade: ombro: flexoextensão, abdução-adução, rotação medial e lateral; Cotovelo: flexoextensão; Punho: flexoextensão de	1	Projetos desta natureza dificilmente possuem mais do que 3 graus de liberdade, normalmente não abrangendo

	punho.		
Sistema atuador	Step motor com caixa de redução.	1	No Brasil, o uso de motor de passo ainda é uma solução com custo-benefício adequadamente aceitável. Melhor aplicação do que está, somente as articulações/juntas robóticas, tipo "harmonic drive".
Articulações ombro-braço, braço-antebraço	Através de uma junta feita de apenas uma única peça, dois motores estão conectados, permitindo os movimentos de adução e abdução	3	O uso de motores, no caso, motor de passo, é a melhor solução ainda no Brasil (relação custo-benefício), mas outras soluções como as juntas robóticas industriais, seriam mais adequadas.
Articulação /junta antebraço/braço	Também dispõe de uma junta articulada com acionamento através de motor de passo NEMA 23 com redução	1	Solução aceitável, tendo em vista a situação de mercado nacional brasileiro, que utiliza motores de passo para soluções em robótica.
Regulagem de comprimento das peças	Com simples sistema de parafusos e porcas	3	Poderia ter sido incorporado uma escala com medidas indicativas (por exemplo, em milímetro), para facilitar o trabalho do terapeuta.
Sistema "end-effector"	Atualmente é apenas um apoio, porém, futuramente, deverá estar acoplado à sistema sensor (força, pressão), assim como sistema de realidade virtual e outros.	4	É talvez a solução mais simples encontrada, já que a única função no equipamento é de apenas fazer com que o paciente exerça força para auxiliar no acoplamento aparelho-corpo.

Fonte: autores.

Conclusões

Inicialmente, para o desenvolvimento da órtese, preocupou-se em atender a defasagem de equipamentos nacionais que atendem a rede da saúde com intuito de promover a ampliação do acesso de mecanismo que possibilitam a integração desses insumos na assistência à saúde e relacionados a uma intervenção médica, diagnóstica e terapêutica para a qualificação em relação a reabilitação de pessoas com deficiência temporária ou permanente, progressiva, regressiva ou estável; intermitente ou contínua, com o foco da implantação e organização da rede de atenção integral à saúde, garantindo o acesso e qualidade dos serviços, ofertando cuidado integral e assistência multiprofissional sob a lógica interdisciplinar.

Deste modo, desenvolveu-se a proposta de estudo do exoesqueleto de membros superiores, mais especificamente para que a estrutura robótica realize os movimentos de reabilitação para as articulações do ombro e cotovelo, permitindo a efetuação de exercícios de flexão, extensão, adução, abdução, rotação interna e rotação externa. Por meio do estudo de campos antropométricos, biomecânicos e cinemáticos, tais parâmetros fundamentaram o dimensionamento do mecanismo

que respeita o grau de liberdade anatômica. Sendo assim, o mesmo possui quatro atuadores por motor de passo, designados mais especificamente ao ombro (3 graus de liberdade) e cotovelo (1 grau de liberdade), que possibilita o controle da amplitude de angulação referente a cada membro particularmente, devido ao fato de apresentar dissemelhança para cada movimento efetuado pela articulação motora, permitindo a movimentação conforme determinada nos três planos espaciais. O sistema permitirá, além do ajuste do comprimento antropométrico conforme as particularidades do usuário em questão, a amplitude do movimento por meio da comunicação, implementação do controle em software com comunicação serial entre computador e a placa arduino responsável pelo funcionamento do hardware via bluetooth.

Para futuras pesquisas, alguns campos devem ser avaliados, em relação ao campo arquitetônico, promover melhor acomodação e conforto ao usuário de forma ergonomia e biomecânica do movimento, promover melhor acomodação e conforto ao usuário. Como possibilidade de expansão futura, a utilização do exoesqueleto, visto que o protótipo implica somente a utilização do mesmo ao lado direito do usuário, aumentando o número de graus de liberdade do exoesqueleto, possibilitando a execução de outros movimentos e a implementação de sensores para monitoramento da evolução do tratamento, como exemplo a interface cérebro-máquina.

Nesta perspectiva, o protótipo desenvolvido caracteriza-se por ser um iniciativa do recurso auxiliar da tecnologia assistiva para aperfeiçoamento dos saberes técnicos para os profissionais designados para confecção de órteses em oficinas ortopédicas nacionais, reduzir os custos dos serviços de saúde, além, é claro, de promover a reabilitação com foco na funcionalidade contextualizada ao indivíduo, a família e a comunidade, para atingir seu melhor desempenho e maior independência. Sendo assim, exoesqueleto para membros superiores e a arquitetura de controle desenvolvidos no presente trabalho oferecem uma alternativa promissora à ampliação da capacidade mecânica humana e ao desgaste muscular para o direcionamento de cumprimento as políticas da saúde para as pessoas com deficiência.

Créditos e agradecimentos

Este projeto somente foi possível devido às seguintes instituições e pessoas:

- ✓ **IUS - Instituições Universitárias Salesianas** – pelo financiamento do projeto;
- ✓ **Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - UniSalesiano** – Reitor Padre Luigi Fávero; Vice-Reitor Prof. Dr. André Ornellas, pelo apoio logístico e financeiro ao projeto, incluindo bolsas de Iniciação Científica PIBIC/PIBIT;
- ✓ **Prof. Ms. Nelson Hitoshi Takiy** - Coordenador das Engenharias Elétrica, Mecânica e Mecatrônica do Unisalesiano Araçatuba, pelo apoio acadêmico e logístico ao projeto;
- ✓ **Profa. Ms. Carla Komatsu Machado** - Coordenadora da Fisioterapia do Unisalesiano Araçatuba – pelo apoio acadêmico ao projeto;
- ✓ **Jander Dantas Ferreira**, pela criação do projeto dos desenhos das primeiras duas fases do equipamento; **Flávio Medina Favarin** pela colaboração no processo de automação e montagem do exoesqueleto (acadêmicos de Engenharia Mecânica do Unisalesiano);
- ✓ **André de Oliveira Canuto** – Projetista Mecânico (e empresa Remak Montagem Industrial – Araçatuba) – pelo aporte técnico dos desenhos, na versão final do projeto.

Menção Honrosa

O projeto ora apresentado venceu o Prêmio Destaque na categoria “Engenharias”, da edição 2016/2017 do PIBIC/PIBIT de Iniciação Científica do Unisalesiano Araçatuba/Lins.

Referências Bibliográficas

ACE. Manual de Goniométrica medição dos ângulos articulares. Gestão em Saúde, 2016.

ACKLAND, Timothy R., ELLIOTT, Bruce C., BLOOMFIELD, John. Anatomia e biomecânica aplicadas no esporte. 2ª Ed, MANOLE, 2011.

CAMPOS, Mauricio Arruda. Biomecânica da Musculação. Rio de Janeiro. Sp-rint. 2000.

FLOYD, R. T. Manual de cinesiologia estrutural. 19. ed, Barueri, SP: Manole, 2016.

GALVÃO FILHO, T. A. et al. Conceituação e estudo de normas. In: BRASIL, Tecnologia Assistiva.

LIPPERT, Lynn. Cinesiologia Clínica para Fisioterapeutas, incluindo teste para autoavaliação. 2. ed. Rio de Janeiro: Revinter, 2003.

NORDIN, Margareta. Biomecânica Básica do Sistema Musculoesquelético. 4. Ed. Guanabara, 2014.

HALL, Susan J. Biomecânica básica / Susan J. Hall; revisão técnica Eliane Ferreira. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

IBGE, Educa. Conheça o brasil – população pessoas com deficiência. Disponível em <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>> Acesso em: 07 de abril 2019.

Dispositivo para reabilitação de pacientes em leitos hospitalares

Device for Rehabilitation of patients in hospital beds

Felipe Ferreira Doná ¹
Jair de Almeida Pereira ¹
Juliana Lima Rodrigues ¹
Lucas Xavier ¹
Thiago Santana Aranha ²

Resumo

A fisioterapia nos dias de hoje, se demonstra cada vez mais importante para os seres humanos, pois se trata de uma ciência na área da saúde responsável por prevenir, diagnosticar e tratar distúrbios cinéticos funcionais, intercorrentes nos sistemas do corpo humano. Em conjunto com esses fatores, se apresenta a necessidade da criação de equipamentos que possam auxiliar na reabilitação de pacientes, em especial os que se encontram hospitalizados, pois os mesmos tendem a sofrer uma diminuição da força muscular ocasionado pelo grande tempo em repouso. Hoje o mercado de aparelhos fisioterapêuticos, está se tornando restrito a hospitais de grande poder aquisitivo, de modo que os aparelhos mais tecnológicos são encontrados no comércio exterior e consequentemente possuem um valor elevado.

O presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um dispositivo cujo é conhecido comercialmente como cicloergômetro, afim de que este vem a possuir melhorias de dispositivos já existentes com custo-benefício aceitável.

Palavras-chave: Cicloergômetro, Fisioterapêuticos, Hospitalizados, Reabilitação.

Abstract

Physiotherapy these days, are increasingly important for humans, as they are treated of a science in the area of health responsible for the prevention, diagnosis and treatment of intercurrent kinetic disorders in the systems of the human body. Together with the factors, it is necessary to develop a series of equipment that will assist in the rehabilitation of patients, especially those who are hospitalized, as they tend to suffer an increase in muscular strength caused by the great time at rest. Today the market for physiotherapeutic equipment is becoming restricted to large hospitals, so that the most technological devices are found abroad and consequently have a high value.

The main objective of this work is to recreate a treatment that is commercially called the cycle ergometer, which is an improved feature of a test with an acceptable benefit.

Key words: Cyclo-ergometer, Rehabilitation, Hospitalized, Physiotherapeutic.

¹ Acadêmicos do curso de engenharia de controle e automação no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP.

² Matemático, mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual da Bahia. Docente dos cursos de Engenharia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP.

Introdução

O termo imobilidade passou a ser reconhecido pela fisioterapia a partir da segunda guerra mundial, devido ao grande número de soldados feridos e a escassez de leitos hospitalares muitos enfermos eram tratados de forma rápida e liberados em seguida, medida essa adotada para que todos pudessem receber o atendimento. Com o passar dos dias, observou uma recuperação mais rápida e eficaz das lesões nos soldados que ficaram menos tempo em regime de imobilização (LUIZ, A P W, SILVA C L. 2008.).

Imobilismo durante o seu estágio de desenvolvimento, pode acabar acometendo os sistemas cardiovasculares, respiratórios, musculoesqueléticos e dentre outros que aí abrangem (SILVA, NA PAULA PEREIRA, et.al. 2010.).

Depois de 1960 a imobilização no leito hospitalar começou a ser tratada como uma forma terapêutica para o restabelecimento do indivíduo perante a doença. Mas com o passar do tempo adotou-se está prática de maneira abusiva, causando um atraso ou até mesmo impedindo a recuperação do paciente (GEPEPE 2005). Segundo estudos para que a imobilização no leito seja considerada como um repouso, deve-se decorrer entre 7 a 10 dias, após este período o paciente já se encontra com a força muscular reduzida. Por fim a partir de 15 dias o mesmo já começa a desenvolver um decúbito de longa duração (AMATUZZI, M M. 1999).

Decorrente destes fatos, o paciente tende a ampliar suas dificuldades vitalícias como redução drástica da porcentagem de seus níveis musculares, além de ter sua capacidade, comprimento e volume muscular cada vez mais variado.

Atualmente o grande desafio do profissional da área de fisioterapia hospitalar, é a mobilização precoce dos pacientes que se encontram acamados, evitando assim que os mesmos desenvolvam uma complicação. Os benefícios da mobilização precoce do paciente acamado têm como ponto principal preservar a força muscular, melhorar o fluxo sanguíneo, estimular a produção de citocinas anti-inflamatórias e aumentando a atividade da insulina e captação da glicose no músculo (KIM YW, et. al. 2011.). Diante do que foi apresentado, o fisioterapeuta precisa fazer uso de recursos capazes de intervir no tratamento, lembrando que é de extrema importância, a reabilitação ser iniciada o mais precocemente possível.

Um equipamento que surgiu no mercado como um grande aliado neste tipo de reabilitação é o cicloergômetro, um aparelho estacionário que promove rotações cíclicas em membros inferiores, sendo capaz de proporcionar exercícios passivos, ativos e resistivos (MCCOOL FD. 2012.). Estudos realizados na década de 90 com indivíduos saudáveis apresentaram resultados satisfatórios, observou-se que os movimentos realizados com o auxílio do aparelho causam uma preservação da arquitetura muscular do paciente que é afetada durante o processo de imobilização prolongada. O estudo concluiu que este recurso é viável para pacientes sedados, imobilizados ou com doenças críticas (VANPEE G, et. al.2011.).

Materiais e métodos

Elaboração do modelo

A elaboração do modelo, fez uso do software Autodesk Inventor 2019, tendo como base as dimensões do leito hospitalar existente em faculdade.



Figura 1 - Projeto elaborado via Inventor. Fonte: Autores.

Material da estrutura

Para a construção da estrutura do equipamento foi escolhido o Metalon, um material que se destaca pela sua leveza e sua alta resistência. Atualmente é um dos materiais mais utilizados, sendo um material encontrado em diversas áreas, como por exemplo academias e até mesmo hospitais. O Metalon é fabricado em baixa

espessuras, podendo ser encontrados de 0,75mm à 3mm, geralmente são comercializados em barras de 6000mm no formato quadrado ou retangular. (CHIAVERINI 1977)

Para o Dispositivo, foi escolhido tubos de metalon com dimensões de 50mm de largura e 50mm de comprimento que será utilizado na estrutura fixa.

Na estrutura responsável pela movimentação vertical e horizontal foi adotado um tubo com dimensões de 40mm de largura e 40mm de comprimento.

Ambos os tubos serão de chapa 16 como é conhecida comercialmente, as mesmas possuem uma espessura de aproximadamente 1,6mm. A escolha da chapa foi feita através de simulações computadorizadas (Auto Desk Inventor 2019), visando um melhor custo benefício e uma compactação do aparelho.

Esmalte para Pintura

Diversos equipamentos são construídos respeitando suas categorias, normas e âmbitos a se encontrarem. Por sua vez, os equipamentos utilizados em ambientes hospitalares não poderiam ser diferentes.

O ambiente hospitalar se denota como sendo um local no qual se exige tamanho cuidado e para isso tanto na construção do ambiente externo e interno além dos equipamentos utilizados, faz-se uso da tinta Epóxi. A mesma compõe-se de elementos que possibilitam o trabalho e manutenção de quaisquer que sejam o ambiente ou os equipamentos utilizados no meio hospitalar.

Motores e Drivers

O motor de passo é um dispositivo eletromecânico que converte pulsos elétricos em movimentos mecânicos, gerando variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominado "PASSOS", isso ocorre quando são aplicados pulsos elétricos em uma determinada sequência nos terminais de suas bobinas.

A rotação dos motores está diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, já a velocidade do rotor é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados pois existem algumas configurações que aumentam ou diminuem a quantidade de passos. (TELECOM UFF 2008).

Para o acionamento do motor de passo será utilizado Driver, o mesmo é responsável por converter os sinais de pulso do controlador em movimento do motor para conseguir um posicionamento preciso. Os drivers são selecionados levando em consideração as características de cada motor, no caso foi escolhido o driver WD-TB6600 – Wotiom.

Atuador

O dispositivo conta com um ajuste de altura e posicionamento, visando um maior conforto do paciente e do profissional que o acompanhará no uso, para a realização do ajuste foi escolhido o atuador elétrico linear, como o dispositivo não necessitará de uma capacidade alta e a velocidade não é um fator predominante, o modelo elétrico se encontra como a melhor opção.

O atuador escolhido é do modelo Megamat, o mesmo utilizado em leitos hospitalares, possui um funcionamento de forma simples.

Controlador

Para o processamento do sistema utilizara um Microcontrolador de circuito integrado, pois vem com a possibilidade de ser programado para realizar tarefas específicas. O circuito integrado escolhido foi o Arduino Uno R3, que é um quadro pequeno, completo e tabelado com base no processador ATmega328. Algumas das características dele são:

- Microcontrolador ATmega328;
- Tensão de Operação de 5V;
- Tensão de Entrada de 7V à 12V;
- 14 Portas Digitais e 6 Portas Analógicas.

Apoio para os pés

Como apoio dos pés, foi utilizado botas imobilizadoras anatômicas as mesmas utilizadas para faturas estáveis, na ausência de deformidades graves. A mesma foi escolhida pelo o fato de já ser um equipamento utilizado no âmbito hospitalar e por possuir um formato anatômico de fácil adaptação na perna. A figura 2 apresenta o modelo de Bota utilizada.



Figura 2 - Bota Imobilizadora Anatômica TAKECARE. Fonte: Autores.

Processo de Fabricação

No processo de fabricação como em todo projeto de engenharia se fez uso de diversas máquinas e ferramentas como torno convencional, furadeira de bancada, lixadeira, serra policorte, chaves combinadas, chaves allen, alicate, lima, prensa hidráulica e máquina de solda do tipo MIG. Foi utilizado também utensílios de medição como paquímetro, trena, esquadro e escala.

Todo o processo de fabricação foi realizado no laboratório de engenharia da instituição Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium na cidade de Araçatuba.

Dimensionamento dos Tubos

Antes de iniciar o processo de corte dos tubos de metalon, os mesmos passam por um dimensionamento de tamanho tendo em vista que os tubos se encontram no tamanho de 6 metros. Esta etapa tem um alto grau de importância sendo ela a responsável pelo cumprimento das dimensões projetadas através do estudo do leito hospitalar existente na faculdade, no qual o erro de medida pode acarretar perda de material e atrasar o início do projeto.

Corte

Após o dimensionamento os tubos passarão pela etapa de corte, o grupo fez o uso da máquina serra policorte, em que se apresenta como um equipamento de pequeno porte e com um manuseio de fácil entendimento, este tipo de equipamento é bastante utilizado em indústrias de todos os tamanhos, construção civil e em produção em larga escala. A serra está associada em cortes de ferro, alumínio, aço, perfilados e tudo, tendo uma capacidade de corte em até 45°. A peça necessita estar

presa antes realização do corte para garantir além da segurança do operador uma eficácia no resultado.

Nesta etapa também se fez uso da lixadeira um equipamento também de fácil manuseio, possuindo em média 5.500 rpm, tendo seu uso para a realização de acabamentos e preparação de superfícies como o metal por exemplo. Para a realização do acabamento no corte realizado pela serra policorte, foram utilizados na lixadeira o disco de corte para eliminar as rebarbas e também o disco FLAP para um melhor acabamento no tubo

Soldagem

Soldagem é um processo que visa a união de dois corpos metálicos, existem diversos desde processo, o escolhido pelo grupo foi o processo de soldagem MIG.

MIG se faz uso de um arame (eletrodo não revestido), utilizando o processo de soldagem por arco elétrico realizando uma união de materiais metálicos pelo aquecimento e fusão, sob uma atmosfera de proteção gasosa.

Para que se obtenha um resultado satisfatório no processo de soldagem é importante que siga algumas recomendações como inspecionar a tocha afim de eliminar qualquer resíduo que se encontre nela, regular o equipamento de acordo com o material que visa trabalhar, fixar o material de forma de o mesmo não se desloque durante a soldagem e limpar a superfície que irá aplicar a solda.

Furação

No processo de furação foi utilizada a furadeira de bancada um equipamento com uma robustez maior comparada ao modelo doméstico. Como o próprio nome diz, está furadeira possui uma bancada responsável pela fixação do material que se deseja furar. Este equipamento utiliza como material corte a ferramenta com o nome de broca, onde a mesma possui diversos tamanhos e modelo, sendo responsável por adentrar na peça realizando os furos. Os furos podem ser utilizados para serem alojamentos de parafusos e rebites, entre outras aplicações.

Torneamento

O processo de torneamento consiste em processo de usinagem utilizado para a fabricação de peças cilíndricas, onde a ferramenta se desloca de forma linear, enquanto a peça exerce um movimento rotacional.

No desenvolvimento do projeto necessitou a usinagem de um eixo para ser colocado na engrenagem e posteriormente ser acoplado no motor de passo, sendo responsável pela execução dos movimentos no aparelho.

Estrutura Finalizada

A confecção do projeto foi dividido em duas partes, sendo elas a construção da base e suas devidas travas e posteriormente a construção da parte superior do projeto. Após o cumprimento de todas estas etapas, a estrutura final do projeto se encontra finalizada e liberada para o acabamento. A figura 3 apresenta a estrutura do projeto sem o devido acabamento.



Figura 3 - Estrutura sem acabamento . Fonte: Autores.

Acabamento

Com a estrutura já finalizada, iniciou a etapa de acabamento e pintura do projeto, onde a mesma seguiu os seguintes itens:

- Lixamento da Estrutura;
- Banho de desengraxante;
- Aplicação de fundo para preparação da superfície;
- Pintura final;
- Secagem.



Figura 4 - Projeto finalizado . Fonte: Autores.

Automação

O termo tem sua origem do latim *Autómatum*, que significa mover-se por si ou que se move sozinho. Na prática automação nada mais é que um sistema em que se emprega processos automáticos, controlando mecanismo para seu devido funcionamento buscando dinamizar e otimizar processos.

Analisando os produtos disponíveis no mercado, foi diagnosticado a necessidade da implementação de um sistema em que fosse capaz de ajustar o posicionamento e a altura do aparelho em relação ao leito, tendo em vista que muitas vezes o profissional da área era exposto a realização de esforço excessivo para acomodar o paciente em seu devido lugar, infringindo assim a NR17 que trata as condições de trabalho em relação à ergonomia. Tal ação acaba se tornando um transtorno não só para o profissional quanto para o paciente que já se encontra em condições adversas.

Com o aparelho desenvolvido o fisioterapeuta terá autonomia para posicionar de acordo com as características do paciente. Outro ponto elaborado pelo grupo foi a adição de um controle de rotação responsável pelo aumento ou diminuição da velocidade, adequando a máquina para todos os tipos de recuperações. Todas as programações se encontram em anexo ao final deste relatório.

Resultados e discussões

Com as etapas de montagem e acabamento do projeto prontas, realizou alguns testes, afim de detectar algum problema ou detalhe que tenha passado despercebido. Os testes foram divididos em quatro etapas que serão descritas abaixo:

- **Aumento de Altura**

O primeiro teste realizado, deu-se no laboratório de engenharia afim de testar a funcionalidade do atuador responsável pelo ajuste de altura em relação ao leito hospitalar. O aumento da sua capacidade de altura ocorreu como o planejado, tendo um ganho máximo de 500mm a mais que a estrutura podendo a chegar na altura máxima de 1,40m, se adaptando a diversos leitos. A figura 5 mostra a diferença de altura entre o aparelho como sem o acionamento do atuador e com o atuador no seu limite máximo de trabalho.

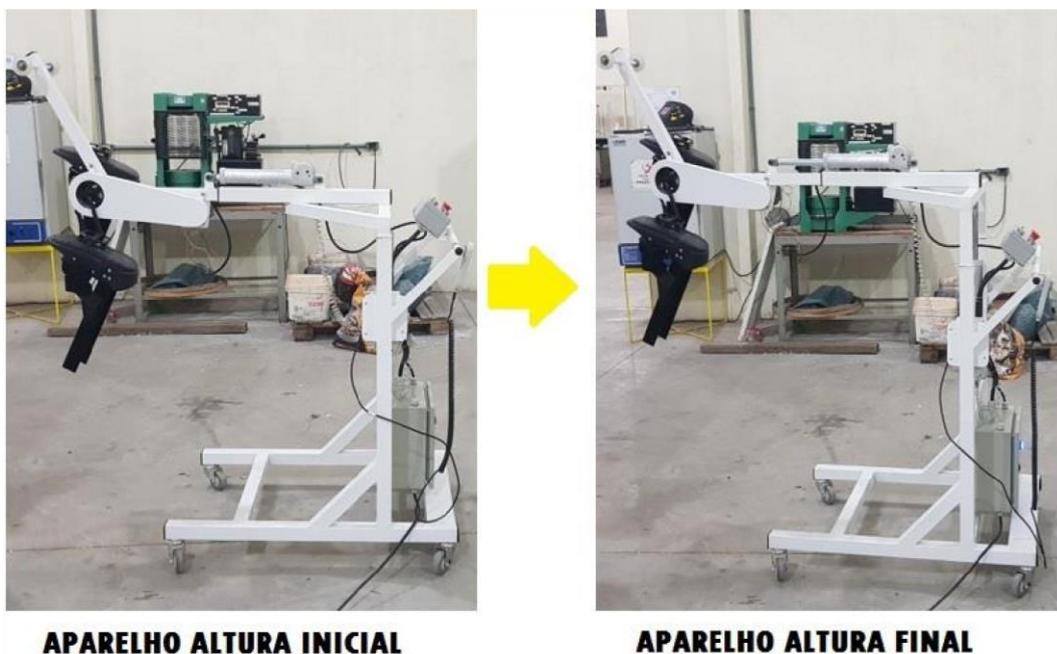


Figura 5 - 1º Teste . Fonte: Autores.

- **Teste Extensão do Braço**

O segundo teste, ainda em laboratório foi realizado para analisar o funcionamento do segundo atuador, que é responsável pela movimentação do braço que está localizado o dispositivo que irá realizar os movimentos. Na realização deste teste a grande preocupação seria a capacidade de alongamento do braço e a sustentação da base, tendo em vista que é a parte que a força estará localizada. O aumento da extensão teve um ganho de máximo de 300mm a mais em seu alcance, totalizando uma capacidade de alcance de 600mm. Podendo acomodar o dispositivo de acordo com o paciente que irá utilizar. A figura 6 traz a diferença de tamanhos com o atuador sem ser acionado e com o mesmo acionado na sua capacidade de alcance máximo.



Figura 6 - 2º Teste . Fonte: Autores.

- **Teste Rotação do Motor e Resistividade do Dispositivo**

Realizado os testes de aumento de tamanho e alcance, chegou a hora de testar o funcionamento do dispositivo que executa os movimentos, essa tarefa ficou dividida em duas partes a primeira o teste com a rotação dada pelo motor de passo, buscando o cumprimento dos movimentos passivos, ou seja movimento completamente realizado pelo dispositivo sem que o paciente necessite usar sua própria força para movimentar o aparelho. Nesta primeira fase não foi obtido problemas o objetivo foi atendido perfeitamente.

A segunda etapa foi o teste dos movimentos onde a execução seria dada pela própria força do usuário sem o uso do motor, nesta etapa ficou constatado que o dispositivo precisaria ser trocado pois o “Pé de Vela” utilizado não seria capaz de

oferecer uma resistividade satisfatória ao movimento, pois a bucha interna que tinha o papel de comprimir o eixo fazendo com que a atividade ficasse mais pesada ou mais leve variando com o tipo de reabilitação, não estava comprimindo o esperado, por isso optou pela troca do “Pé de Vela” e a adaptação de uma bucha com um tamanho maior, onde teria uma maior compressão quando necessário.

Após realizar a troca o dispositivo atendeu a todos os movimentos desejáveis, sendo eles:

- Realização de movimentos passivos;
- Realização de movimentos ativo-assistidos;
- Realização de movimentos resistivos;

Outro problema encontrado foi distância entre a perna do paciente em relação ao motor que realiza os movimentos. A princípio havíamos definido o atuador no ponto final do suporte fazendo com que assim pudessemos ter um melhor aproveitamento do curso do mesmo e também oferecendo o aparelho a pacientes com maior comprimento possível para realização do movimento. Porém, durante a construção, dentro dos processos de solda, acoplamento dos atuadores, do motor e demais componentes, diagnosticou que a distância dimensionada para o movimento dos membros inferiores não seria o suficiente para completar o movimento de rotação pois durante o ciclo, esses seriam atingidos pelo suporte, pela coroa e assim ao invés de proporcionar uma recuperação saudável para o paciente, acabaria agravando mais a saúde do mesmo causando danos, escoriações. Necessitou realizar um novo dimensionamento e alocação do motor e periféricos, para atender todas as condições de maneira segura a todos.

A figura 7 apresenta o dispositivo responsável pela rotação no aparelho de fisioterapia.



Figura 7 – Dispositivo responsável pela rotação. Fonte: Autores.

- **Testando a Funcionalidade na Execução do Procedimento**

Por fim o teste simulando uma situação próxima da realidade, buscando analisar a eficácia do projeto. O mesmo foi realizado na sala de fisioterapia na instituição UniSalesiano.

Para a realização do procedimento, se fez o uso de um dos leitos, visando simular com exatidão o processo que o aparelho irá realizar num futuro paciente. Após a alocação do aparelho na sala, foi ajustado seguindo como modelo um integrante do grupo, o mesmo testou os três tipos de movimentação, para que fosse avaliado a eficácia do projeto. Finalizando os testes ficou comprovado que o projeto cumpre todos os objetivos que foi proposto. A figura 8 destaca o teste realizado simulando o processo que o aparelho irá realizar.



Figura 8 - Simulação de funcionamento. Fonte: Autores.

Vale ressaltar que a construção de um aparelho fisioterapêutico requer a busca pelo conhecimento com profissionais da área, afim de saber quais medidas devem ser tomadas, e as restrições que deve se atentar. O aparelho não pode ser

usado para teste em pacientes reais pelo o fato de não ter as aprovações necessárias. Tendo como base este argumento, pesquisa e testes em pacientes que se encontram em decúbitos se torna imprescindível para a comprovação do ganho na recuperação e prevenção das complicações relatadas.

Conclusão

Por se tratar de um dispositivo fisioterapêutico, se fez necessário a busca pelo conhecimento com docentes da área da saúde e fisioterapia para que estes nos auxiliassem em quais medidas a serem tomadas, quais restrições nós devíamos nos atentar e se o que estávamos prestes a desenvolver seria algo benéfico para a área da fisioterapia e saúde.

Apesar do auxílio de profissionais da área, infelizmente não se pode efetuar testes de sua funcionalidade, pois é necessária devidas aprovações, não obtidas até o presente momento.

O projeto se concluiu da melhor forma possível, obtendo excelência em funcionamento, segurança para uso, adepto a normas e regulamentos, com sua estética aceitável e por fim atingiu os principais objetivos propostos pelo grupo, sendo eles a realização do movimento para reabilitação do paciente com danos em seus membros inferiores e o custo benefício aceitável, com isso cremos que os resultados aqui apresentados se demonstram de forma positiva, ressaltando a importância de uma estudo mais aprofundado caminhando junto com testes em pacientes, para assim poder comprovar na prática a eficácia do aparelho.

Referência bibliográfica

1. LUIZ, A P W, SILVA C L. Fisioterapia respiratória e terapia intensiva. Universidade do sul de Santa Catarina, Tubarão, 2008.
2. SILVA, NA PAULA PEREIRA, MAYNARD, KENIA, CRUZ, MONICA RODRIGUES. Efeitos da Fisioterapia motora em Pacientes Críticos: Revisão de Literatura. Revista Brasileira de Terapia Intensiva, V.22, 2010.

3. GRUPO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM FISIOTERAPIA E ENVEHECIMENTO (GEPEPE). Disponível em: < www.idosofisioabdala.com/text/134943.html > Acesso em: 05 de Janeiro de 2019.
4. AMATUZZI, M M. Medicina de Reabilitação aplicada à ortopedia e traumatologia. Ed.1. Roca. São Paulo, 1999.
5. KIM YW, SUH HJ, HONG SB, KOH Y, LIM CM. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: Influence on weaning from mechanical ventilation. Crit Care Med. Crit Care Med. 2011.
6. MCCOOL FD, TZELEPIS GE. Dysfunction of the Diaphragm. N Engl J Med.2012.
7. VANPEE G, SEGERS J, VAN MECHELEN H, WOUTERS P, VAN DEN BERGHE G, HERMANS G, GOSSELINK R. The Interobserver Agreement of Handheld Dynamometry for Muscle Strength Assessment in Critically ill Patients. Crit Care Med.2011.
8. CHIAVERINI, VICENTE - Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica Vol III. Ed.2 São Paulo, Mc Graw Hill, 1977.
9. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, CENTRO TECNOLÓGICO, ESCOLA DE ENGENHARIA, CURSO DE ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES, PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL, GRUPO PET-TELE. Motor de passo. Disponível em: < <https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf> > Acesso em 05 de Agosto de 2019.

Cirurgia robótica através do robô da Vinci

Robotic surgery through the robot da Vinci

Bruno Gines¹
Tiago Henrique Teixeira²
Prof. Me. Paulo Sérgio Barbosa dos Santos³

Resumo

Este trabalho apresenta um conteúdo relacionado entre a cirurgia robótica e o robô da Vinci que aborda as funcionalidades do sistema mostrando como sua estrutura trabalha de forma sincronizada com o cirurgião, além dos benefícios trazidos aos pacientes que passam pelo processo robótico cirúrgico, comparados ao sistema de cirurgia convencional. Apresenta também como o robô da Vinci vem ganhando seu espaço nas cirurgias realizadas no Brasil defronte as dificuldades encontradas para formação dos cirurgiões brasileiros nessa área.

Palavras-chave: Cirurgia Robótica, Robô Cirurgião, Sistema da Vinci.

Abstract

This paper presents a related content between robotic surgery and the da Vinci robot addressing system features showing how the structure Works synchronously with the surgeon, and the benefits brought to patients undergoing the surgical robotic process, compared to the system conventional surgery. It also shows how the da Vinci robot has gained its space in surgeries performed in Brazil against the difficulties encountered in the formation of Brazilian surgeons in this area.

Key words: Robotic Surgery, Surgeon Robot, da Vinci System.

Introdução

¹ Acadêmico de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP, bruno_gines@clealco.com.br

² Acadêmico de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP, tiagoht2010@hotmail.com

³ Engenheiro de Controle e Automação, Doutor e Mestre em Engenharia Mecânica pela UNESP. Atuou até 2017 como Docente do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP (na época de realização deste trabalho), engpaulo.sbs@gmail.com. Atualmente (dezembro de 2020) é Docente Assistente no Curso de Engenharia de Biosistemas da UNESP de Tupã.

A cirurgia robótica iniciou-se na década de 80 através dos militares americanos que tinha como propósito, realizar a operação cirúrgica em um local distante do cirurgião propriamente nos campos de batalha. Através de pesquisas os militares criaram robôs que eram movimentados por um controle remoto controlado pelo médico cirurgião, porém, naquela época a maior dificuldade que os militares encontravam era devido às limitações que a internet possuía, e devido a esse problema a pesquisa não avançou.

Passado alguns anos, logo no início da década de 90 a empresa Computer Motion criava um novo sistema para cirurgia robótica chamado AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), que se tratava de um robô que segurava uma câmera ótica laparoscópica e que poderia ser controlado pelo cirurgião por pedais ou comando de voz. Em 1995 depois do sistema AESOP a Computer Motion desenvolveu o Zeus, um robô que possuía três braços, sendo dois para manuseio dos instrumentos cirúrgicos e um terceiro braço segurava uma câmera para o cirurgião acompanhar a cirurgia (ROSA; MOREIRA, 2013).

Nessa mesma época a empresa Intuitive Surgical, uma forte concorrente da Computer Motion desenvolvia o robô da Vinci, nome esse em homenagem a Leonardo da Vinci que projetou o primeiro robô humanoide documentado na história, no entanto o robô da Vinci tinha os mesmos princípios de operação do robô Zeus. Em 2000 tanto o Zeus como o da Vinci foram aprovados para realizar a cirurgia robótica nos Estados Unidos pela Food and Drug Administration (FDA), um órgão federal americano que estabelece normas para indústria alimentícia e remédios, a partir daí as duas empresas acabaram disputando forte concorrência no mercado e em 2003 a Intuitive Surgical comprou o robô Zeus e o sistema AESOP e optou em retirar-los do mercado, tornando o robô da Vinci um dos únicos robôs cirurgiões robóticos a atuarem no mercado (VEIGA, 2011).

No Brasil a tecnologia do robô cirurgião foi adquirida em 2008 pelo hospital Sírio Libanês em São Paulo, e hoje pode ser encontrado nos principais centros cirúrgicos dos estados brasileiros, no entanto ainda faltam profissionais treinados e certificados para realizar essa atividade cirúrgica, pois para adquirir uma certificação o médico necessita fazer o treinamento fora do Brasil.

O sistema apresentado no decorrer da pesquisa enfatiza sobre o sistema da Vinci S HD, que possui um amplo campo cirúrgico e possibilita realizar diferentes

tipos cirurgias podendo ser ministradas pelo cirurgião estando em um país e o paciente em outro país, o que torna a tecnologia robótica cirúrgica em um procedimento expansivo em várias regiões remotas do mundo.

O principal objetivo da pesquisa é entender melhor o robô cirurgião, sua estrutura e componentes que compõem o sistema, além de suas vantagens e desvantagens em relação ao paciente e a cirurgia robótica comparado ao método convencional.

Material e método

O presente estudo mostrará a apresentação do sistema da Vinci S HD que pode ser dividido em três sistemas compostos pelo console do cirurgião, o carro do paciente e em seguida a torre de processamento de imagem, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1 – Componentes do robô da Vinci S HD. Fonte: Veiga (2011).

O console do cirurgião é o local onde o médico controla todo processo cirúrgico sentado a uma cadeira ergonômica aplica os movimentos cirúrgicos com auxílio de dois joysticks que transmitem os movimentos das mãos, pulsos e dedos

em movimentos precisos aos instrumentos cirúrgicos que podem ser pinças, tesouras ou bisturi.

Strattner (2015) ressalta que o sistema da Vinci proporciona ao cirurgião um controle tátil e movimentos em escala que possibilita a manipulação dos tecidos delicados, além um sistema que corrige o tremor das mãos e que possibilita sincronia entre os instrumentos cirúrgicos conduzindo esses movimentos precisos em tempo real para a cavidade cirúrgica. O robô também possui um sistema de baterias de emergência que possibilita trabalho em até 5 minutos caso haja falta de energia, possibilitando a retirada dos instrumentos com segurança da cavidade cirúrgica.

O que também se pode destacar sobre o console é seu visor (Figura 2), onde o cirurgião visualiza imagens em 3D e qualidade HD, extraídas no local exato do ponto da cirurgia, proporcionando uma imagem nítida e estável (Figura 3), uma vez que essa câmera é controlada pelo médico cirurgião através de comandos de voz ou pedais, possibilitando assim visualizar em vários ângulos diferentes a cirurgia. Os pedais são localizados na parte inferior do console e também possibilitam movimentos dos braços robóticos e rotação da imagem da câmera.



Figura 2 – Visor do console. Fonte: Bonsor (2014).

O carro do paciente é o local onde o paciente fica posicionado em uma maca cirúrgica sendo operado através de movimentos dos braços robóticos transmitido pelo médico cirurgião. No carro do paciente além da maca cirúrgica o robô dispõe de quatro braços robóticos interativos com flexibilidade de 360 graus sendo três braços robóticos que trabalham com os instrumentos cirúrgicos (ROSA; MOREIRA, 2013). O outro braço é composto por uma sofisticada câmera endoscópica (Figura

4) que produz ao cirurgião uma imagem em alta definição com dois canais de imagem e capacidade de ampliar em até dez vezes sua imagem (Figura 3). O robô da Vinci S HD possui três juntas prismáticas, sete juntas rotacionais e dez graus de liberdade em cada braço, não incluindo os movimentos dos instrumentos cirúrgicos, pois se acoplado esses instrumentos a quantidade de graus de liberdade pode variar devido cada instrumento possuir um movimento diferente do outro.

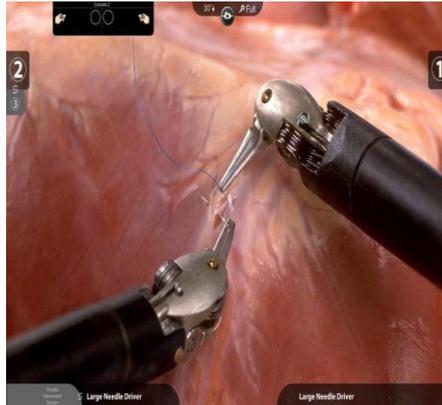


Figura 3 – Imagem ampliada da cirurgia. Fonte: Veiga (2011).

A Figura 4 ilustra os dois tipos de câmeras endoscópicas, possuindo diâmetros de 12 mm e 8,5 mm proporcionando ao cirurgião a visão periférica da cirurgia.



Figura 4 – Câmeras endoscópicas que proporcionam imagens tridimensionais. Fonte: Veiga (2011).

A torre de processamento de imagem conhecida também como rack de vídeo é um sistema composto por um amplificador de som com sincronizadores para interpolação dos sinais fornecidos pela câmera sejam visualizados em 3D na

tela de imagem, onde os assistentes médicos possam visualizar diretamente a cirurgia (SURGICAL, 2009).

O layout apresentado pela (Figura 5) ilustra como é o posicionamento do console do cirurgião, o carro do paciente e a rack de vídeo, destacando alguns componentes do robô da Vinci.

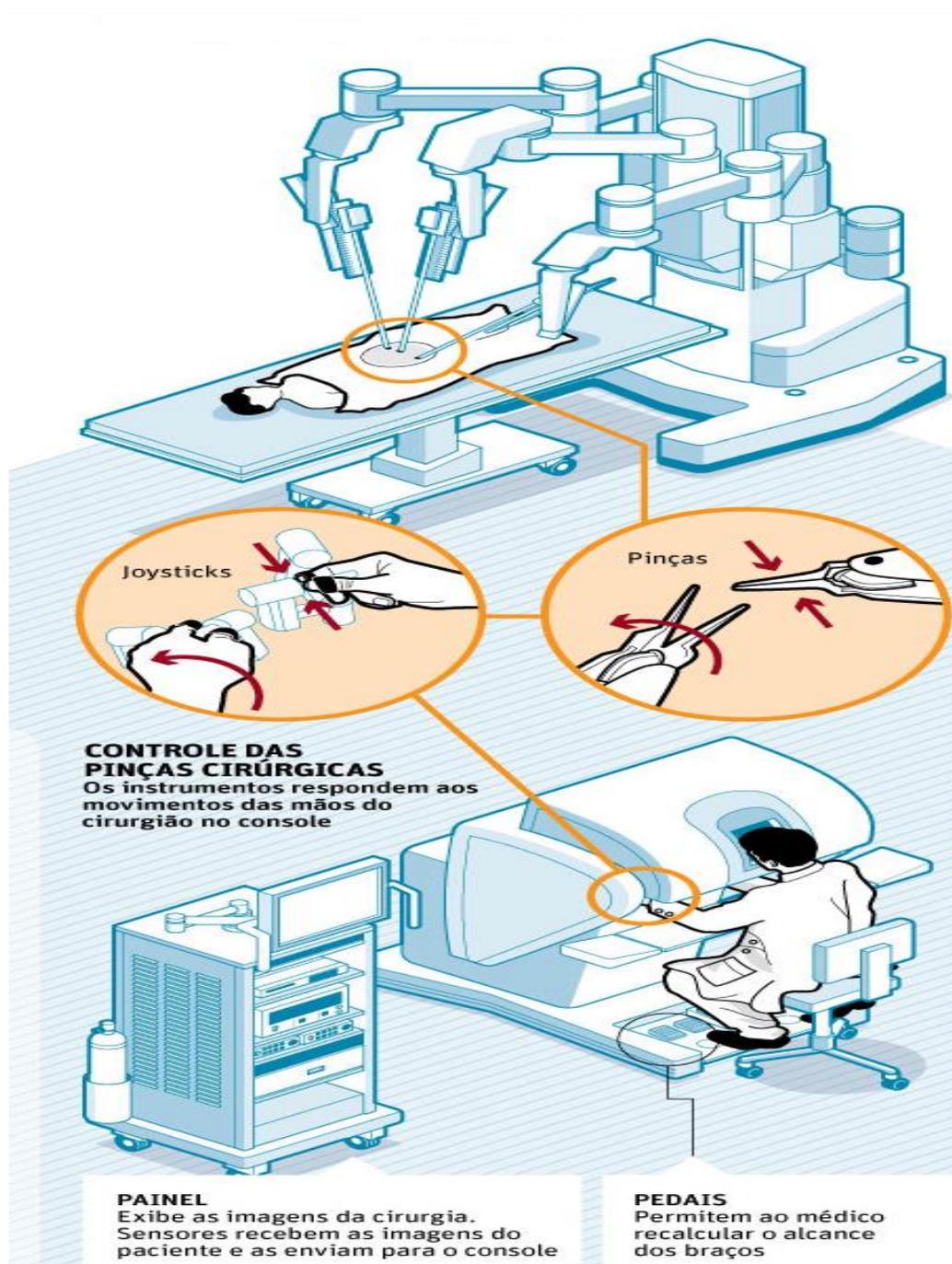


Figura 5 – Sala de cirurgia robótica. Fonte: Damati (2013).

O desenvolvimento dos instrumentos cirúrgicos se baseia nos movimentos de uma mão humana, no entanto esses movimentos podem obter superioridade em relação aos movimentos da mão do cirurgião. As imagens da Figura 6 ilustra os movimentos de articulação.



Figura 6 - Movimentos do instrumento cirúrgico superior à mão humana. Fonte: Colorretal (2014).

Alguns instrumentos Endowrist pode possuir até 7 graus de liberdade de movimentos e diâmetros de 5 mm ou 8 mm, sendo que cada instrumento possui uma função de trabalho específica tal como clamping, sutura, corte e manipulação de tecidos (STRATTNER, 2009).

O acionamento para movimentar os instrumentos é realizado através da articulação dos joysticks repassando as informações aos sensores que movimentam os cabos localizados na parte interna do instrumento cirúrgico realizando assim seus movimentos. Esses instrumentos também dispõem de grande facilidade de substituição entre si, por serem simplesmente acoplados ao braço robótico conforme imagens da (Figura 7).

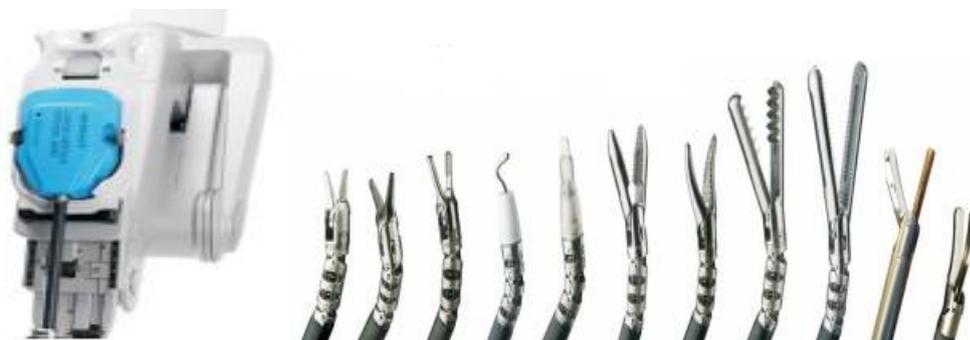


Figura 7 - Instrumentos Endowrist. Fonte: Strattner (2015).

No processo cirúrgico robótico o cirurgião necessita de ótima precisão, destreza e controle das mãos e dedos, juntamente a isso muita sensibilidade, porém o sistema da Vinci dispõe de um movimento em escala com um raio de atuação que permite que o sistema traduza os movimentos das mãos, pulsos e dedos do cirurgião em movimentos precisos e imediatos para a extremidade dos instrumentos dentro da cavidade endoscópica.

Discussão

Para o processo de aprendizagem das técnicas de cirurgia robótica aplicado ao principal método realístico, se impõe a necessidade de recorrer ao treinamento em cadáveres de animais ou humanos, mas uma outra alternativa destaca Rosa; Moreira (2013) seria a utilização de métodos como simuladores mecânicos, virtuais ou tecidos sintéticos que proporciona ao cirurgião uma assimilação rápida das competências básicas, possibilitando a repetição do mesmo processo cirúrgico várias vezes. O cirurgião que queira adquirir uma certificação na área cirúrgica robótica necessita realizar essa formação em outros países como Estados Unidos e Europa, pois esse método de ensino ainda não existe no Brasil, além disso, a formação pode durar até um ano o que acaba elevando os custos com viagens e assim muitos cirurgiões acabam desistindo dessa ideia.

De modo geral, todo cirurgião ao concluir seu certificado de formação em cirurgia robótica precisa estar apto também em realizar a cirurgia convencional, pois no caso de qualquer eventualidade, ele se sinta confortável em dar continuidade à cirurgia. Após conclusão do curso em cirurgia robótica o cirurgião para se tornar experiente necessita realizar acima de 250 cirurgias robóticas para obter um excelente trabalho cirúrgico (ZANDONANI, 2015).

No Brasil a cirurgia robótica e a utilização do sistema da Vinci chegaram em 2008 e um dos primeiros hospitais a trazer essa tecnologia foi o Hospital Sírio Libanês em São Paulo. Hoje a cirurgia robótica está presente nos principais hospitais de São Paulo, Barretos, Rio de Janeiro, Porto Alegre e Fortaleza.

O valor de um robô cirúrgico da Vinci pode custar em média R\$ 3,5 milhões, além de sua manutenção que pode chegar em R\$ 200 mil anual, no entanto a única empresa representante dos robôs da Vinci no Brasil é a Strattner que está

localizada em São Paulo e Rio de Janeiro. As principais aplicações que a cirurgia robótica esta sendo utilizada é na de Urologia, Ortopedia, Ginecologia, Oncologia, Cirurgia Cardíaca, Cirurgia no aparelho digestivo, Cirurgia Torácica, Cirurgia de Cabeça e pescoço (TOMASICH, 2013).

Vantagens e desvantagens

As principais vantagens que o robô da Vinci dispõe ao cirurgião é que o sistema proporciona grande conforto ergonômico, destreza e ótima precisão, que possibilita a ele operações complexas e difíceis de serem realizadas, podendo ser efetuadas por um longo período de tempo sem causar fadiga e cansaço ao cirurgião.

Já para o paciente, o robô cirurgião atua em um procedimento de cirurgia minimamente invasiva (CMI), que diminui o tempo de internação do paciente, pois comparado à cirurgia convencional esse período é muito menor, uma vez que o tamanho do corte cirúrgico é minimamente invasivo, levando em consideração a quantidade de sangue perdido ser muito menor, possibilitando assim uma recuperação mais rápida.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre a cirurgia robótica e a cirurgia convencional relacionando cirurgias de diferentes procedimentos.

Tabela 01 - Comparação entre cirurgia robótica e cirurgia convencional.

Tipo de cirurgia			Perda de sangue	Tempo de Internação	Tamanho dos cortes cirúrgicos
Urologia	Extração radical da próstata	Robótica	150 mililitros	De 1 a 2 dias	De 1 a 3 cm perto do umbigo
		Convencional	700 mililitros	De 3 a 4 dias	15 cm abaixo do umbigo
	Extração total de rim	Robótica	150 mililitros	2 dias	De 1 a 10 cm na região lombar
		Convencional	500 mililitros	4 dias	20 cm abaixo do umbigo

Continua a tabela na próxima página.

Ginecologia	Extração de mioma	Robótica	100 mililitros	De 1 a 2 dias	De 1 a 10 cm na região pélvica
		Convencional	400 mililitros	De 3 a 4 dias	De 10 a 20 cm na região pélvica
	Extração do útero	Robótica	100 mililitros	2 dias	De 1 a 3 cm na barriga
		Convencional	300 mililitros	De 4 a 5 dias	10 cm na barriga
Cardiologia	Ponte de safena e mamaria	Robótica	200 mililitros	De 3 a 4 dias	1 cm no peito
		Convencional	400 mililitros	10 dias	25 cm no peito
	Troca de válvula cardíaca	Robótica	200 mililitros	De 3 a 4 dias	1 cm no peito
		Convencional	400 mililitros	10 dias	20 cm no peito
Gastrenterologia	Retirada de tumor no reto	Robótica	50 mililitros	3 dias	De 1 a 3 cm na região pélvica
		Convencional	400 mililitros	1 semana	25 cm na região pélvica
	Retirada de tumor no esôfago	Robótica	100 mililitros	De 1 a 2 dias na UTI	1 cm no tórax
		Convencional	600 mililitros	1 semana na UTI	De 20 a 30 cm no tórax
	Retirada de tumor no pâncreas	Robótica	250 mililitros	12 dias	De 1 a 5 cm na barriga
		Convencional	750 mililitros	15 dias	35 cm na barriga
	Retirada de tumor no fígado	Robótica	250 mililitros	De 4 a 5 dias	De 1 a 5 cm na barriga
		Convencional	750 mililitros	10 dias	30 cm na barriga

Fonte: Rosa; Moreira (2013).

O que se considera como desvantagem em relação ao uso do sistema da Vinci na cirurgia robótica seria o custo de aquisição e posteriormente sua manutenção, que talvez sejam elevados devido ao robô cirurgião da Vinci ser o único sistema comercialmente vendido no mercado atualmente.

Considerações Finais

Os resultados consideráveis em relação ao sistema da Vinci se dão pelo fato da complexa habilidade de movimentos que o robô dispõe sendo superior aos movimentos humanos, além de uma ótima precisão de modo que esse fator seja de extrema importância devido atuar em um procedimento cirúrgico, pois o sistema tem possibilidade de correção do tremor das mão do cirurgião e movimentos em escala, além de um campo de visão que proporciona ao cirurgião visualizar os mínimos detalhes de uma cirurgia.

A cirurgia robótica através do sistema da Vinci vem se destacando a cada ano devido aos benefícios apresentados aos pacientes em relação à rapidez de recuperação pós-operatório, e sua aceitação aos poucos vai quebrando os paradigmas do medo que as pessoas sentem relacionado ao uso de robôs realizando a cirurgia em uma pessoa, no entanto esse obstáculo proposto aos costumes opcionais do método tradicional de cirurgia deve ser vencido, possibilitando abrir novas portas as tecnologias da robótica na medicina que ainda virão nos próximos anos.

No Brasil a cirurgia robótica aos poucos vem ganhando seu espaço beneficiando os pacientes, possibilitando um menor tempo de internação no qual esse é grande problema devido à falta de estrutura da maioria dos hospitais brasileiros. Com certeza, em um futuro bem próximo, novas descobertas de robôs cirurgiões virão com preços mais acessíveis que possa ser implantados em todo sistema publico de saúde brasileiro.

Referências

BONSOR, Kevin. **Robôs cirúrgicos**. Disponível em: <<http://saude.hsw.uol.com.br/cirurgia-robotica1.htm>>. Acesso em: 11 maio 2016.

COLORRETAL. **Vídeocirurgia colorretal robótica**. Disponível em: <http://www.colorretal.com.br/tratamento/videocirurgia-colorretal-robotica/>>. Acesso em: 18 maio 2016.

DAMATI, Rodrigo. **Como funciona a operação via robô**. Disponível em: <<https://megaarquivo.com/tag/robotica-2/page/2/>>. Acesso em : 18 maio 2016.

LUNARDI, Liege; MULLAZANI, Magda. **Cirurgia robótica no Hospital das Clínicas de Porto Alegre, HCPA**. Disponível em <<http://www.sindihospa.com.br/4jornada/palestras/MagdaMulazzani.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2016.

ROSA Mariana; MOREIRA Michele. **Aplicação da Robótica nos Centros Cirúrgicos**. 2013. Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL – Santa Rita do Sapucaí.

SURGICAL, Intuitive. **Criando valor com o programa cirúrgico da Vinci**. Disponível em:<http://www.strattner.com.br/pdf/Creating_Value_with_a_da_Vinci.pdf>. Acesso em: 18 maio 2016.

TOMASICH, Flavio. Técnicas com robôs facilita recuperação em cirurgia. **Revista Hospitais Brasil**. São Paulo, maio 2013. Disponível em: <<http://www.revistahospitaisbrasil.com.br/artigos/tecnica-com-robos-facilita-recuperacao-em-cirurgias/>>. Acesso em: 10 maio 2016.

VEIGA, Diogo. **Cirurgia minimamente invasiva**. 2011. Dissertação de Mestrado Integrado em medicina – Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto.

ZANDONADI, Viviane. **Profissões do Futuro: Cirurgia robótica**. Disponível em: <<http://educacao.estadao.com.br/noticias/geral,profissoes-do-futuro-cirurgia-robotica,1743445>> Acesso em: 11 maio 2016.

Estudo de Viabilidade de Chapisco Automatizada de Camisas de Moendas

Automated Welding Feasibility Study Millings Shirts

Aguinaldo Iglesias¹
Felipe Saturnino Tonheiro Carlos²
Prof. Me. Paulo Sérgio Barbosa dos Santos³

Resumo

Neste artigo foi elaborado um projeto de pesquisa entre os processos de chapisco manual e automatizado de camisa de moendo, mostrando as diferenças entre os mesmos, visando a segurança dos chapiscadores, fazendo uma comparação de viabilidade e custo de cada processo e colocando as vantagens que cada um gera.

Palavras-chave: Processo de chapisco, Automação, Viabilidade do chapisco automatizado.

Abstract

In this article we designed a research project between the processes of roughcast manual and automated grinding shirt, showing the differences between them, seeking the safety of drafters, making a feasibility comparison and cost of each process and putting the advantages that each generates one.

Keywords: roughcast Process Automation, Feasibility automated roughcast.

Introdução

As usinas sucroalcooleiras são as empresas responsáveis pela transformação da cana em açúcar, etanol, energia térmica, energia elétrica, etc.

O processamento da cana é feito através de alguns processos como: desfibrarão, moagem, cozimento, filtragem.

A cana após ser colhida passa pelo processo de desfibrarão onde passa por um conjunto de facas e martelos onde diminuem sua seção transformando-as em

¹Acadêmico do 9º termo do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba - SP, e-mail

²Acadêmico do 9º termo do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba - SP, e-mail

³Engenheiro de Controle e Automação, Mestre em Engenharia Mecânica pela UNESP. Docente do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba - SP, engpaulo.sbs@gmail.com

fibras,este processo sujeita o equipamento a um desgaste abrasivo severo, pois através do contato direto com a cana a seção dos equipamentos é reduzida pelas partículas abrasivas da cana.

Após desfibrada a cana passa pelo processo de moagem onde passa por ternos da moenda onde é extraído o caldo.

Durante este processo, existem três tipos de desgaste: por moagem, por abrasão e por atrito.

Para que haja uma melhor eficiência da extração do caldo no processo de moagem, os equipamentos são submetidos a uma manutenção constante durante a operação da moenda, é acrescentado ligas de carbonetos de alta dureza através da soldagem, que no decorrer dos processos serão desgastados pelos tipos de desgastes citados acima.

Para os processos de moagem e desfibrarão, os processos de soldagem utilizados no revestimento das peças desgastadas são: eletrodo revestido (S.M.A.W) ou arame tubular (F.C.A.W.).

A escolha do processo de soldagem para o revestimento se dá basicamente em função do custo, qualidade e segurança do operador.

Material e Método

Processo de Moagem

As moendas são equipamentos destinados à extração do caldo de cana através do esmagamento a alta pressão, em torno de 250 kgf/cm². Nas unidades industriais utilizam-se série de 4 a 7 ternos, formando o conjunto de moendas ou tandem, por onde toda a cana desfibrada irá percorrer até completar o processo de extração do caldo.

O terno de moagem é constituído de quatro cilindros esmagadores ou rolos, onde três rolos giram no sentido horário e um no sentido contrário, fazendo com que o bagaço desfibrado passe por entre eles sendo extraído o caldo.

Cada rolo recebe uma denominação de acordo com sua posição no terno. No plano superior o primeiro rolo é chamado de pré-rolo, cuja rotação se dá no sentido horário, e o segundo denomina-se rolo superior, que tem a posição de seu

eixo controlado por um regulador de pressão hidráulico, girando no sentido anti-horário. No plano inferior, o primeiro rolo é o rolo de entrada e o segundo é o rolo de saída, girando no sentido horário.

Os cilindros são compostos de ranhuras, formando dentes semelhantes à de uma serra, que têm como objetivo aumentar a capacidade de extração.

O primeiro terno de moagem é responsável pela extração de 60 a 70% do caldo de cana, recebendo o nome de caldo primário. Os 30 a 40% de caldo restante não podem ser extraídos por simples prensagem, assim, faz-se necessário o uso da embebição, com o propósito de aumentar a extração.

A embebição consiste na adição de água ou caldo diluído em um ou mais pontos do tandem de moendas. Denomina-se embebição simples, quando se aplica água sobre o bagaço após cada terno e embebição composta quando é aplicada água somente no último terno, e o caldo diluído, sofre em parte ou totalmente, um retorno em cada terno para de novo embeber o bagaço parcialmente esmagado. A água de embebição deve estar a uma temperatura em torno de 70°C para uma maior eficiência (IPT, 1990).

Em seguida o caldo extraído é enviado para as peneiras rotativas, para separação dos sólidos em suspensão no caldo, e enviado para o tratamento do caldo. O material que ficou retido na peneira é enviado para o primeiro ou segundo terno da moenda como refluxo.

Veja abaixo na figura 5 o processo de moagem da cana de açúcar:

As peneiras são equipamentos fundamentais para evitar sobrecarga nos decantadores e filtros, desgastes em equipamentos em geral, e ainda contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos finais.

A figura 1, mostra o processamento da cana de açúcar em uns dos processos de uma usina sucroalcooleira.

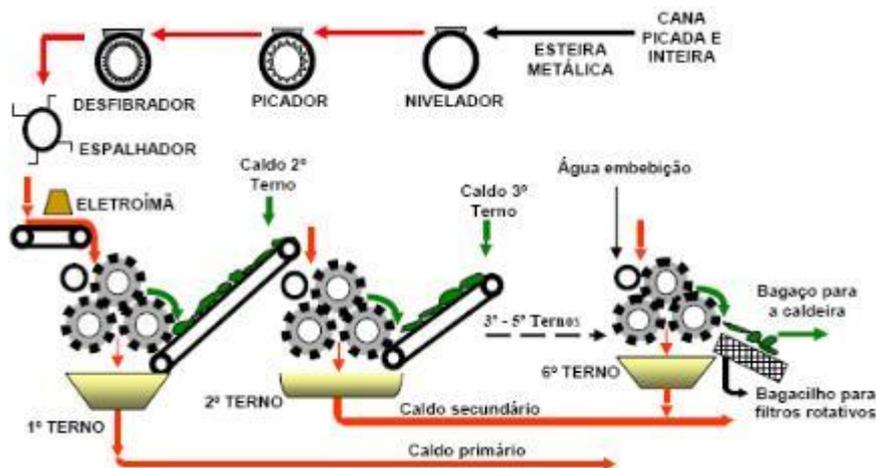


Figura 1–Processo de moagem da cana de açúcar. Fonte: site Ebah.

Chapisco

Com o funcionamento de 24 horas durante a safra, vibrações e rotações contínuas, caldos em alta temperatura e a circulação da cana nos ternos da moenda acabam gerando desgastes nos frisos da moenda havendo a necessidade de uma manutenção constante de adição de ligas de carboneto de alta dureza.

Este processo tem o nome de chapisco sendo ele manual ou automatizado.

A figura 2 mostra as partes dos rolos onde serão submetidos a soldagem (chapisco) para reparar os desgastes convenientes da moagem.

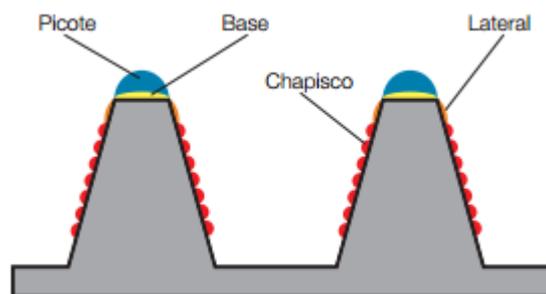


Figura 2 – Frisos de uma moenda. Fonte: <https://www.utp-maintenance.com>.

Processo de Chapisco Manual

Numa forma mais tradicional, esse processo é um processo de chapisco manual com vareta de eletrodo. Ele é muito utilizado pelo setor sucroalcooleiro para melhorar o arrasto de bagaço, proteger a camisa contra abrasão prematura,

melhorar a extração das moendas de cana-de-açúcar, entre outros benefícios. Atualmente, esse processo é ainda utilizado em um grande número de usinas.

Nesse processo, é prevista a fusão de varetas de eletrodo de soldagem, que são embaladas em caixas e utilizadas pelo operador (chapisador), uma de cada vez, em cada lateral dos frisos. Este procedimento demanda muito tempo na aplicação, aproximadamente 5 minutos por vareta. Em face da grande quantidade de frisos que se deve chapiscar, em média duas mil (2000) laterais por dia, o processo de chapisco manual tem que ser feito em vários turnos, independente da hora e do dia. Isso, aliado às condições de difícil acesso aos frisos, acarreta um trabalho fatigante, com alta insalubridade e que coloca em risco o seu operador.

Além destes inconvenientes, o processo de chapisco manual com eletrodos de soldagem, feito com a moenda em funcionamento, conforme acima mencionado, empobrece a garra do chapisco nas laterais dos frisos, devido ao fato do mesmo trabalhar umedecido, contrariando a recomendação dos fabricantes de consumíveis, no que diz respeito ao uso e armazenamento desses materiais que deve ser em lugar seco. Comparando o chapisco aplicado “in-loco” com a moenda em funcionamento versus aplicação a seco, este empobrecimento das características acarreta uma menor granulação do chapisco e logo menor arrasto do bagaço, conseqüentemente menor produtividade e menor extração da camisa feita com processo umedecido frente ao processo seco.

Este processo data dos anos 80 e por ser simples ainda é muito utilizado nas usinas brasileiras e estrangeiras, mas já não atende de modo satisfatório às atuais demandas e legislação no que concerne à segurança de trabalho, eficiência e outras.

A figura 3, demonstra o processo de chapisco manual onde o operador fica posicionado em cima de uma plataforma direcionando o eletrodo com uma tocha.



Figura 3 – Processo de chapisco manual.

Fonte: <https://i.ytimg.com/vi/w4-6qjLs8ps/maxresdefault.jpg>

Processo de chapisco automatizado

Nos últimos anos este tem sido um tema muito discutido entre técnicos e engenheiros de moenda quanto às questões operacionais deste processo.

É de suma importância a aplicação do chapisco para um bom desempenho de uma moenda, o processo de moagem e extração são totalmente dependente do chapisco, pois é a única forma de se obter uma boa eficiência do processo e proteção da do revestimento. Também é tema de muita discussão entre técnicos de segurança do trabalho, pois o profissional que aplica o chapisco fica de certa forma exposto a condições mais críticas de trabalho, aumentando os riscos de acidente e exigindo do departamento de segurança do trabalho ações para minimizar estes riscos para o profissional.

Entretanto temos testemunhado por este país a fora inúmeras soluções eficazes para este problemas de segurança, muitas usinas dão a devida atenção a esta causa. Uma solução buscada por muitos é a automatização deste processo, tirar o profissional que aplica o chapisco das áreas da moenda que oferecem riscos, ou seja, tirar o profissional da proximidade com os ternos.

Entendemos que esta não é a única solução para esta questão de segurança, mas respeitamos as organizações que optam por este sistema e fazem da automatização do chapisco a saída para, além de minimizar os riscos para o

profissional, aperfeiçoar o processo de aplicação de chapisco. É evidente que o chapisco automatizado, o qual faz uso do arame tubular como consumível, traz com ele uma série de vantagens técnicas no processo.

A primeira delas é a homogeneidade da aplicação, as gotículas ficam muito melhor distribuídas no flanco do friso, isto se dá devido à estabilidade da tocha (lança) por onde sai o arame, pois esta é fixada no equipamento, que por sua vez é fixado em alguma parte da estrutura da moenda, proporcionando assim perfeita estabilidade do arco e menos perdas de arame, não existe a interferência direta do soldador que, quando se aplica de forma manual, intencionalmente provoca variações na distância entre o bico de contato da tocha e o friso, interferindo assim na estabilidade do arco.

Outra vantagem é o total controle do volume de chapisco aplicado, onde os equipamentos que aplicam possuem este recurso para o perfeito controle da quantidade de arame aplicada em cada friso, podendo ser aumentado ou diminuído conforme a necessidade da moenda.

Contudo, estas vantagens levam à uma terceira característica muito importante que é a redução do tempo de aplicação, onde uma camisa de 78", por exemplo, pode ser chapiscada em torno de 3 horas.

A implantação de um processo automatizado seja em qualquer esfera da indústria requer mudanças, a primeira delas são conceitos sobre o processo. Aplicar um chapisco por meio do processo arame tubular com um equipamento automatizado exige adaptações na moenda. Outro desafio é questão da montagem e desmontagem do equipamento para o set up do processo em cada terno, este trabalho demanda certo esforço e conhecimento da equipe para fazê-lo e, conforme a complexidade de cada equipamento e a acessibilidade dos ternos de moenda pode facilitar ou dificultar esta operação. Uma coisa é certa: haverá um tempo que será fundamental a automatização deste processo, pois as exigências dos mercados, das normas de segurança do trabalho, da agilidade e rapidez na aplicação levarão às usinas e destilarias buscar meios mais eficientes para seus processos.

A figura 4, demonstra o processo de chapisco automatizado, detalhando a homogeneidade da aplicação onde as gotículas de solda estão bem distribuídas pelos frisos.



Figura 4 – Chapisco aplicado pelo processo automatizado.

Fonte: voestalpine.com/welding

Discussão

Entre o processo de chapisco manual e automatizado existem suas vantagens e desvantagens, o chapisco manual conforme citado nos tópicos anteriores ele apresenta desvantagens para diversos setores dentro da usina sucroalcooleiras, como, a segurança do operador onde fica exposto a um ambiente insalubre com alta temperatura decorrente da embebição, quanto ao posicionamento incorreto da tocha na lateral do friso a ser chapiscado por ser uma atividade que exige esforços físicos do operador e que acarreta fadiga do mesmo, etc.

O processo de chapisco automatizado tem como vantagens a sua homogeneidade do chapisco na lateral do friso, o operador não fica em contato direto com o processo, tem o uso do arame tubular para tal feito da operação, pode operar 24 horas nas safras das usinas, tem o total controle do volume de chapisco aplicado podendo obter a media de utilização do arame para fazer uma comparação de gastos por aumento e diminuição da capacidade da moenda.

Feito a análise técnica dos processos manual e automatizado, vem por vez, a análise de custo e testes de instalação dos mesmos.

No processo de chapisco automatizado foram feitos 4 testes na USINA COPLASA GRUPO MORENO.

No primeiro teste: na camisa 90" de saída do 3º terno:

Foi aplicado chapisco em todos os frisos com aproveitamento total. Estava sem chapiscar a 2 dias e não tinha chapisco para pega e proteção. Onde: aplicamos 30 kg de arame sugartectub Hard 2,8mm com 02 passes. Usamos 10 passes ou cordões por volta da moenda com área de 34mm revestida. Tempo de aplicação chapisco por friso de 2,30 min com 5 segundo para mudança de friso. Tempo para concluir chapisco nesta camisa: 2h e 10 min. Em dois passes. Tempo para montagem do equipamento a entrar em atividade: media de 1 hora.

Paramentos de soldagem:

- Voltagem: 32 a 34 V
- Amperagem: 310 a 330 amp.

Na figura 5, mostra o resultado após concluir o chapisco nesta camisa.



Figura 5 – Performance total após 2 horas e 10 minutos de chapisco.

Fonte: USINA COPLASA GRUPO MORENO- SP

No segundo teste: na camisa 90" de saída do 2º terno:

Foi aplicado chapisco em todos os frisos com aproveitamento total. Estava sem chapiscar a 1 dia e estava com media aplicação ou proteção. Sendo: aplicamos 30 kg de arame sugartec tub Hard 2,8mm em 44 frisos de moenda. Usamos 10 passes ou cordões por volta da moenda com área de 34mm revestida. Com 01 só passe. Tempo de aplicação chapisco por friso de 1,30 min com 5 segundo para mudança de friso. Tempo para concluir

chapisco nesta camisa: 70 min. Tempo para montagem do equipamento a entrar em atividade: media de 1 hora.

Paramentos de soldagem:

- Voltagem: 32 a 34 V
- Amperagem: 310 a 330 amp.

No terceiro teste: na camisa 90" de saída do 5° terno: aplicado 25 kg arame. Foi aplicado chapisco em todos os frisos com aproveitamento total. Estava sem chapiscar a 2 dias e com chapisco já com aparência fraca, sem pega. Aplicamos arame sugartec tub Hard 2,8mm em 58 frisos de moenda. Usamos 08 passes ou cordões por volta da moenda com área de 25mm revestida. Tempo de aplicação chapisco por friso de 1,42 min e 5 segundo para mudança de friso. Tempo para concluir chapisco nesta camisa: 85 min.. Tempo para montagem do equipamento a entrar em atividade: media de 1 hora.

Paramentos de soldagem:

- Voltagem: 32 a 34 V
- Amperagem: 310 a 330 amp.

No quarto teste: na camisa 90" de saída do 3° terno: aplicado 40 kg arame. Foi aplicado chapisco em todos os frisos com aproveitamento total. Estava sem chapiscar a 2 dias e com chapisco já com aparência media. Aplicamos arame sugartec tub Hard 2,8mm em 44 frisos de moenda. Usamos 10 passes ou cordões por volta da moenda com área de 34mm revestida. Tempo de aplicação chapisco por friso de 2,30 min com 5 segundo para mudança de friso. Tempo para concluir chapisco nesta camisa: 2h e 10 min. Em dois passes. Tempo para montagem do equipamento a entrar em atividade: media de 1 hora.

Paramentos de soldagem:

- Voltagem: 32 a 34 V
- Amperagem: 310 a 330 amp.

Depois chapiscamos: 5° terno de entrada, com mesmos ajustes e dados usados neste quarto teste.

Aplicamos 30 kg de arame. E posteriormente usamos em outras camisas ate terminar restante arames.

Nesta mesma usina atualmente trabalham 12 chapiscadores. Sendo, 6 nos rolos superiores, onde aplicam chapisco no mesmo rolo todo dia, e 6 chapiscadores nos rolos inferiores fazendo entrada e saída num período de aplicação a cada 3 dias.

Cada chapiscador depositam media de a 12 kg de chapisco por dia. Quantidade media de aplicação chapisco é de 5,5 a 6,0 kg de chapisco por tonelada de cana.

- Moagem diária media de 22.000 toneladas/ dia.
- Consumomédio de kg chapisco/dia: 110 a 130 kg.
- Custo médio / hora por chapiscador: R\$11,50
- Valor médio do kg eletrodo: R\$ 9,10 +10% IPI = R\$10,01
- Extração: 96,39 / fibra: 14,60 / 15-20 kg impureza mineral / corte: 100% mecanizado.

Robotec aplicou com maior facilidade 200 kg de arame em testes de 5 dias. Conseguindo depositar em todas a faces dos frisos, exceto as que tinha alguma proteção de chapa onde impediria fazer os 2 últimos frisos.

Podemos informar que hoje é possível usar 01 robotec em todos rolos inferiores, em 08 horas de trabalho com aplicação media de 2 a 3 camisas/dia. Ou seja: desde que os suportes e instalações sejam bem instalados e práticos, será feita 3 camisas, o tempo para chapiscar cada camisa é de aproximadamente 2:00 horas e 30 minutos para fazer mudança de uma camisa para outra.

$2 \text{ horas} \times 3 = 6,0 \text{ horas}$ $0,5 \times 3 = 1,5 \text{ horas}$ total de 7,5 horas chapiscando 3 camisas/dia em 8 horas.

De 6 chapiscadores que trabalham nos inferiores, utilizaria apenas 01 para aplicação com robotec. Podendo chapiscar mesmo rolo a 2 dia.

Onde: com aplicação com eletrodo é possível depositar chapisco na mesma camisa todo dia, mas para garantir uma total proteção é necessários 2 dias para concluir chapisco. 01 homem chapisca $\frac{1}{2}$ camisa por dia. 02 dias para fazer 01 camisa.

Em camisas superiores onde o excesso de caldo é grande, toda superfície fica alagada impedindo de visualizar os frisos. No modo manual o chapiscador precisa ter muita atenção para chapiscar as faces dos frisos e não

deixar tocar o fundo, caso ocorra terá encabelamento e arraste de bagaço danificando dentes dos pentes e podendo até virar ou algo pior.

Com solução robotec, este terá ajuste suficiente para aplicar nas posições acertadas com aplicação correta para cada friso.

Resultados Obtidos

A tabela 1, representa os gastos de 6 equipamentos retificadores de 425 A utilizado no processo de chapisco manual, em 1 ano.

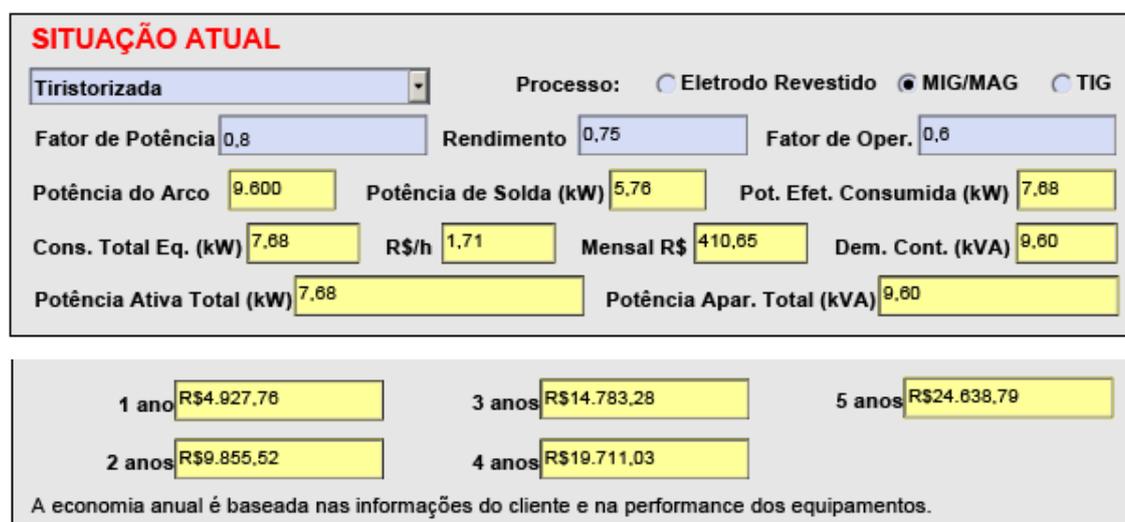
Tabela 1 – Gastos de 6 equipamentos retificadores de 425 A.

SITUAÇÃO ATUAL							
Convencional	Processo:	<input checked="" type="radio"/> Eletrodo Revestido	<input type="radio"/> MIG/MAG	<input type="radio"/> TIG			
Fator de Potência	0,6	Rendimento	0,6	Fator de Oper.	0,35		
Potência do Arco	6.720	Potência de Solda (kW)	2,352	Pot. Efet. Consumida (kW)	3,92		
Cons. Total Eq. (kW)	23,52	R\$/h	5,24	Mensal R\$	1.257,80	Dem. Cont. (kVA)	39,20
Potência Ativa Total (kW)	23,52		Potência Apar. Total (kVA)	39,20			
1 ano	R\$15.091,26	3 anos	R\$45.273,78	5 anos	R\$75.456,30		
2 anos	R\$30.182,52	4 anos	R\$60.365,04				
A economia anual é baseada nas informações do cliente e na performance dos equipamentos.							

Fonte: EUTECTIC DO BRASIL LTDA.

A tabela 2, representa os gastos de 2 mig 500 A utilizado no processo de chapisco automatizado, em 01 ano.

Tabela 2 – Gastos de 2 MIG 500 A.



Fonte: EUTECTIC DO BRASIL LTDA.

A tabela 3, relaciona os gastos de energia entre os processos de chapisco automatizado e manual, em 1 ano.

Tabela 3 - gastos de energia entre processos de chapisco manual e automatizado.

CONSUMODE ENERGIA DE 6 RETIFICADORES 425 A X 2 FONTE TIRISTORIZADA MIG DE 500 A.	
6 RETIFICADORES	R\$ 15.091,26
2 MIG TIRISTORIZADA	R\$ 4.927,76
ECONOMIA	R\$ 10.163,50

Fonte: Autores.

A tabela 4 mostra a economia na redução de 6 chapiscadores para 1 pessoa em uma safra de 240 dias.

Tabela 4 - economia na redução de 6 chapiscadores para 1 pessoa em uma safra de 240 dias.

ECONOMIA EM REDUÇÃO CHAPISCADORES EM UMA SAFRA DE 240 DIAS DE 06 PESSOAS P/01											
ROBOTEC NOS ROLOS INFERIORES											
TIPO DEPOSITO	CHAPISCA DORES	R\$ HORA/HOMEM	CAMISAS	QUANTIDA DE POR CAMISA	TEMPO POR CAMISA	CAMISAS CHAPISCADAS POR DIA	R\$ POR KG DE MATERIAL	TOTAL MATERIAL GASTO POR CAMISAS R\$	APROVEITAMENTO MATERIAL/QUALIDADE	TOTAL R\$ MÃO DE OBRA POR DIA	TOTAL R\$ MÃO DE OBRA NA SAFRA
APLICAÇÃO MANUAL	6	R\$ 11,50	12	21 A 24 KG	16:00 HORAS	3	R\$ 9,10	270 KG	35% OU 94,5 KG	R\$ 552,00	R\$ 132.480,00
ROBOTEC-AUTOMATIZADO	1	R\$ 11,50	12	20 A 26 KG	2:30HORAS	3	R\$ 18,90	270 KG	65% OU 175,5 KG	R\$ 92,00	R\$ 22.080,00
ECONOMIA	5			0 KG	13:30 HORAS			R\$ 22.60	30%	R\$ 460.00	R\$ 110.400,00

Fonte: EUTECTIC DO BRASIL LTDA.

Considerações Finais

Obtido as devidas informações sobre processo manual e automatizado onde foram feitas análises técnicas mostrando passo a passo desse trabalho pode-se ver que o processo manual existe necessidades de melhoria, quanto para o operador de chapisco e para a qualidade de extração do caldo onde a camisa da monde deve estar em perfeitas condições de trabalho.

Para sobreviver, empresas vêm buscando novas inovações para que possam melhorar os seus processos de produção e também, melhorando o ambiente de trabalho de seu colaborador dando mais segurança.

Uma construção de um sistema de custeio é necessária para a sobrevivência de qualquer empresa, neste artigo foi elaborado um projeto de pesquisa entre os processos manual e automatizado de chapisco de camisa de moenda e um levantamento de custo que foi feito na usina COPLASA.

Referências

Disponível em: <w.infosolda.com.br/nucleo/downloads/rp.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2016.

Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZNUAG/relatorio-cana-acucar?part=3>>. Acesso em 15 de maio de 2016.

Disponível em: <https://www.utp-maintenance.com/.../019-2015-pt-br_uto_SugarCanelIndustry_web2.pdf>. Acesso em 9 de abril de 2016.

Disponível em: <voestalpine.com/welding>. Acesso em 28 de abril de 2016.

SANTOS, Z. F.- Especialista em aplicações. Estectic.