

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)**

2022 - nº 10

Nota do editor

A publicação técnico-científica ainda é um dos meios mais interessantes do pesquisador marcar seu nome no *metier* acadêmico. Entretanto, atualmente, há certas críticas nas métricas e nas estratégias de publicação que os periódicos acabam adotando ou induzindo. Sempre convém lembrar que nomes como Albert Einstein, Paul Dirac, Erwin Schrödinger e Niels Bohr, se fossem avaliados por sua produtividade acadêmica, provavelmente não ocupariam cadeiras significativas em universidades de prestígio.

Contudo, convém lembrar que, em era de internet, em tempos de inteligência artificial, e da grande facilidade com que nós dispomos de recursos e ferramentas para edição, hospedagem e de disseminação do conhecimento, tonar-se imprescindível que a publicação ainda seja um instrumento relativamente seguro, eficaz, eficiente e, em muitas áreas, até estratégico e fundamental de se pautar a vida do profissional.

Assim sendo, uma vez mais, conclamamos aos colegas docentes que façam deste fórum digital um meio democrático onde suas ideias possam emergir. Portanto, reforçamos que prossegue em aberto as possibilidades de publicações em distintos gêneros, conforme abaixo apreciado.

Resenha crítica: textos produzidos geralmente como iniciação ou preparação para trabalhos mais aprofundados. Neste sentido, a Resenha crítica aborda de maneira sucinta e objetiva determinada problemática sem, entretanto, fugir do necessário rigor e apreciação crítica cientificamente e tecnicamente fundamentada em trabalhos congêneres, contudo, de fontes com grande lastro epistemológico, heurístico e metodológico. Em linhas gerais, na Resenha crítica inclui-se a chamada ‘pesquisa exploratória’ (também conhecida por ‘pesquisa bibliográfica’) contudo, estendendo-se à análise crítica do material estudado.

Comunicação breve (*short paper, short communication, ou issue paper*). Da mesma maneira que a Resenha crítica, nesta modalidade também os autores deverão primar pela qualidade do material a ser apresentado. Contudo, num “Short paper”, os autores comunicarão resultados científicos ou técnicos obtidos e que, num determinado momento da pesquisa ou do desenvolvimento de algum protótipo, mockup, ou projeto, consideram pertinentes serem compartilhados com a comunidade científica, principalmente se tais resultados são inéditos já que, neste caso, o texto também é um documento que demonstra a originalidade de autoria do trabalho.

Nota técnica ou científica: Aqui, de maneira análoga à “Short communication” os autores possuem o objetivo de comunicar determinados procedimentos, metodologias, aplicação de normatizações nacionais ou internacionais, discutir a aplicação ou utilização de equipamentos metrológicos ou de análise laboratorial e que, por força da própria pesquisa ou desenvolvimento tecnológico, carecem de discussão, ou de serem apresentados ou comunicados para seus pares, com distintos objetivos estratégicos.

Sumário

Engenharia Civil

Análise da ação de aditivos plastificantes em concreto convencional por meio de ensaios laboratoriais	4
--	----------

Fernanda Scardovelli de Almeida, Maxwell Cavallin, André Luís Gamino

Análise orçamental de uma residência projetada com métodos construtivos sustentáveis ..	23
--	-----------

Érica Caroline Gonçalves, Luis Eduardo Barbosa de Brito

Ensaio experimental para verificação do aumento da carga suportada por uma treliça projetada em perfis de LightSteel Frame (LSF) reforçada com madeira do tipo Oriented Strand Board	39
---	-----------

Amanda Ferreira Vicente, Edmilson Modesto Junior, Mateus Mendes Silva, Cléverson Arenhart

Estudo da execução e viabilidade de vigas pré-moldadas em canteiro de obra com forma metálica	63
--	-----------

Patrine Alexandre Paco, André Luís Gamino

Análise das propriedades físicas e mecânicas do Concreto autoadensável	82
---	-----------

Diego de Lima Rodrigues, Jhessica Glauca Ribeiro Garçone, Plínio Delano Francisco Nunes, André Luis Gamino

A relevância do cálculo do BDI na composição do preço das obras na construção civil	107
--	------------

Reicton Rilder Guerino, Giuliano Mikael Tonelo Pincerato

Engenharia Mecânica

Sistema de tratamento UHT para produtos lácteos – Araçatuba SP	124
---	------------

Felipe Augusto Polisello Pereira, Gabriel Vieira Soares, João Victor Ferreira Freire, Josué Monteiro de Oliveira, Paulo David Dos Santos Junior, Victor Hugo Seren de Souza, Gabriel Biancolin Moimas

Sistemas e operações do processo de produção de açúcar VHP 139

Higor Mendes de Luna, Fernando Gabriel Eguía Pereira

Projeto de peneira vibratória para separação de sólidos em atividades de Construção Civil 166

Alexsander Henrique dos Santos, Andreson Batista Montalvao Junior, Amauri Pascuim do Nascimento Cesar Roberto Menqui, Guilherme Basseto de Castro, Murilo de Mello Reis, Pedro Henrique Leandro, Amadeu Zanon Neto, Fernando Gabriel Eguia Pereira Soares

Análise da ação de aditivos plastificantes em concreto convencional por meio de ensaios laboratoriais

Action analysis of plasticizer additives in conventional concrete by laboratory tests

Fernanda Scardovelli de Almeida¹

Maxwel Cavallin²

André Luís Gamino³

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil. A sua capacidade de se moldar as peças enquanto seu estado líquido e sua alta resistência em sua característica final garantem a sua visibilidade no mercado. Mudanças foram necessárias para que este se adequasse as exigências do comércio em grande crescente. O acréscimo de aditivos foi uma dessas mudanças. O aditivo superplastificante trouxe características ao concreto como a aceleração da cura, maior trabalhabilidade e facilidade de aplicação em locais de difícil acessibilidade. Este trabalho analisou as particularidades de cada tipo de concreto, destacando suas principais diferenças enquanto, preparos, ensaios e aplicação demonstrados por meio de execução de ensaios para o concreto no estado fresco, apresentados pelas normas vigentes. O trabalho examinou também a sua ação enquanto modificador das propriedades do concreto convencional, por intermédio de uma análise comparativa, realizada através de ensaios laboratoriais de compressão uniaxial e análise gráfica que demonstra a evolutiva dos resultados. Concluiu-se que o uso de aditivos plastificantes provoca acréscimo a resistência final do concreto, contribuindo para o melhor desempenho do material.

Palavras-Chave: Concreto; Aditivos; Resistência à compressão uniaxial; Trabalhabilidade.

ABSTRACT

The concrete is one of the most used materials in construction. Their ability to shape parts while their liquid state and their high strength in their final feature ensure their visibility in the market. Changes were necessary to make it fit the requirements of the rapidly growing trade. The addition of additives was one such change. The superplasticizer additive brought characteristics to the concrete such as acceleration of cure, greater workability and ease of application in places of difficult accessibility. This work analyzed the particularities of each type of concrete, highlighting its main differences as preparation, testing and application demonstrated by performing tests for fresh concrete, presented by the current standards. The work also examined its action as a modifier of the properties of conventional concrete, through a comparative analysis, performed through laboratory tests of uniaxial compression and graphical analysis that demonstrates the evolution of the results. It was concluded that the use of plasticizing additives increases the final strength of the concrete, contributing to a better material performance.

Keywords: Concrete; Admixture; Resistance to uniaxial compression; Workability

¹ Acadêmica 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 Docente do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

Introdução

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo. Mas antes da sua utilização, o homem já buscava meios de ligação ou revestimento para as suas construções, tendo assim registros de utilização de materiais como a argila a fim de atender funções que posteriormente seriam atribuídas ao concreto.

Segundo a NBR 12655 (2015), o concreto é considerado um:

[...] material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

Dentro dos parâmetros estabelecidos por norma, foi possível a criação de diversos tipos de concreto, por intermédio da alteração do traço ou acréscimo de outros insumos, podendo ser utilizados para as variadas utilidades da construção civil, levando em conta o seu local de aplicação, sua finalidade e a necessidade específicas.

Os concretos que apresentam maiores porcentagens de utilização no Brasil são os concretos convencionais e os concretos autoadensáveis. A escolha do tipo de concreto varia entre o tipo de construção a ser realizada, o orçamento utilizado e o tempo útil de execução de obra.

O concreto convencional, o qual possui diversificada utilização na construção civil, desde atividades simples, como a construção de residências unifamiliares até construções complexas, como as de pontes e grandes edifícios, segundo a NBR 7212 (2012) se caracteriza por:

Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou por outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início da pega do concreto, em local e tempo determinados, para que processem as operações subsequentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas.

Já sobre o concreto autoadensável, a NBR 15823-1 (2017) estabelece que o concreto autoadensável é um:

Concreto que é capaz de fluir, auto adensar pelo seu peso próprio, preencher a forma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantêm sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.

Os aditivos à base de éter policarboxilato são considerados a última geração de superplastificantes existentes no mercado. O aditivo atua com a função de dispersar o material aglomerante propiciando elevada redução de água, sendo eficaz na produção de concreto com diferentes necessidades específicas (Tutikian, 2016).

Uma das propriedades que o aditivo pode ocasionar ao concreto é o aumento da resistência final deste, porém a adoção deste material ao concreto não é garantia de que o resultado esperado seja atingido, já que também são necessários cuidados especiais durante o cálculo do traço de concreto, contando assim com o auxílio do aditivo e calculando de maneira que não ocorra desperdício de materiais e atinja a resistência desejada.

O concreto, por ser material de função estrutural, necessita de um controle de qualidade, visando o grande número de variáveis que influenciam nas suas características (Bauer, 2008).

De acordo com Tutikian (2004), o concreto autoadensável pode substituir o concreto convencional, principalmente em obras especiais, pois o custo dos dois pode ser parecido com todos os ganhos permitidos pelo CAA.

A resistência é um dos fatores que permitiu ao CAA destaque no mercado, porém para que este fator seja atendido, são necessários diversos cuidados, que iniciam juntamente com a preparação do concreto e a escolha de seus materiais até o rompimento de suas amostras.

Foi observado por Bastos (2016), que a inserção do aditivo a base de policarboxilatos éter (PCE) contribuiu de forma mais significativa na dispersão e hidratação dos sistemas. Ainda nessa pesquisa do autor, observa-se aumento de 17 % e 36 % na resistência à compressão para os sistemas com adição de 1,5 % e 2,0 % de aditivo, atingindo-se 41 MPa e 54 MPa, respectivamente. Para o caso de cimento CPI com adição de um de policarboxilato-éster, em teor de 0,4 %, foi atingida resistência 118 % superior ao sistema de referência, aos 28 dias, alcançando-se o máximo de 59 MPa.

Materiais e métodos

Execução do ensaio de abatimento (slump-test)

O método utilizado para o ensaio de abatimento do concreto (*slump-test*) segue a norma NBR NM67 (1998), que é aplicável a concretos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm. O objetivo do ensaio é medir a consistência do concreto e saber se pela sua trabalhabilidade ele se enquadra nas características tecnológicas exigidas em projeto.

A placa de base foi posta sobre uma superfície lisa e utilizada uma camada de pó de brita para melhor nivelamento e livrar a placa de vibrações. O cone e a placa base foram umedecidos e o cone colocado sobre a placa base.

A amostra de concreto fresco coletada para a realização do ensaio foi feita de acordo com a norma ABNT NBR NM 33 (1998). Foi realizada a coleta em um recipiente de material não absorvente e metálico. Foi utilizado um carrinho de mão para a coleta, e seu volume atende à norma sendo maior ou igual a 1,5 vezes o volume utilizado para a realização do ensaio.

Devido à comparação de resistência entre o concreto em seu estado inicial ao chegar na obra e após, quando este recebe o acréscimo do aditivo superplastificante, exigindo o uso do mesmo concreto, da mesma betonada, foi coletada a amostra antes da dosagem, sendo assim, antes de atingir os primeiros 15% de descarga. Essa foi uma limitação se deve ao fato de que após o início do lançamento do concreto, este não deve ser interrompido, sendo inviável a retirada de amostras durante este período de aplicação.

O processo de adensamento deve atender as especificações da NM 67 (1998), as quais orientam que seja realizado com a haste de socamento 25 golpes em cada camada, uniformizando os golpes em toda a camada. Para a primeira camada é necessário que haja uma leve inclinação de modo a executar golpes em espiral até o centro.

Para o preenchimento do molde, foram colocados os pés nas arestas de apoio deste, impossibilitando assim que o molde se movimentasse durante o preenchimento.

Foi realizado o preenchimento com três camadas iguais, como determina a norma NBR NM 67 (1998), sendo cada camada correspondente a 1/3 aproximadamente da sua altura total, conforme ilustra a figura 14. Cada camada sofreu 25 golpes com a haste de socamento para a sua compactação, sendo eles uniformemente distribuídos. No preenchimento da última camada o concreto foi adicionado de modo a ultrapassar o volume do molde e após ser concluído o adensamento foi retirado o excesso com uma colher, deixando o concreto rente à borda do cone.



Figura 01 - Retirada do molde de tronco de cone
Fonte: O autor

Após isso, a placa base foi limpa e o cone retirado cuidadosamente na direção vertical sem movimentos laterais para não submeter o concreto a torções, em um intervalo de tempo de 5 a 10 segundos. A operação completa, desde o início de preenchimento do molde com concreto até sua retirada, como demonstrado na figura 15, foi realizada sem interrupções em um intervalo de 150 segundos.

Imediatamente após a retirada do cone, foi medido o abatimento do concreto, considerando a diferença da altura do concreto desmoldado com a borda do cone de acordo com a diretrizes na NBR 5738 (2015). A haste foi colocada em cima do cone, que por sua vez, foi virado com a parte superior contra a placa. Dessa forma o valor considerado é da medida da parte central do concreto desmoldado, usando a régua na vertical, até a parte inferior da haste.

Dosagem e inserção do aditivo superplastificante ao concreto

A dosagem foi realizada de acordo com a quantidade de volume de concreto existente no caminhão betoneira, como demonstrado na tabela 4. Sendo assim, para um volume de 8 m³ de concreto, foi utilizado uma quantidade de 19,2 litros de aditivo superplastificante. Foi realizado a mistura em um tempo de aproximadamente 10 minutos.

Execução do ensaio de espalhamento (slump-flow)

Foi realizada a coleta de uma amostra de concreto fresco, sendo esta coletada em um balde de metal, com volume maior que 10 litros, como determina a NBR 15823-2 (2017),

O molde foi fixado pelas suas alças e preenchido sem adensamento de forma contínua e uniforme. O concreto foi despejado a uma altura de 100 mm acima do topo do molde dentro do limite máximo de altura igual a 125 mm estabelecido pela NBR 15823-2 (2017).



Figura 02 - Desmoldagem do concreto autoadensável

Fonte: O autor

A desmoldagem foi efetuada cuidadosamente, para que não houvesse movimentos de torção, pelas suas alças e com tempo entre 2 e 4 segundos.

Foi cronometrado, como determina a NBR 15823-2 (2017), o intervalo de tempo, em segundos, entre o início e o final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200 mm) até a marca circular de diâmetro 500 mm, para se obter o resultado do ensaio do tempo de escoamento (t_{500}). Todo o processo de preenchimento até a desmoldagem foi feito em um tempo de 15 segundos, dentro do limite máximo determinado pela NBR 15823-2 (2017) que é de 1min.

Após a retirada do molde e a amostra alcançar situação de aparente repouso, foram realizadas duas medidas perpendiculares entre si do diâmetro do espalhamento do concreto como determina a NBR 15823-2 (2017).

O resultado do ensaio de espalhamento foi determinado pela média aritmética das duas medidas perpendiculares do diâmetro. Após isso, foi feita uma análise visual para classificação do IEV (índice de estabilidade visual), observando a distribuição dos agregados, a distribuição da fração de argamassa ao longo do perímetro e a ocorrência de exsudação. O resultado desse ensaio é determinado visualmente pela análise do concreto após o termino do escoamento e classificando como determinado pela NBR 15823-2 (2017). Foi realizada a classificação do Índice de estabilidade visual, como determina a NBR 15823-2 (2017).



Figura 03 - Medidas obtidas através do diâmetro do concreto na placa
Fonte: O autor

Execução de Moldagem concreto autoadensável NBR 15823-1 (2017)

Para a moldagem do CAA são necessários alguns cuidados adicionais, uma vez que a NBR 15823-1 (2017) destaca que: “O CAA sofre segregação dinâmica durante o lançamento e segregação estática após o lançamento”, sendo assim necessário cuidado ao adicioná-lo ao molde.

A moldagem dos corpos de prova para ensaios foi realizada sem adensamento manual ou mecânico de acordo com a NBR 15823-1 (2017).

Atendendo ao que estabelece a NBR 5738 (2015), a moldagem foi realizada de maneira a não ocasionar movimentação nos corpos de prova e de que o próprio concreto se adensasse devido ao seu estado líquido, dispensando o uso de haste para a realização ou qualquer movimento necessário para a moldagem do concreto convencional.

Foi despejado em cada molde uma quantidade de concreto em excesso, de modo que permita o preenchimento completo do molde, para que seja executado o rasamento do concreto com os moldes totalmente preenchidos, como demonstrado na figura 22, seguindo as especificações da NBR 5738 (2015). Foi realizada algumas batidas leves na face externa do molde, até o fechamento de eventuais vazios e realizado o rasamento da superfície com a borda do molde, como ilustra a figura 23, empregando para isso uma colher de pedreiro adequada de acordo com as diretrizes da NBR 5738 (2015).

Preparação das bases dos corpos de prova

A NBR 5738 (2015) salienta que antes de ensaiar os corpos de prova, e imprescindível preparar suas bases, de modo que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova. A preparação das bases dos corpos de prova foi executada por retificação, perdendo alguns milímetros da área do corpo de prova, porém, acertando-as tornando as duas faces lisas e planas.



Figura 1 - Processo de retificação do corpo de prova
Fonte: O autor

O sistema de capeamento não colado de neoprene confinado, é utilizada uma base metálica, cuja função é restringir a deformação lateral do elastômero. Dessa forma, restringindo-se a deformação lateral do material, reduz-se a atuação de esforços diferenciados, responsáveis pelo aumento na variação dos resultados de resistência. A norma C 1231/C1231M (ASTM, 2014) define que a dureza do neoprene varia de acordo com a resistência do concreto a ser ensaiado, assim como o número de vezes de uso, que não deve exceder 100 ensaios.

Para o ensaio de compressão dos corpos de prova de 12 horas deste trabalho, foram utilizados discos de Neoprene com o auxílio dos pratos de aço utilizados como apoio superior e inferior do corpo de prova na prensa. Esse método foi utilizado pelo receio de que a vibração provocada pelo processo de rompimento alterasse as propriedades do corpo de prova e este sofresse alguma interferência durante o processo e adulterando assim os resultados a serem obtidos pelo ensaio.

Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

A execução dos ensaios de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, deve-se seguir as regulamentações da NBR 5739 (2018).

Antes da realização do ensaio de compressão, a NBR 5739 (2018) salienta que deve: “Determinar o diâmetro a ser utilizado para o cálculo da área da seção transversal com exatidão de $\pm 0,1$ mm, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova ou testemunho.”

Evidencia ainda a NBR 5739 (2018) que é necessário: “Determinar a altura do corpo de prova ou testemunho, que deve ser medida sobre seu eixo longitudinal, com exatidão de 0,1 mm, incluindo o capeamento.” Antes de serem submetidos ao carregamento do ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova utilizados nesse estudo foram submetidos a medidas de seu diâmetro e sua altura, como determina a NBR 5739 (2018).

Antes da realização do ensaio devem ser realizadas a limpeza e secagem dos corpos de prova. Estes devem ser centralizado cuidadosamente no prato inferior, auxiliado pelos círculos concêntricos de referência, observando-se o sentido de moldagem (NBR 5739, 2018).

Os corpos de prova desse estudo foram rompidos dentro da tolerância máxima permitida de acordo com a NBR 5739 (2018).

Foram rompidos 4 corpos de prova dos dois tipos de concreto para cada idade de ruptura, sendo assim, dois exemplares possuindo dois corpos de prova cada

As idades determinadas foram: 7 dias, 14 dias e 28 dias.

O carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ Mpa/s, pelo dispositivo controlador de carregamento constante, dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 5739 (2018). A velocidade de carregamento foi mantida constante durante todo o ensaio. O carregamento foi cessado quando houve uma queda de força indicando assim a ruptura.

Para o cálculo do resultado da resistência à compressão em Mpa, a expressão a seguir, de acordo com a NBR 5739 (2018).

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Sendo:

- f_c : a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);
- F : a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);
- D : o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Na prensa utilizada nesse estudo o resultado obtido pelo ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico é dado em tonelada força (tnf), necessitando transformação da unidade de medida em newton pela equação:

$$F = f_p \times 9806,65$$

Sendo:

- F : a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);
- f_p : a força na leitura da prensa expressa em tonelada força (tnf).

Para os corpos de prova com relação altura/diâmetro (h/d) menor que 1,94 deve se multiplicar a força F pelo fator de correção correspondente ao h/d encontrado, conforme a tabela 11.

Foram medidos todos os exemplares dos concretos convencional e autoadensável conforme as diretrizes da NBR 5739 (2018) conforme mostra a tabela 12. Nesse estudo nenhum corpo de prova obteve relação h/d menor que 1,94. Portanto, o fator de correção (h/d) não foi utilizado para obter a força máxima alcançada (F).

Resultados e discussões

Resultado dos Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

Na figura 31 é possível observar que o resultado do ensaio de abatimento, informado na tabela 14, está dentro dos parâmetros em comparativo ao estipulado para o traço utilizado pela concreteira “A” para o concreto empregue, sendo assim, aprovado para dosagem com o aditivo.

Tabela 1 - Resultado de abatimento

Abatimento de projeto (mm)	Abatimento real (mm)
80 ± 20	85

Fonte: NBR 5739 (2018)

Resultados dos ensaios do concreto autoadensável

Os resultados dos ensaios de controle tecnológico para o concreto autoadensável apresentados a seguir, foram obtidos por meio do método do cone de Abrams e seguindo as diretrizes da norma NBR 15823-2 (2017).

Pode-se observar na figura 32 e na tabela 15 que o espalhamento se estendeu ao longo da placa-base até próximo ao seu limite mínimo de projeto fornecido pela concreteira “A”.

Tabela 2 - Resultado obtido pelo ensaio de espalhamento

Fonte: NBR 15823-2 (2017)

Resultados da Resistência à Compressão Axial

Espalhamento Projeto (mm)	Espalhamento (<i>Slump Flow</i>) (mm)	Tempo de escoamento (t500) (s)	Classificação índice de estabilidade visual (IEV)
700 ± 50	660	0,73	1

Os resultados de compressão axial foram obtidos por meio de ensaios de laboratório com a metodologia aplicada seguindo as diretrizes da NBR 5739 (2018) para corpos de prova cilíndricos com moldes de dimensões de 100 x 200 mm. Os resultados são valores referentes aos ensaios entre dois tipos diferentes de concreto, sendo o mesmo traço para ambos e um deles com a incorporação do aditivo superplastificante. As idades de rompimento, como já mencionadas anteriormente, foram as seguintes apresentadas, comparando os resultados iniciais das duas misturas, até a idade de 28 dias.

Resistência à compressão axial em poucas horas de cura

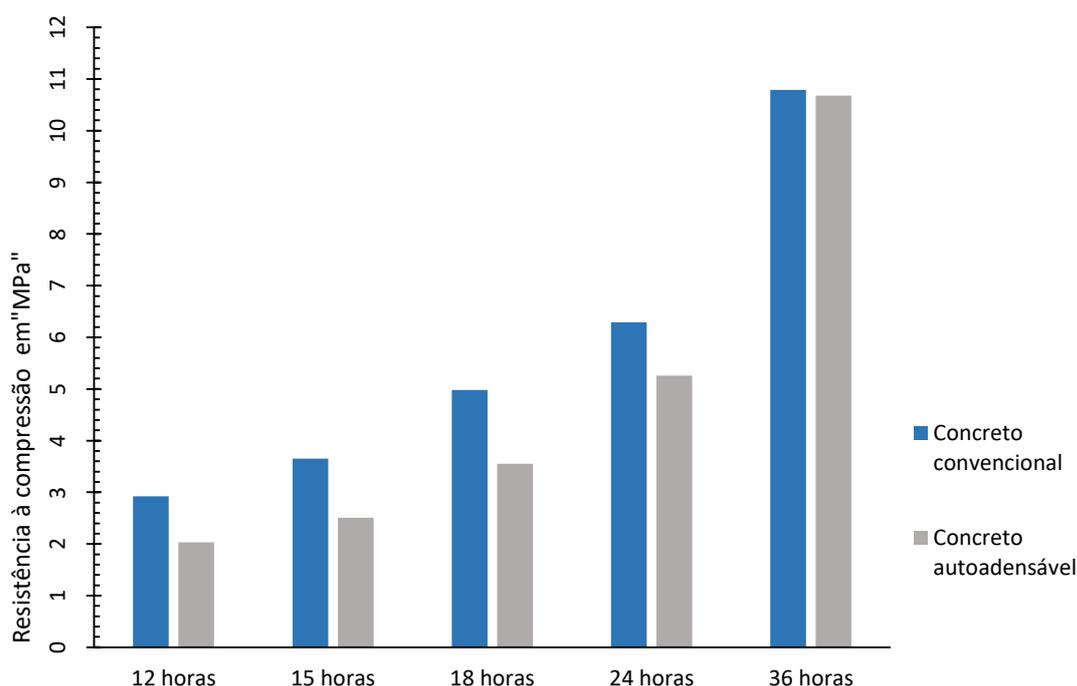


Tabela 3 - Resultados do ensaio à compressão do concreto convencional em idade de 7 dias

Compressão axial – CONCRETO CONVENCIONAL			
Data de moldagem	Data do ensaio	Regularização das bases	idade
20/08/2019	27/08/2019	Retificação	7 dias

Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 196	1,96	159,26	20,28	20,28	20,05	
	100 x 195	1,95	153,08	19,49			
2	100 x 196	1,96	158,28	20,15	20,15		
	100 x 196	1,96	156,71	19,95			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,191			0,94	Excelente			20

Tabela 4 - Resultados do ensaio à compressão do concreto autoadensável em idade de 7 dias

Compressão axial - CONCRETO AUTADENSÁVEL							
Data de moldagem		Data do ensaio		Regularização das bases		idade	
20/08/2019		27/08/2019		Retificação		7 dias	
Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 196	1,96	156,51	19,93	20,39	20,14	
	100 x 196	1,96	160,14	20,39			
2	100 x 196	1,96	159,26	20,28	20,28		
	100 x 196	1,96	157,10	20,00			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,112			0,56	Excelente			20

Tabela 5 - Resultados do ensaio à compressão do concreto convencional em idade de 14 dias

Compressão axial - CONCRETO CONVENCIONAL						
Data de moldagem		Data do ensaio		Regularização das bases		idade
20/08/2019		03/09/2019		Retificação		14 dias

Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 195	1,95	182,50	23,24	23,24	21,99	
	100 x 196	1,96	163,57	20,83			
2	100 x 196	1,96	169,16	21,54	22,45		
	100 x 195	1,95	176,32	22,45			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,585			2,52	Excelente			20

Tabela 6 - Resultados do ensaio à compressão do concreto autoadensável em idade de 14 dias

Compressão axial - CONCRETO AUTADENSÁVEL							
Data de moldagem		Data do ensaio		Regularização das bases		idade	
20/08/2019		03/09/2019		Retificação		14 dias	
Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 196	1,96	196,52	25,02	25,02	24,65	
	100 x 196	1,96	195,54	24,90			
2	100 x 195	1,95	185,74	23,65	24,40		
	100 x 196	1,96	191,62	24,40			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,334			1,35	Excelente			20

Tabela 7 - Resultados do ensaio à compressão do concreto convencional em idade de 28 dias

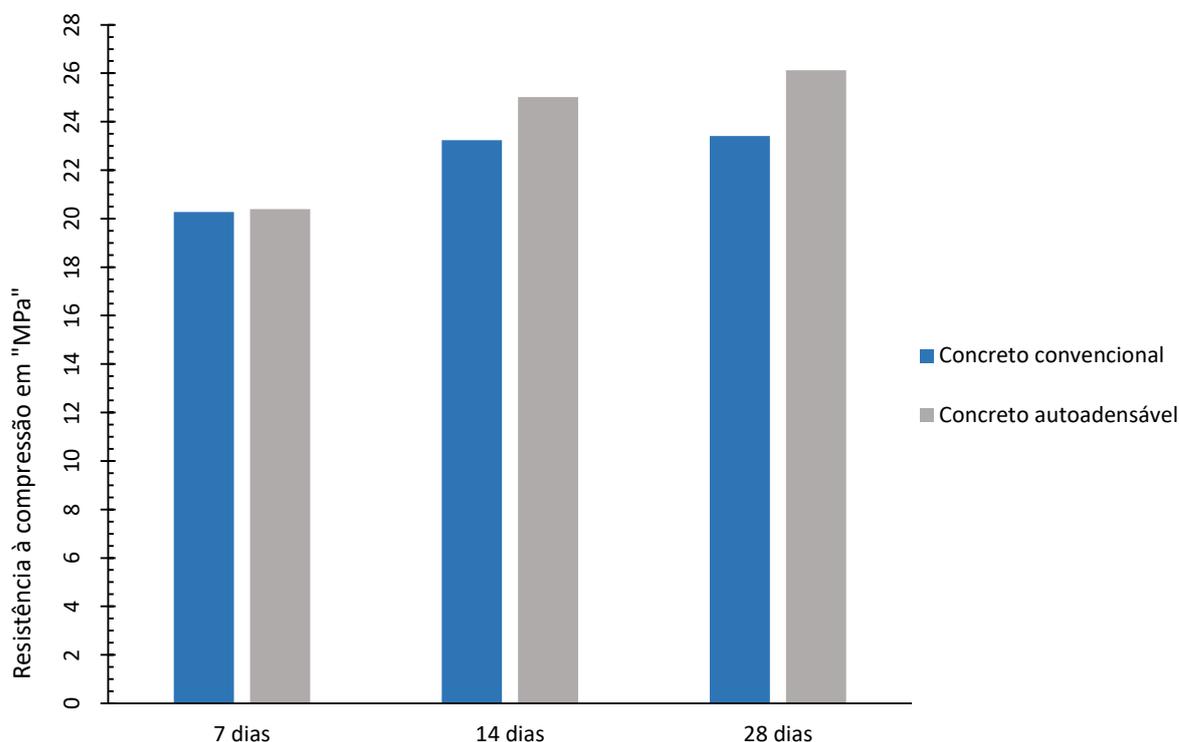
Compressão axial - CONCRETO CONVENCIONAL						
Data de moldagem		Data do ensaio		Regularização das bases		idade
20/08/2019		17/09/2019		Retificação		28 dias

Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 196	1,96	183,87	23,41	23,41	22,28	
	100 x 195	1,95	177,01	22,54			
2	100 x 196	1,96	172,99	22,03	22,03		
	100 x 196	1,96	172,11	21,91			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,364			1,55	Excelente			20

Tabela 8 - Resultados do ensaio à compressão do concreto autoadensável em idade de 28 dias

Compressão axial - CONCRETO AUTADENSÁVEL							
Data de moldagem		Data do ensaio		Regularização das bases		idade	
20/08/2019		17/09/2019		Retificação		28 dias	
Exemplar	Dimensões mm	Relação h/d	F (kN)	f_c individual (MPa)	f_c exemplar (MPa)	f_{cm} (Mpa)	
1	100 x 196	1,96	206,04	26,23	26,23	26,13	
	100 x 195	1,95	204,96	26,10			
2	100 x 196	1,96	205,55	26,17	26,17		
	100 x 196	1,96	202,80	25,82			
s_e (MPa)			cv_e (%)	Avaliação do ensaio			f_{ck} Projeto (MPa)
0,100			0,38	Excelente			20

Resistência à compressão axial nas idades finais



É possível observar que o concreto convencional possui vantagem em relação ao autoadensável quando analisado os resultados obtidos pelos ensaios de resistência à compressão no período inicial de cura. Isso pode ser atribuído ao fato de que o concreto convencional possui pouca massa de água devido à redução que o aditivo propõe, sendo assim, torna-se mais rápido o seu processo de secagem e cura inicial comparado ao CAA. Por meio das tabelas e gráficos fornecidos, é possível observar que os resultados dos rompimentos de 7 dias de idade do concreto autoadensável se equivalem ao resultado obtido do rompimento do concreto convencional. A partir do rompimento de 14 dias de idade, os resultados de rompimento dos corpos de prova do concreto autoadensável ultrapassam os valores de resistência obtidos no ensaio de compressão do concreto convencional. Além de proporcionar uma maior trabalhabilidade do material, o aditivo possui características que permite acelerar a cura do concreto, diminuir os vazios no processo de moldagem, obter uma mistura mais homogênea evitando a segregação, e isso influencia diretamente na resistência final do concreto.

Conclusões

Este trabalho demonstrou as principais características entre os concretos convencionais (CC) e os concretos autoadensável (CAA), constatou suas igualdades e disparidades nos seus métodos de execução de ensaios de recebimento e aceitação do material em obra, a sua aplicação e trabalhabilidade.

Em relação ao espalhamento do concreto autoadensável e seu índice de estabilidade visual, os resultados e fotografias indicaram uma classificação boa para o material por possuir uma relação água/cimento bem controlada e dosagem correta com a quantidade de aditivo.

Foi constatado que o aditivo plastificante permite ao concreto uma considerável taxa de diminuição no teor de água na produção do material. Isso permite ao concreto sua rápida secagem resultando na potencialização da cura do material possibilitando altas resistências em curto período, destacando a vantagem para as resistências iniciais do concreto convencional em poucas horas de cura comparado ao CAA, porém sem a trabalhabilidade que se espera de um concreto para a maioria das funções estruturais.

Ainda sobre os resultados de resistências obtidos pelas amostras do concreto autoadensável, foi possível comprovar a vantagem de resistências finais comparado ao concreto sem a inserção de aditivo plastificante, pelo fato da diminuição de índices de vazios, possuindo uma maior compactação dos grãos e conseqüentemente uma maior densidade, comprovando os resultados de estudos anteriores, os quais utilizaram parâmetros correlatos aos utilizados na construção deste estudo.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212**. Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-1**. Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15823-2**. Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR. NM 33**. Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR. NM 67**. Concreto – Determinação da resistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BASTOS, Arthur P. O. **Análise da influência de aditivos superplastificantes no comportamento de pastas de cimento Portland com e sem adição de fíler calcário**. 2016. Graduação em Engenharia Civil – Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre.

TUTIKIAN, Bernardo F.; DAL MOLIN, Denise C. **Concreto Auto-adensável**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

Análise orçamental de uma residência projetada com métodos construtivos sustentáveis.

Budget analysis of a projected residence with sustainable construction methods.

Érica Caroline Gonçalves¹
Luis Eduardo Barbosa de Brito¹
Giuliano Mikael Tonelo Pincerato²

RESUMO

A construção civil tem apostado em construções que visam seu aproveitamento de materiais e uma maior utilização de seus recursos renováveis, incluindo fontes sustentáveis a obra. Levando tal fato em consideração, essa pesquisa pretende mostrar através de um orçamento detalhado o projeto de uma residência unifamiliar que terão sua parte elétrica modificada através de painéis fotovoltaicos, a utilização do telhado verde que através de sua vegetação absorve até 90% do calor da residência, trazendo uma melhor qualidade do ar, também retendo a água da chuva. Esses métodos serão implantados no projeto, e uma análise orçamentária mostrará sua viabilidade, vantagens e desvantagens em relação ao custo que trará para a construção. Desta forma acredita-se que pode ser feita uma construção que trará benefícios tanto sustentáveis quanto econômicos em um determinado tempo, em que a busca pelo conforto e economia andam em conformidade e juntas poderão ser vistas, utilizadas em maior escala, cada vez mais empregadas na construção civil.

Palavras-Chave: *Construção sustentável, Análise orçamental, Qualidade de vida, Sustentabilidade;*

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

² Docente do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba SP.

ABSTRACT

The civil construction has invested in constructions that aim at their use of materials and a greater use of their renewable resources, including sustainable sources of work. Taking this fact into consideration, this research intends to show through a detailed budget the project of a single-family residence that will have its electrical part modified through photovoltaic panels, the use of the green roof that through its vegetation absorbs up to 90% of the heat of the residence, bringing a better quality of air, also retaining rainwater. These methods will be implemented in the project, and a budget analysis will show its feasibility, advantages and disadvantages in relation to the cost it will bring to the construction. In this way, it is believed that a construction can be made that will bring both sustainable and economic benefits in a given time, in which the search for comfort and economy are in accordance and together can be seen, used on a larger scale, increasingly employed in civil construction.

Keywords: Sustainable construction, Budget analysis, Quality of life, Sustainability.

Introdução

Segundo Simão (2010) o conceito de construção sustentável nos remete diretamente “a um conjunto de metodologias e produtos adotados antes, durante e após os trabalhos de construção, para que o empreendimento não agrida o meio ambiente, proporcione um uso racional de energia e recursos naturais e promova uma melhora na qualidade de vida dos usuários. Entre seus benefícios estão redução do consumo de energia durante a fase de produção de materiais ou construção do empreendimento; otimização no uso dos insumos, redução expressiva da geração de resíduos sólidos e reciclagem desses resíduos, redução dos custos de manutenção do empreendimento, redução do impacto ambiental da construção sobre o meio ambiente e sobre as comunidades vizinhas aos empreendimentos, entre outras contribuições”.

A construção civil é uma ferramenta importante que visa atender as necessidades humanas através da construção de casas, prédios, pontes, ferrovias, aeroportos, metrô e estradas pavimentadas. Com novos avanços e crescimento populacional surgiu a construção de grandes edificações e habitações, da mesma forma novas ideias, tendências e a conscientização pela busca de novos fatores e tecnologias que diminuíssem as agressões

feitas à natureza. O surgimento de novas tecnologias empregadas nas diversas áreas da construção civil modificando e aprimorando os padrões convencionais da construção, na busca pela implementação de novas ideias e tecnologias para alcançar o objetivo da engenharia que consiste em aplicar seus conhecimentos específicos para uma melhor qualidade de vida.

Pinheiro *apud* Fagundes (2011) considera que “na indústria da construção civil aprimorar projetos e processos construtivos, visando desenvolver com sustentabilidade, pode agregar maior rendimento reduzindo custos de produção e manutenção”.

O grande desafio da construção civil sustentável é manter o equilíbrio entre a qualidade de sua construção, sua preservação ambiental e a viabilidade econômica que trará para o projeto.

A partir do momento em que alguns desses fatores começaram a ser escassos, a importância de formular novas soluções e empregos da reutilização de recursos renováveis na construção civil toma maior importância, fazendo com que tais recursos como água da chuva e energia solar não sejam descartados de forma tão simples, mas sim que essas fontes sejam utilizadas de forma a agregar valores sustentáveis na construção civil.

Será implantado um telhado verde conforme modelo (figura 1), dispondo-se de um sistema de energia sustentável por meio de painéis solares fotovoltaicos (figura 2), a junção de economia e sustentabilidade formalizará com que esse projeto se torne atrativo, vantajoso, sustentavelmente e economicamente viável, trazendo um orçamento completo com comparativo dos distintos métodos construtivos que serão empregados, conduzindo a ideia e a implantação de um projeto sustentável.



Figura 1 - Telhado verde. Fonte: Bigstock (2018).



Figura 2 - Painéis fotovoltaicos. Fonte: Imbuzeiro (2009).

Painéis Fotovoltaicos

Energia fotovoltaica é a energia transmitida através do sol que se converte em energia elétrica, também conhecida por ser uma fonte de energia sustentável, esses painéis ou placas recebem essa energia do sol e geram energia condutora suficiente para condução de energia em residências e indústrias. O Brasil por ser um país tropical e tendo essa matriz de forma abundante é o mais avançado na América do Sul em energias renováveis (TOLMASQUIM, 2003).

O desenvolvimento da energia fotovoltaica foi impulsionado inicialmente por empresas do setor de telecomunicações, que buscavam fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas e também pela corrida espacial, já que a célula fotovoltaica é o meio mais adequado para fornecer a quantidade de energia necessária para a permanência no espaço por longos períodos de tempo, por possuir menor custo e peso (CRESESB, 2004).

Sistemas Fotovoltaicos

De acordo com Ruther *apud* Torres (2012) dentre as energia renováveis que vem apresentando um efetivo crescimento mundial nas últimas décadas, está a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração de energia elétrica de forma distribuída, não necessitando, portanto, de extensas linhas de transmissão e distribuição, por ser uma fonte silenciosa, que possibilita a instalação de sistemas de diferentes potenciais e ainda por integrar-se a edificação no meio urbano, sem necessitar de áreas extras para sua instalação.

O sistema fotovoltaico se classifica basicamente em dois tipos, off grid que utiliza de baterias para o armazenamento da energia gerada, e o on grid que é ligado diretamente a rede elétrica.

Telhado Verde

A utilização de plantas em telhados (Figura 5) e paredes vem sendo muito estudado e aplicado na construção civil, sendo um excelente isolante térmico, trazendo um conforto para parte interna da residência, além de ser um ótimo meio de preservação de área verde e reutilização de água.



Figura 3 - Telhado verde. Fonte: EcoTelhado (2018).

Classificação

Os telhados verdes podem ser classificados (Tabela 2) sob dois enfoques, o "intensivo" e o "extensivo". O intensivo necessita de mais substrato, é mais profundo e pode acomodar plantas maiores, tais como árvores e arbustos. Este sistema necessita de maiores cuidados na implantação e manutenção, por ser mais pesado e possuir plantas que necessitam mais cuidados. Normalmente deve ser utilizado em locais já projetados para suportarem as cargas que serão geradas com o seu uso. Já o sistema extensivo necessita de pouco substrato e comporta plantas rasteiras e gramados, é de mais fácil implantação e manutenção devido às novas tecnologias e ao aperfeiçoamento das matérias utilizadas (WILLES, 2014).

O telhado extensivo apresenta um sistema mais simples, tendo em conta a baixa carga exercida sobre a edificação, uma menor quantidade de substrato e baixa manutenção, todavia que o gramado utilizado não necessita de manutenção constante.

Cisterna

A cisterna ou reservatório de armazenamento é o principal projeto para armazenamento de águas pluviais. O reuso da água torna possível o seu reaproveitamento em atividades do dia a dia que não necessitam de água potável, como a lavagem de quintais, irrigação de hortas, lavagem de carros e outras limpezas em geral (Ecycle, 2019).

Para o especialista em agricultura orgânica Campos (2017):

A crise hídrica dos últimos anos que popularizou o sistema de cisternas não só no meio agrícola, como também em residências e espaços domésticos. A cisterna é uma forma sustentável de economizar a água encanada por meio da reutilização da água da chuva, que é coletada e armazenada em um ambiente fechado, livre de bactérias e de outros agentes externos até o momento do uso. (CAMPOS, 2017)

Materiais e métodos

Projetou-se uma residência, planta baixa e derivados através do AUTOCAD 2016, conforme (figura 3) e em cima desta calculou-se todo o custo que a mesma obteve, utilizado um Boletim Referencial de Custos como embasamento, no caso em questão utilizou-se a Companhia Paulista de Obras e Serviços (CPOS), baseando em suas tabelas de serviços e composições, elaborou-se uma planilha orçamentaria, contendo todos os itens necessários para a construção da residência obtendo ao final um custo total, o valores nela contidos, foi calculado e demonstrado no memorial de cálculo, juntamente com o memorial descritivo que especifica cada item e sua composição.

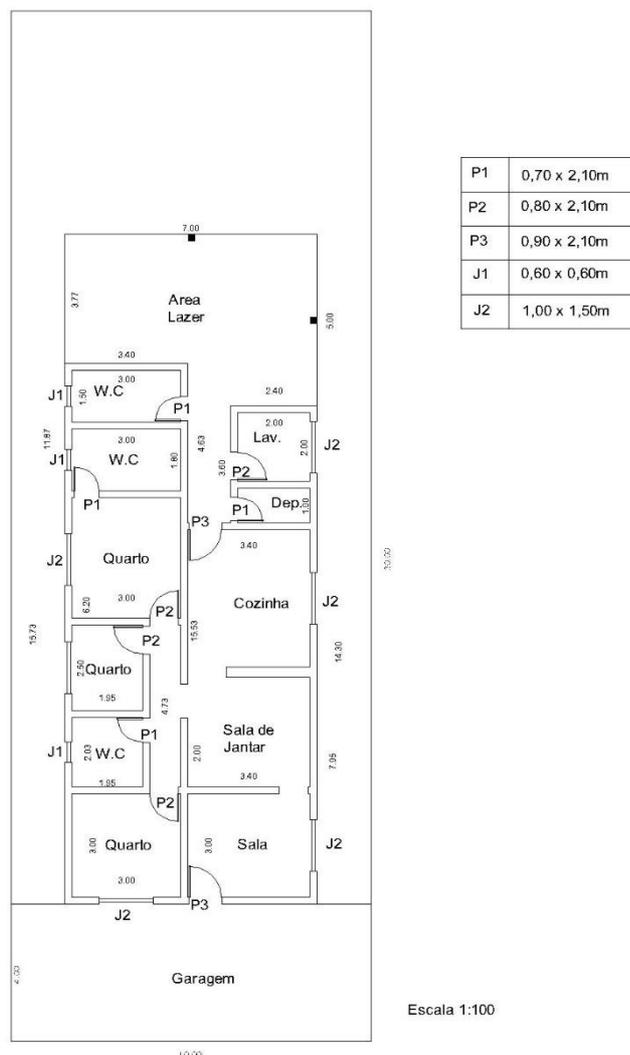


Figura 3 – Planta baixa feita para o TCC.

Na residência com métodos construtivos sustentáveis, utilizou-se da mesma planilha, retirando-se o telhado convencional e substituindo-o pelo telhado verde, e o restante se manteve acrescentando os painéis fotovoltaicos e sistema de cisterna. O sistema de energia solar foi obtido através de orçamento fornecido pela empresa 3A Energia Solar, a qual fornece esse tipo de serviço.

A planilha calculada, apresenta todos os valores obtidos, enumerados por itens, fonte e código, descrição de cada serviço, unidade de medida, quantidade de cada item que foi utilizado, valor do material, mão de obra e custo unitário (material + mão de obra) e o custo total de cada item, e ao final de cada tópico de serviço o custo total das etapas. Ao final o

custo total da obra construída com métodos tradicionais e depois sustentável, cujo foi retirado o telhado tradicional e substituído pelo telhado verde, cisterna e energia solar. Juntamente com os memoriais de cálculo e descritivo, demonstrando os valores obtidos e o que remunera cada item.

Resultados e discussões

Foi criada uma residência de 204m², 2 quartos comuns, 1 quarto com suíte, 2 banheiros, sala, cozinha, área de lazer, lavanderia, garagem. Ao calcular toda a construção da residência desde a fundação a cobertura conforme demonstrado na planilha e nos memoriais, no método convencional obteve um custo final de **R\$219.591,73**, valor este incluso, todo material e mão de obra necessário para construção total da residência.

Telhado Verde

A Retirou-se o telhado convencional, e implantou o telhado verde, adicionou uma cisterna para captação do excedente de água, e instalou o sistema de energia solar, com essas mudanças obteve um custo de total de **R\$235.433,90**.

A construção do telhado convencional ficou em torno de **R\$ 29.909,12**, enquanto o telhado verde ficou **R\$ 29.197,48** o que consiste em um valor de **R\$ 711,64** mais barato que o telhado normal, viabilizando assim a sua implantação. O telhado em questão foi elaborado de maneira a fornecer os benefícios térmicos e acústicos, além de utilizar a grama esmeralda como vegetação, grama essa que exige manutenção nula, e resistente bem a variação de temperatura.

Segundo Ferraz (2012) concluiu em sua pesquisa, a qual ela elaborou dois protótipos, um com telhado convencional e outro com telhado verde e

os estudou durante 9 meses. “O protótipo com cobertura verde tem um desempenho melhor que o protótipo com cobertura cerâmica em períodos de frio e calor. Mesmo sem condicionamento artificial, a edificação com cobertura verde conseguiu, nas condições de verão analisadas, atingir as condições que a NBR 6401/08 considera como de conforto; já a edificação com cobertura cerâmica, sob as mesmas condições, apontou a necessidade de um condicionamento artificial para atingir os mesmos resultados. Sob as condições de inverno analisadas, as duas edificações apontaram a necessidade de condicionamento artificial para atingirem as condições necessitaria de 10 vezes menos potência para aquecimento que a outra, promovendo assim, menor gasto energético com condicionamento artificial.”

Ferraz (2012) observou também que o telhado verde: “promove menos flutuações de temperatura e umidade no ambiente e permite que se atinjam mais facilmente condições de conforto para o usuário.”

Com isso, valida-se a viabilidade do telhado verde frente ao convencional, e constata-se que a cobertura verde promove menos flutuações de temperatura e umidade do ambiente, o que permite que atinja mais facilmente condições de conforto. Resultando assim em uma economia de energia devido a minimização ao utilizar dispositivos de condicionamento.

Levando em conta os benefícios próprios apresentados, o telhado também contribui para uma redução dos efeitos das ilhas de calor, uma vez que a maior demanda de energia elétrica se dá nos períodos quente do ano, quando a maioria das pessoas usam equipamentos de condicionamento de ar.

A longo prazo, considera-se que o proprietário da edificação com a cobertura verde, conseguiu recuperar o investimento inicial, investimento esse que comparado com o telhado convencional é praticamente igual.

Tendo em vista os benefícios que telhado verde traz e ainda uma possível economia de gasto energético ao se utilizar menos equipamentos de condicionamento de ar.

Paineis Fotovoltaicos

Com o crescimento populacional e a necessidade de fontes de energias alternativas vem aumentando cada vez mais, uma das fontes de energia inesgotável é o sol, tendo em vista que mesmo em tempo nublado ele ainda emite raios para a captação mesmo em menor quantidade.

O sistema adotado, foi orçado pela empresa 3A Energia Solar ficou em torno de R\$15.553,81 valor esse para atender a uma residência que consuma em media 315KWh/mês, o sistema possui uma garantia de 25 anos contra perda de produção superior a 20%. Tendo em vista o custo do sistema e o valor econômico que ele atribui, esse valor gasto inicialmente terá um reembolso em menos de 6 anos, uma vez que resta 19 anos de aproveitamento do sistema sem custo algum. Segue abaixo Figura 13, um gráfico que demonstra um comparativo entre o investimento inicial e a estimativa de economia ao decorres dos anos, atestando assim a viabilidade do sistema.

Mesmo apresentando um valor elevado de início, a longo prazo é altamente viável e promete um reembolso em pouco tempo, além de colaborar para uma melhor qualidade de vida, uma vez que utiliza de energia renovável.

Cisterna

A cisterna origina-se de forma a captar e aproveitar a agua decorrente das chuvas, uma vez que vai ser designada para utilização cuja

não precisa de potabilidade. O sistema adotado, é constituído por um reservatório de 500 litros, cujo a mesma estará elevada do solo e se encontrara com seu topo no nível da laje conforme figura 4.

O Levando em consideração que possui o telhado verde, a agua decorrente da chuva se pouca, tendo em vista que o telhado vai absorver grande parte da precipitação. O excedente será encaminhado ao reservatório, e o mesmo por se encontrar elevado, terá sua agua destinada a lavagem de calçadas e rega de jardins, por meio de uma torneira instalada na tubulação derivada do inferior do reservatório. A laje possui uma inclinação que vai direcionar a agua para o reservatório e por meio de um tubo instalado na sua extremidade escoara a agua para o reservatório.

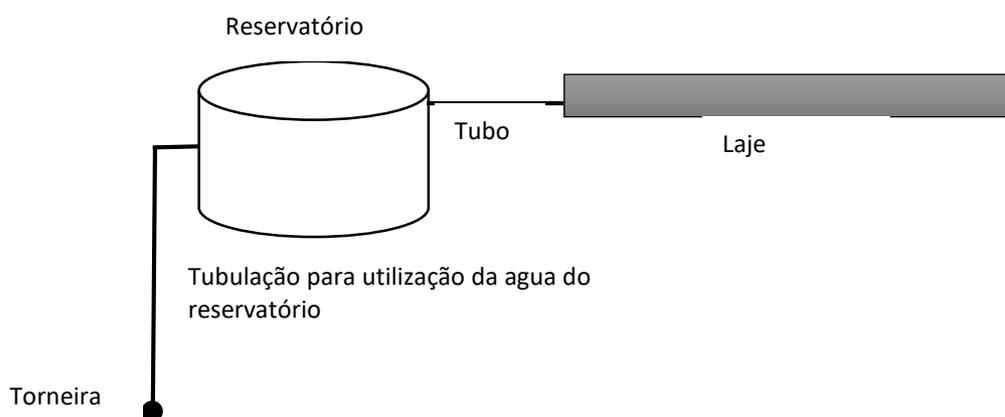


Figura 4 – Representação do Sistema adotado para a cisterna

Tendo em vista que primeira treliça sofreu deformações como demonstrado na figura 9, por conta da flambagem aplicada no centro da estrutura e suportou uma carga máxima de 1.250,00 Toneladas sofrendo deformação em várias partes do corpo da estrutura, com isso obteve se uma flecha de 1,78 cm.

Conclusões

Conclui-se que a construção convencional teve um aumento de R\$15.842,17 o que não é algo muito expressivo levando em conta as vantagens que essas substituições apresentam, uma vez que esse investimento amais obterá um retorno positivo, e reembolso a longo prazo.

O telhado verde foi elaborado de uma forma simples e com todos os requisitos para garantir a segurança da estrutura da laje, foi composto por uma grama esmeralda tendo em vista que é uma grama resistente em todas as estações, e necessita de pouca ou quase nenhuma manutenção. Além de suas vantagens frente o telhado convencional, concluiu-se que o telhado verde possui um custo praticamente igual de imediato, mas que a longo prazo promete um reembolso desse valor, dado a possível economia de energia que ele proporcionara. Pois o telhado proporciona um melhor conforto térmico interno tanto no verão quanto no inverno. O telhado também devido as suas camadas, proporciona uma melhor absorção da chuva, o que contribui para evitar enchentes, uma vez que terá pouca agua excedente e esta será designada para a cisterna.

O painel fotovoltaico além de apresentar como geração de energia uma fonte limpa e renovável cujo não agride o meio ambiente. Utilizado uma residência que utiliza em média 315KWh/mês, obteve um custo final no valor R\$15.553,81, valor esse que será reembolsado em menos de 6 anos com a economia de energia a ser utilizada, o painel tem garantia de 25 anos contra perda de produção superior a 20%, o que caracteriza um aproveitamento de 19 anos do sistema sem custo algum, o tornando demasiadamente viável.

A cisterna, foi adotado um sistema simples, localizado um pouco abaixo do nível da laje, cujo captara a agua excedente do telhado verde, com o intuito de diminuir gastos, a cisterna se encontra elevada, e terá seu uso direcionado a rega de jardins, lavagem de calçadas ou qualquer ação no solo, garantindo a pressão da agua e dispensando a utilização de qualquer aparelho de bombeamento.

Referências Bibliográficas

BRAGA, P. R., **Energia solar fotovoltaica fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro, 2008.

CAMPOS, T. **Cisterna caseira pode ser uma das Soluções para a crise hídrica**. Disponível em: <http://thiagoorganico.com/cisterna-de-agua/>>. Acesso em: 10 de abril 2019.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Energia Solar - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

DAZCAL, R.; MELLO, A. **Estudo da implementação de um sistema de energia solar fotovoltaica em um edifício da universidade presbiteriana mackenzie**. Abenge –Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008. 13f.

ECOEFICIENTES. **Escritório de arquitetura especializado em sustentabilidade**. Portal ecoeficientes, 2018.

ECYCLE. **Tipos de cisternas: modelos do cimento ao plástico**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/4203-tipos-de-cisternas-modelos-de-plastico-cisterna-ecologica.htm>>. Acesso em: 10 de abril 2019.

FAGUNDES, M. **A construção sustentável sob a ótica dos profissionais da construção civil nas cidades de francisco beltrão e pato branco - pr** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, 2011.

FERRAZ, I. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**.

Dissertação de Mestrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012.

KOMECEO. **Coletor solar tubo a vácuo: Alta eficiência para aquecimento de água.** Disponível em: <http://www.komeco.com.br/blog/consumidor/coletor-solar-tubo-a-vacuoparaatingiraltastemperaturas.html>>. Acesso em: 5 de abril 2019.

MAGALDI E TOMONARI. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para o consumo sustentável da moradia da FCT UNESP de Presidente Prudente.** 2018. (Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia UNESP Campus de Presidente Prudente).

SALES, T. **O uso da energia solar nas obras civis: um estudo sobre o aquecimento de água por sistema de coletores solares em edifícios residenciais.** Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2017.

SIMÃO, S P. **Mercado cresce no país e aponta grandes desafios no setor.** Entrevista para o Instituto de Educação Tecnológica - IETEC, 2010.

SOUZA R. **Sistema fotovoltaicos conectados à rede ou isolados? comparação** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>>. Acesso em: 5 de abril 2019.

TOLMASQUIM, M. T., **Fontes de energia renováveis no brasil.** Rio de Janeiro: CENERGIA, 2003.

TORRES, R. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais.** Dissertação (Mestrado - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em

Térmica e fluídos) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

WILLES, J. **Tecnologias em telhados verdes: extensivos substratos comerciais regionais mais apropriados ao sistema.** Universidade de São Paulo ESALQ, Revista Internacional de Ciências · v.4 - n.2 · jul./dez. 2014.

Ensaio experimental para verificação do aumento da carga suportada por uma treliça projetada em perfis de *LightSteel Frame (LSF)* reforçada com madeira do tipo *Oriented Strand Board (OSB)*.

Experimental essay for verification of increase of supported load by a truss projected in profiles of Light Steel Frame (LSF) reinforced with Oriented Strand Board (OSB) wood type

Amanda Ferreira Vicente¹
Edmilson Modesto Junior²
Mateus Mendes Silva³
Cléverson Arenhart⁴

RESUMO

O tema escolhido consiste em uma análise aprofundada de um método de reforço em estrutura metálica do modelo *Light Steel Frame (LSF)*, utilizando-se perfis de madeira *Oriented Strand Board (OSB)*, a fim de analisar o comportamento da treliça mediante o aumento do suporte de carga proveniente da presença do reforço. Deste modo foi possível perceber a influência do *OSB*, de sua rigidez e resistência mecânica frente às chapas de *LSF*, possibilitando a comparação e análise da eficiência do reforço nas treliças reforçadas com a treliça não reforçada. Além disso, após as treliças estarem prontas, foram adicionadas cargas, por meio de uma prensa hidráulica e mensuradas com manômetro, para testar o suporte em cada uma delas, e então foi possível medir a deformação que as cargas adicionadas causaram na estrutura, de modo a constatar se o reforço pode ou não aliviar a taxa de ruptura. Por fim, constatou-se que a adição de reforço contribuiu positivamente na estrutura, conciliando questões de aumento de carga suportada na treliça e redução da taxa de deformação. Foi escolhida como estrutura mais viável aquela que apresentou melhor comportamento mediante os ensaios e resultados frente às cargas suportadas.

Palavras-Chave: *LightSteel Frame*; Treliça; *Oriented Strand Board*; Reforço; Suporte de carga;

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

⁴ Engenheiro Civil, Professor do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba-SP.

ABSTRACT

The chosen theme consists in a deep analysis of reinforcement method in metal frame of the Light Steel Frame (LSF) model, using Oriented Sand Board (OSB) wood profile, in order to analyse the truss behaviour by increasing the load support from the presence of the reinforcement. Thus it was possible to note the OSB influence, its rigidity and mechanical resistance front as the LSF sheets, enabling the comparison and analysis of the reinforcement efficiency in the reinforced truss with the non-reinforced truss. Besides that, after the truss are ready, loads were added by using a hydraulic press and measured with a manometer, to test the support in each of them, then it was possible to measure the deformity that the added loads caused in the frame, in order to verify if the reinforcement can or cannot relieve the break rate. Lastly, the addition of load contributed positively in the frame, conciliating questions of increase of supported load by the truss and reduction of strain rate. The most viable frame chosen was the one that presented the best behaviour upon tests and results withstand loads.

Keywords: Light Steel Frame; Truss; Oriented Strand Board; Reinforcement; Load support.

Introdução

Com o passar do tempo, os setores da construção civil, juntamente com o mercado industrial, passaram a buscar inovações e técnicas alternativas, que garantam não somente praticidade, mas também qualidade e economia no processo construtivo. Por conta disso, segundo a concepção de Dias (1997), entre os séculos XIX e XX, o Brasil apostou em novos métodos provenientes da produção de estruturas em aço. Contudo, antes de tornar-se um grande percursor estrutural, o aço era utilizado apenas em questões “emergenciais”, para atender a grande demanda de construção de pontes e estradas ferroviárias após a 1ª Guerra Mundial. Somente na década de 1950, foi instituída no país a primeira fabricante de aço, a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), dessa forma, o aço que antes era importado, passou a ser obra-prima brasileira.

Com a expansão do mercado econômico e conseqüentemente o desenvolvimento das grandes cidades e grandes estruturas, o aço foi finalmente adotado como uma nova opção construtiva e as estruturas metálicas ganharam espaço nas grandes obras, por volta da década de 1980.(DIAS, 1997, p.23)

Entretanto, todos os fatores que movem determinado tipo de construção, exigem uma análise detalhada dos materiais a serem utilizados, bem como, as suas propriedades, características, vantagens e desvantagens.

De acordo com Castro (1999), para evitar algum tipo de divergência e até mesmo prejuízos durante a utilização da estrutura metálica, deve-se compreender que a mesma possui um método construtivo específico e que, talvez a problematização deve-se ao fato de que, muitas vezes a falta de conhecimento com aquilo que se está manipulando pode acarretar em diversos problemas que vão desde a concepção estrutural até o surgimento de patologias.

Visto isso, Hass; Martins (2011) afirmam que a demanda proveniente da construção civil, produz a necessidade de uma construção rápida, eficaz e com menor taxa de desperdício, garantindo ao mesmo tempo qualidade de edificação e conscientização ambiental.

Em contrapartida, Teixeira (2007) destaca algumas desvantagens constatadas na utilização do aço, primeiramente na questão financeira, já que, apesar de fabricado no Brasil, é um material de custo elevado. Outro ponto a ser destacado, seria a falta de técnica e mão de obra qualificada especificamente neste tipo de estrutura. Além disso, pode-se analisar a deficiência quanto a questão de transporte das peças, já que as mesmas são pré-moldadas e não fabricadas “*in loco*”, como as estruturas de concreto.

Com o intuito de tentar sanar algumas das deficiências provenientes da construção em aço convencional, foi então desenvolvido o *LightSteel Frame (LSF)* que, segundo a concepção de Freitas; Crasto (2006), consiste em perfis de aço galvanizado a frio, com objetivo de suportar as cargas solicitantes da estrutura, que garantem uma construção a seco e conseqüentemente uma maior agilidade na montagem da estrutura. Diferente da montagem convencional, que necessita de chumbagem e soldas, o *LSF* é interligado apenas por parafusos.

A NBR 15253 (2005) define a espessura das chapas a serem utilizadas de acordo com o formato e suas respectivas aplicações. Vale destacar que, de acordo com Batista (2011), além de utilização estrutural, o *LSF* também pode servir na execução de sistema de fundações, como por exemplo sapatas; fechamentos, isolamentos e instalações elétricas e hidráulicas, de acordo com o projeto de residência. A figura 1 apresenta o início de uma execução em *LSF*.



Figura 1 - Montagem de painéis em estrutura metálica. **Fonte:** Campos (2014).

Em consequência da instauração do *LSF*, métodos de reforço e aprimoramentos de suas vantagens foram instituídos no mercado buscando-se principalmente soluções econômicas e mais resistentes. Uma dessas alternativas, que inclusive foi objeto de estudo desde projeto, seria o revestimento das placas de *LSF* com a madeira *OSB* (*Oriented Strand Board*) que consiste em um painel de madeira, proveniente de reflorestamento, semelhante ao material de tapume, e que, segundo Hass; Martins (2011) garantem à estrutura qualidade no desempenho e resistência mecânica, agindo na influência do contraventamento, estabilidade e melhorias nas questões de isolamento térmico e acústico.

Seguindo a premissa da proposta inicial do *LSF*, os componentes adicionais da estrutura também são interligados por meio de parafusos perfurantes e roscantes. A figura 2 mostra treliças metálicas revestidas em *OSB*.



Figura 2 - Treliças metálicas revestidas em OSB. **Fonte:** Freitas; Crasto (2006).

Materiais e métodos

Para a montagem das treliças que foram utilizadas nos ensaios, foram adotadas as dimensões da seção baseando-se nos catálogos: Barbieri do Brasil e CBCA, em conformidade com as normas ABNT, NBR 15253 (2014), NBR 6355 (2003) e NBR 14762 (2010).

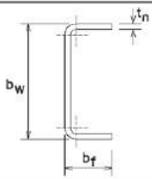
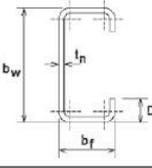
Foram utilizados perfis de *LightSteel Frame* organizados da seguinte maneira:

- Guias: U90 x 30 x 0,08 mm;
- Montantes Verticais: UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;
- Montantes Diagonais: UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;
- Dimensão total da treliça: 2400 x 400 mm; - Parafuso auto brocante: Ø5,5 x 32 mm;

De acordo com Freitas; Crasto (2006), as guias são perfis em U, não enrijecidos, e que não devem transmitir nem absorver esforços, servindo somente como topo e base da treliça. Já os montantes são perfis UE, ou seja enrijecidos para suporte e transmissão de esforços, além de possuir a borda que servirá de encaixe deste nas guias. A tabela abaixo especifica as propriedades das guias e montantes, bem como os modelos e formatos da seção.

Tabela 1 - Detalhamento de guias e montantes.

Fonte: NBR 15253 (2014).

SEÇÃO TRANSVERSAL	Designação	Utilização
	U simples $U\ b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa
	U enrijecido $Ue\ b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga

A treliça 1, de acordo com a figura abaixo (figura 3), foi executada de modo convencional, ou seja, utilizando apenas os materiais metálicos e parafusos.

**Figura 3:** Treliça 1 executada com perfis de *Light Steel Frame*.

- 2 Guias: U0,90 x 0,30 x 2,60 m + Espessura de 9mm
- 7 Montantes verticais: UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;
- 6 Montantes de Contraventamento (diagonal): 0.89 x 0.37 x 0.54m, gancho: 7mm, espessura: 8mm;
- Dimensão total da treliça: 2400 x 400 mm;
- Parafuso auto brocante: Ø5,5 x 32 mm

A treliça 2, representada na figura 4, foi revestida em suas faces com placas de *OSB* nas dimensões adotadas de acordo com o catálogo LP Brasil (2012), com o intuito de fazer com que a placa *OSB* e o perfil estrutural trabalhem juntos, de modo a garantir rigidez à estrutura.



Figura 4: Revestimento das faces da treliça 2, utilizando *OSB*.

- 2 Guias *LSF*: U90 x 30 x 0,08 mm;
- 7 Montantes verticais: UE89 x 37 x 7x 0,08 mm;
- 6 Montantes de Contraventamento (diagonal): UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;
- 2 placas em *OSB* para revestimento nas faces da treliça 240 x 120 x 11,1 mm;
- Dimensão total da treliça: 2400 x 400 mm;
- Parafuso auto brocante: Ø5,5 x 32 mm;
- Parafuso auto brocante: Ø4,2 x 25 mm (para fixação do *OSB* na estrutura metálica).

A treliça 3 foi revestida com *OSB* parcialmente, ou seja apenas nos montantes para verificar o comportamento e a eficácia do esforço quando aplicado apenas nas juntas da estrutura (pontos críticos).

- 2 Guias: U90 x 30 x 0,08 mm;
- 7 Montantes verticais: UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;

- 6 Montantes de Contraventamento (diagonal): UE89 x 37 x 7 x 0,08 mm;
- Aproximadamente 14 placas em *OSB* para revestimento na base e topo dos montantes, nas dimensões de 150 x 100 mm e 100 x 100 mm; (figura 25).

A figura 5 (a e b) mostram a disposição das placas de *OSB* na treliça.



Figura 5 a e b: Disposição das placas *OSB* na treliça 3.

Em conformidade com o manual CBCA e as normas vigentes, foram adotados 400 mm (comprimento mínimo) entre os montantes, de modo a ocupar a dimensão pré adotada (2400mm).

Para a fixação das peças durante a montagem da seção, foram utilizados dois parafusos em cada montante vertical, sendo um no topo e um na base. Nas extremidades foram utilizados quatro parafusos, sendo dois no topo e dois na base. Totalizando, por fim, aproximadamente 18 parafusos em cada face. Para a fixação dos montantes diagonais, utilizaram-se 2 parafusos em cada, sendo um no topo e um na base, totalizando aproximadamente 12 parafusos em cada face.

Esse procedimento inicial foi utilizado na execução das três treliças.

A treliça 2 foi revestida em ambas as faces laterais com a placa de *OSB*. A placa foi dimensionada de acordo com a dimensão original da treliça e parafusada em suas extremidades e nas delimitações dos montantes.

A treliça 3 seguiu o mesmo procedimento da anterior, porém a placa de *OSB* foi cortada em 14 partes de 150 x 100 mm e 100 x 100 mm que foram parafusadas no topo e na base de cada montante, determinados os pontos críticos quanto ao suporte de carga.

A figura 6 mostra o conjunto de treliças pronto para os ensaios.



Figura 6: Treliças 1, 2 e 3 montadas.

O ensaio físico descrito à seguir foi realizado no Laboratório de Engenharia do UniSalesiano em Araçatuba - SP.

A força foi aplicada pontualmente, ou seja, ao centro do vão teórico das treliças ortogonalmente ao eixo horizontal da estrutura, no sentido da parte superior para a parte inferior (figura 7).



Figura 7: Treliça posicionada sobre a prensa hidráulica para realização do ensaio.

O manômetro 2 ficou responsável por medir os valores da deformação, deslocamento e flecha. Ele foi zerado e fixado à prensa através de ímãs e movimentavam os ponteiros gradativamente a partir do momento em que a estrutura estava recebendo carga. A partir do deslocamento dos ponteiros, os resultados mostrados, em metros, foram aplicados na equação da flecha para obtenção dos valores mostrados no capítulo seguinte. A figura 8 mostra a análise que era feita nos manômetros simultaneamente mediante o acréscimo de carga, para constatar se o manômetro 2 não seria zerado, o que ocasionaria erro permanente de ensaio, pois não apresentaria mais valor de deformação.



Figura 8: Análise simultânea da movimentação dos manômetros marcadores mediante o ensaio.

Resultados e discussões

O primeiro parâmetro em relação ao teste efetuado foi encontrar a carga máxima suportada por cada uma das treliças, e com a utilização do relógio hidráulico, foi medido o valor de flecha máxima de cada uma das treliças. A figura 31 mostra as três estruturas após o ensaio de deformação.

Treliça 1

Tendo em vista que primeira treliça sofreu deformações como demonstrado na figura 9, por conta da flambagem aplicada no centro da estrutura e suportou uma carga máxima de 1.250,00 Toneladas sofrendo deformação em várias partes do corpo da estrutura, com isso obteve se uma flecha de 1,78 cm.

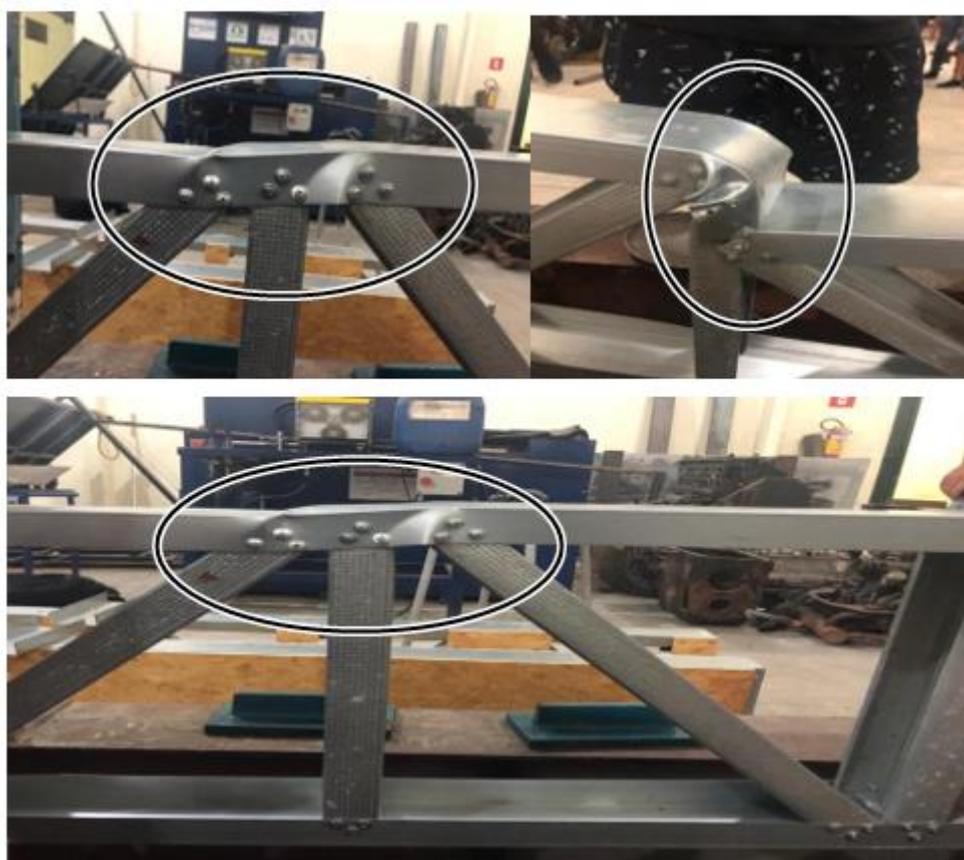


Figura 9: Deformações na estrutura em teste.

Observando se a figura 9, os locais marcados com um círculo são os locais onde houve deformação. Com a observação dessa estrutura, foi visto que os reforços que foram aplicados nas outras duas estruturas foram exatamente nos pontos críticos da treliça onde existia a necessidade de se reforçar para que se obtivesse uma maior resistência da estrutura. A tabela 2 demonstra os valores obtidos no ensaio da primeira treliça.

Tabela 2: Resultados obtidos – Treliça 1

TRELIÇA 1					
	Elemento	Nsd	ESFORÇO	Nrd	Aproveitamento (%)
Banzo Superior	1	6,1	COMPRESSÃO	16,68	36,57%
	2	6,2	COMPRESSÃO	16,68	37,17%
	3	18,4	COMPRESSÃO	16,68	110,31%
	4	18,4	COMPRESSÃO	16,68	110,31%
	5	6,2	COMPRESSÃO	16,68	37,17%
	6	6,1	COMPRESSÃO	16,68	36,57%
Banzo Inferior	7	0,0	-	0	0,00%
	8	12,3	TRAÇÃO	37,21	33,06%
	9	12,3	TRAÇÃO	37,21	33,06%
	10	12,3	TRAÇÃO	37,21	33,06%
	11	12,3	TRAÇÃO	37,21	33,06%
	12	0,0	-	0	0,00%
Montantes	13	6,1	COMPRESSÃO	20,52	29,73%
	14	0	-	0	0,00%
	15	0	-	0	0,00%
	16	12,2	COMPRESSÃO	20,52	59,45%
	17	0	-	0	0,00%
	18	0	-	0	0,00%
Diagonais	19	6,1	COMPRESSÃO	20,52	29,73%
	20	8,6	TRAÇÃO	75,48	11,39%
	21	8,7	COMPRESSÃO	14,93	58,27%
	22	8,6	TRAÇÃO	75,48	11,39%
	23	8,6	TRAÇÃO	75,48	11,39%
	24	8,7	COMPRESSÃO	14,93	58,27%
	25	8,6	TRAÇÃO	75,48	11,39%

Como demonstra a tabela 2, a estrutura foi separada em partes, assim sendo banzo superior e inferior, montantes e diagonais. Via ftool os resultados de compressão e tração máximas em cada parta da estrutura foi anotado como N_{sd} como mostra a tabela 4, os resultados obtidos por calculo manual utilizando catálogos de especificação de perfis *LSF* e a norma da ABNT 14.762; 2010 assim o resultado de compressão e tração máximas de projeto foram anotados como N_{rd} como mostra a tabela 4. Executando o método comparativo entre os dados computacionais e manuais, foi obtido o aproveitamento da estrutura relacionando o reforço que foi alocado.

Treliça 2

A segunda treliça teve como carga máxima antes de atingir seu ponto de deformação inicial uma carga de 2,100 Toneladas, essa carga gerou algumas deformações e rompimento da placa *OSB* como mostra a figura 10. Com isso foi obtido uma flecha de deformação de 0.8cm, medida através do relógio hidráulico.



Figura 10: Deformações e rompimento da treliça 2.

A deformação ocorrida na treliça 2 como mostra a figura 34, entende-se que a estrutura com o reforço em *OSB* teve um aumento gigante no suporte de carga, porém quando atingido sua carga máxima as placas de *OSB* sofrem ruptura completa de banzo superior a banzo inferior da estrutura, já a estrutura em *LSF* sofreu deformações leves como pode-se observar na tabela 3.

Tabela 3: Resultados obtidos da treliça 2.

TRELIÇA 2					
	Elemento	Nsd	ESFORÇO	Nrd	Aproveitamento (%)
Banzo Superior	1	10,2	COMPRESSÃO	16,68	61,15%
	2	10,2	COMPRESSÃO	16,68	61,15%
	3	30,8	COMPRESSÃO	16,68	184,65%
	4	30,8	COMPRESSÃO	16,68	184,65%
	5	10,2	COMPRESSÃO	16,68	61,15%
	6	10,2	COMPRESSÃO	16,68	61,15%
Banzo Inferior	7	0	-	0	0,00%
	8	20,6	TRAÇÃO	37,21	55,36%
	9	20,6	TRAÇÃO	37,21	55,36%
	10	20,6	TRAÇÃO	37,21	55,36%
	11	20,6	TRAÇÃO	37,21	55,36%
	12	0	-	0	0,00%
Montantes	13	10,2	COMPRESSÃO	20,52	49,71%
	14	0	-	0	0,00%
	15	0	-	0	0,00%
	16	20,4	COMPRESSÃO	20,52	99,42%
	17	0	-	0	0,00%
	18	0	-	0	0,00%
	19	10,2	COMPRESSÃO	20,52	49,71%
Diagonais	20	14,4	TRAÇÃO	75,48	19,08%
	21	14,5	COMPRESSÃO	14,93	97,12%
	22	14,3	TRAÇÃO	75,48	18,95%
	23	14,3	TRAÇÃO	75,48	18,95%
	24	14,5	COMPRESSÃO	14,93	97,12%
	25	14,4	TRAÇÃO	75,48	19,08%

Realizando o comparativo entre os dados computacionais que foram anotados na tabela (tabela 5) foram denominados Nsd e o dados obtidos através do cálculo manual adotado como Nrd. Fazendo-se o comparativo entre os valores obtidos com o aproveitamento da estrutura em teste, e com isso, analisado o quanto os reforços alocados mudaram o comportamento da estrutura.

Treliça 3

A terceira e última treliça em teste teve um comportamento relativo com o das outras duas treliças que foram testadas anteriormente, sua carga máxima suportada foi de 1,300 Toneladas, superando a primeira treliça assim chegando ao resultado esperado por conta de seu reforço em OSB. Após a carga aplicada observou-se a deformação na estrutura como mostra a figura 11, isso ocorrendo devido a flambagem local aplicada no centro do vão da estrutura, gerando uma flecha de 1,50 cm.



Figura 11: Deformação da estrutura após carga aplicada.

O comportamento da treliça 3 ao decorrer dos testes foi relativo com o das outras duas treliças, porém observa-se que houve deformação somente no eixo central do banzo superior da estrutura.

Levando em consideração que o reforço tem um impacto no aumento de carga suportada, observa-se que foi aplicada uma chapa pequena no eixo central da estrutura. Isso demonstra que pode-se aumentar o suporte de carga da estrutura 3, se em trabalhos futuros aplicar uma chapa maior no ponto crítico do eixo central do banzo superior, pode-se aumentar gradativamente o suporte de carga máxima dessa estrutura.

Tabela 4: Resultados obtidos treliça 3.

TRELIÇA 3					
	Elemento	Nsd	ESFORÇO	Nrd	Aproveitamento (%)
Banço Superior	1	6,3	COMPRESSÃO	16,68	37,77%
	2	6,3	COMPRESSÃO	16,68	37,77%
	3	19	COMPRESSÃO	16,68	113,91%
	4	19	COMPRESSÃO	16,68	113,91%
	5	6,4	COMPRESSÃO	16,68	38,37%
	6	6,3	COMPRESSÃO	16,68	37,77%
Banço Inferior	7	0	-	0	0,00%
	8	12,7	TRAÇÃO	37,21	34,13%
	9	12,7	TRAÇÃO	37,21	34,13%
	10	12,7	TRAÇÃO	37,21	34,13%
	11	12,7	TRAÇÃO	37,21	34,13%
	12	0,0	-	0	0,00%
Montantes	13	6,3	COMPRESSÃO	20,52	30,70%
	14	0,0	-	0	0,00%
	15	0,0	-	0	0,00%
	16	12,6	COMPRESSÃO	20,52	61,40%
	17	0,0	-	0	0,00%
	18	0,0	-	0	0,00%
	19	6,3	COMPRESSÃO	20,52	30,70%
Diagonais	20	8,9	TRAÇÃO	75,48	11,79%
	21	8,9	COMPRESSÃO	14,93	59,61%
	22	8,8	TRAÇÃO	75,48	11,66%
	23	8,8	TRAÇÃO	75,48	11,66%
	24	8,9	COMPRESSÃO	14,93	59,61%
	25	8,9	TRAÇÃO	75,48	11,79%

Para reunir as informações obtidas, os dados foram organizados em planilha, conforme segue a tabela abaixo (tabela 5).

Tabela 5: Planilha de resultados obtidos.

Treliças	Peso Suportado (TN)	Deformação Ocorrida
1	0,0 Ton	00.0mm
	300 Ton	00.00 mm
	900 Ton	0.093mm
		Relogio Zerado
	1000 ton	0.0163mm
	1100 ton	0.095mm
		Relogio Zerado
	1200 ton	0.097mm
	1250 ton	0.0141mm
2	0,0 Ton	0.000mm
	1000 Ton	0.0100mm
	1500 Ton	0.0993mm
		Relogio Zerado
	2000 Ton	0.033mm
	2100 Ton	0.167mm
3	0.0 Ton	0.0 mm
	900 Ton	0.0600mm
	1300 Ton	0.1030mm

Ao realizar uma análise aprofundada dos resultados de carga máxima de cada estrutura em teste (tabela 7), é visto que a terceira e última treliça teve um suporte de carga maior que o da treliça 1 porem menor que o da treliça 2, mas levando em consideração a quantia de reforço emposta em cada estrutura, a treliça 3 resistiu muito com um gasto baixo. A treliça 2 como mostra a tabela 7 foi a que mais resistiu, porem tendo um gasto muito elevado por conta de seu reforço, pois a placa alocada nas duas faces da estrutura aumenta sua resistência, mas também o seu valor. A Treliça 1 não tinha nenhum reforço alocado em sua estrutura, mas também resistiu muito bem frente ao teste de carga que foi aplicado.

Abaixo a tabela 8 faz uma síntese dos resultados sincronizando as cargas resistidas com o valor total da estrutura para obter-se um resultado de viabilidade.

Tabela 8: Resultados finais e comparativo de viabilidade.

TRELIÇA 1 (REFERENCIAL)		
CARGA SUPORTADA	CUSTO	CUSTO POR KN
12,5	R\$ 126,22	R\$ 10,10

TRELIÇA 2		
CARGA SUPORTADA(KN)	CUSTO (R\$)	CUSTO POR KN
21	R\$ 168,88	R\$ 8,04

TRELIÇA 3		
CARGA SUPORTADA(KN)	CUSTO (R\$)	CUSTO POR KN
13	R\$ 133,99	R\$ 10,31

TRELIÇA	CARGA SUPORTADA (KN)	CUSTO (R\$)
1	12,5	R\$ 126,22
2	21	R\$ 168,88
3	13	R\$ 133,99

A TRELIÇA 2 SUPORTOU 168% DA CARGA SUPORTADA PELA TRELIÇA 1 E CUSTOU 133,79,15% DO VALOR DA TRELIÇA 1
A TRELIÇA 3 SUPORTOU 104% DA CARGA SUPORTADA PELA TRELIÇA 1 E CUSTOU 106,15% DO VALOR DA TRELIÇA 1
A TRELIÇA 2 SUPORTOU 161,53% DA CARGA SUPORTADA PELA TRELIÇA 3 E CUSTOU 126,12% DO VALOR DA TRELIÇA 3

Com o fim dos testes executados e apresentação dos resultados obtidos (tabela 8), foi realizado um comparativo entre os resultados para se entender qual das três treliças seria mais viável tendo menos custo monetário. Analisando a tabela 8, entende-se que a treliça 2 teve um suporte de carga elevado perante as outras, porém seu custo também foi o mais alto.

Tendo em vista que a treliça 1 teve um suporte de carga menor que as outras duas, seu custo total foi o mínimo dentre as três treliças, em relação a treliça 3 que teve um suporte de carga maior que o da treliça 1 considera os custos apresentados, acaba que não se tornando viável por conta da relação custo/benefício.

Conclusões

O estudo apresentado neste trabalho, relacionando estruturas de perfis *Light Steel Frame (LSF)* e placas de *Oriented Strand Board (OSB)* apresentou a possibilidade de criar estruturas otimizadas, utilizando dois materiais com propriedades diferentes, mas que, quando combinados, dão forma a um novo modelo estrutural.

Com os resultados obtidos concluiu-se que, as duas estruturas revestidas com os painéis *Oriented Strand Board*, obtiveram um ganho de resistência, assim suportando quase o dobro de carga que a estrutura sem nenhum reforço. Dessa forma, o projeto mostrou que as propriedades mecânicas do *OSB*, causam impacto diretamente na rigidez da estrutura, de acordo com a quantia aplicada como reforço em cada treliça, resistindo mais ao esforço de flexão aplicado.

A principal demonstração desse ensaio é que é possível executar uma estrutura intermediária, com alto desempenho, combinando materiais e economizando financeiramente.

Analizando-se os resultados obtidos, tem-se que frente a estruturas de concretos as estruturas em perfis *LSF* podem ser uma boa escolha dependendo do tipo de projeto a ser executado. Observando o comportamento das estruturas estudadas revelou que no futuro se houver trabalho relacionado ou até uma continuação do trabalho aqui apresentando, pode-se obter melhorias em relação ao comportamento das estruturas por conta de melhor adequação das estruturas.

Tendo em vista o resultado positivo do trabalho em si apresentado, conclui-se que o embasamento teórico deste trabalho, possibilitou o conhecimento do material e método construtivo utilizado, respectivamente, o *Oriented Strand Board (OSB)* e o *Light Steel Frame (LSF)*, demonstrando as características e a empregabilidade de cada um deles.

Referências Bibliográficas

ABRAF. (2013) - **Anuário estatístico Associação Brasileira de Produtores de Florestas 2013, ano base 2012** / ABRAF. – Brasília: 2013. 148 p.

AGUILAR, M.T.P.; SANTOS, M. P - **Painéis de madeira como vedação vertical em construções**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355. **Dimensionamento de perfis de aço formados a frio** – Padronização. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355. **Dimensionamento de perfis de aço formados a frio** – Padronização. Rio de Janeiro, 2012 (atualizada).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15253. **Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, painéis reticulados em edificações: requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2014.

BATISTA, R. C. **Análise estrutural de uma residência constituída por perfis de aço galvanizados de pequena espessura formados a frio segundo o sistema construtivo a seco – *LightSteel Framing (LSF)***. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. 63 p.

BIAZUS, A.; HORA, A.; LEITE B.G.P. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. 2010. BNDES setorial 32, 90 p.

BRUNO, E. F. S; RODRIGUES, M. L.; MARTINS, T.B. – **Ensaio de treliça executada com perfis de aço galvanizado formados a frio simples e revestida com**

placas OSB. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Unisalesiano – Centro Universitário Católico Unisalesiano Auxilium. Araçatuba, São Paulo, 2016. 69 p.

CAMPOS, P.F. *LightSteel Framing – Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento.* Dissertação mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. 198 p.

CASTRO, E.M.C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999. 202 p.

CBCA (**Centro Brasileiro da Construção em Aço**). Disponível em <<http://www.cbcaacobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

CONGRESSO BRASILEIRO DE GALVANIZAÇÃO. **GALVABRASIL 2013.** São Paulo, 22 out. 2013. Disponível em <<http://www.icz.org.br/galvabrasil/2013/>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

CONSULSTEEL. **Construcción con acero liviano – Manual de Procedimiento.** Buenos Aires: Consul Steel, 2002.

DIAS, L. A. M. **Edificações de aço no Brasil.** 1ed. São Paulo: Ziguarte, 1997. 204 p.

FREITAS, A. M. S.; CRASSTO, R. C. M. de. **Manual de Construção em Aço -Steel Framing: Arquitetura.** Instituto Aço Brasil/CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2006. 121 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – **Wood handbook: wood as an engineering material.** 2010. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

GASPAR, A.P. **Construção de edifícios de habitação em LightSteel Framing – Alternativa viável à construção tradicional.** Faculdade de comunicação, arquitetura, artes e tecnologias da informação. Porto, 2013. 152 p.

GUARNIER, C. R. F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas.** 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil, Ouro Preto, 2009. 396 p.

HASS, D. C. G.; MARTINS, L. F. **Viabilidade econômica do uso do sistema construtivo Steel Frame como método construtivo para habitações sociais.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011. 76 p.

IWAKIRI, S. – **Painéis de Madeira Reconstituída.** 2005. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPR. Curitiba, Paraná. 2005. 66 p.

IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; PRATA, J.G.; COSTA, A.C.B. - **Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas** - *OSB*. 2008. Ciência Florestal, Santa Maria, 2008. 270 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL (IAB). **Aplicações do aço**. Dados coletados em 2017. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/aplicacoes.asp>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

KLINGSPOR. (2011) - **Abrasive Technology**. Disponível em: <http://klingspor.ca/html/index.php?site=3_19_66&lng=por>. Acesso em 21 mar. 2019.

LP Brasil Indústria e Comércio de *OSB*. **Manual de Construção Energética Sustentável**. Curitiba, Paraná. (2012).

LP BRASIL (2012) – **Catálogo Técnico LP OSB placas estruturais para construção CES**. Curitiba, Paraná. 2012. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus/>>. Acesso em 21 mar. 2019. 8 p.

MACEDO, L. - **Painéis de madeira *Pinus sp.* e adição de partículas de polipropileno biorientado (BOPP)**. 2014. Dissertação Pós-Graduação. Universidade de São Paulo, departamento de engenharia de estruturas escola de engenharia de São Carlos, 2014. 84 p.

MENDES, R.F. - **Efeito de tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB. 2010**. Dissertação mestrado - Piracicaba, São Paulo, 2010. 67 p.

MENDES, L.M.- ***Pinus spp.* Na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. Tese pós-graduação Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2001.

NAZAR, N. - **Fôrmas e escoramentos para edifícios: critérios para dimensionamento e escolha do sistema**. 2007. 1 Ed. São Paulo, 2007.

REVISTA DA MADEIRA (2006) - **OSB oferece resistência para múltiplos usos**. Edição: n.97, jun. Editora Remade. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=916>. Acesso em 20 mar. 2019.

REVISTA DA MADEIRA (2007) – **Painel de OSB oferece maior resistência para uso em estruturas**. Edição: n.108, jun. Editora Remade. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1157>. Acesso em 20 mar. 2019.

PEREIRA, C. Estrutura Metálica: **Processo executivo, vantagens e desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/estruturametalica/>>. Acesso em: 25 de março de 2019.

PINHO, F. O.; PENNA F. **Série Manual de Construção em aço - Viabilidade Econômica**. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2008. 84 p.

RODRIGUES, F.C. **Steel Framing: Engenharia. Instituto Brasileiro de Siderurgia**. Centro Brasileiro de Construção do aço, CBCA. Rio de Janeiro, 2006. 127 p.

SANTIAGO, A.K; FREITAS, A.M.S; CRASTO, R.C.M. **Steel Framing: Arquitetura. Instituto Brasileiro de Siderurgia**. Centro Brasileiro de Construção em Aço, CBCA. Rio de Janeiro, 2012. 151 p.

SILVA, L. EDSON; SILVA, P. VALDIR; PIERIN, I. **Estruturas compostas por perfis formados a frio – Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762 (2010) e ABNT NBR 6355 (2012)** - Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro de Construção do aço, CBCA. Rio de Janeiro, 2014. 194 p.

TEIXEIRA, R.B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. 2007. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007. 248 p.

SURDI P. G.– **Produção de partículas orientadas (OSB) a partir de um híbrido de Pinus elliottii var. Elliottii x Pinus caribaea var. Hondurensis**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo 2012. 101 p.

SCANAVACA JUNIOR, L.– **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do Eucalyptus urophylla S. T. Blake e de seu potencial para a utilização em serraria**. 200. **Dissertação (Mestre em Ciências Florestais)** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, 2001. 108 p.

SOUZA, A.M.- **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de Pinus sp com inclusão de telas metálicas**. 2012. Escola de engenharia de

São Carlos, São Paulo, 2012.

SURDI P. G.– **Produção de partículas orientadas (OSB) a partir de um híbrido de Pinus elliottii var. Elliottii x Pinus caribaea var. Hondurensis**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo 2012. 101 p.

ZENID, G.J.- **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2009. Instituto de pesquisas tecnológicas, 2 Ed. São Paulo, 2009.103 p.

Estudo da execução e viabilidade de vigas pré-moldadas em canteiro de obra com forma metálica

Study of the execution and feasibility of precast beams in metal-shaped construction site

Patrine Alexandre Paco¹

André Luís Gamino²

RESUMO

O mercado de construção civil cada vez mais busca por processos construtivos mais produtivos, com racionalização de materiais e rapidez de execução. Este trabalho versa sobre a comparação de custos no processo de execução de vigas pré-moldadas em canteiro de obra, mostrando seus benefícios como versatilidade, menor perda de materiais e tempo de execução, do ponto de vista técnico e econômico. O trabalho de conclusão de curso foi baseado no método construtivo da Construtora Reynold Ltda, cuja obra estudada neste trabalho foi o Centro de Convivência do Centro Universitário Católico Unisalesiano Auxilium, com execução entre julho de 2018 e julho de 2019 e localização na Rodovia Teotônio Vilela, em Araçatuba-SP. Houve um acompanhamento em campo do método construtivo desenvolvido pela construtora para vigas pré-moldadas no local, no qual chegou ao resultado de que 90% dos procedimentos de execução verificados apresentaram conformidade com as normas da ABNT. A viabilidade do custo de vigas em concreto pré-moldado em obra foi demonstrada através de planilha orçamentária, na qual foram levantados os quantitativos de consumo e preço de materiais baseados nas tabelas SINAP e CPOS para uma viga já dimensionada que foi utilizada na obra analisada. Este estudo também abordou a implantação de uma central de pré-moldados no canteiro de obras para a produção dos elementos e suas etapas de execução. Com esse estudo pode-se obter um resultado satisfatório de custo do método pré-moldado em relação ao pré-fabricado para execução de vigas, com uma economia de 37,3%.

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. Orientador.

Palavras-Chave: Método construtivo, concreto pré-moldado, viabilidade de pré-moldado em obra, rapidez de execução.

ABSTRACT

The civil construction market is increasing the search of more productive construction processes, with rationalization of materials and speed of execution. This paper is about the cost comparison in the execution process of precast beams in construction site, showing its benefits such as versatility, less material loss and execution time, from a technical and economic point of view. The course conclusion paper was based on the constructive method of Construtora Reynold Ltda, whose studied site in this paper was the Living Center of the Catholic University Center Unisalesiano Auxilium, running between July 2018 and July 2019 and located on Teotônio Vilela Highway, in Araçatuba-SP. There was a field follow-up of the construction method developed by the construction company for precast beams on site, which resulted in the fact that 90% of the verified execution procedures complied with ABNT standards. The feasibility of the cost of precast concrete beams on site was demonstrated through a budget spreadsheet, in which the consumption and price quantities of materials based on the SINAP and CPOS tables were surveyed for an already sized beam that was used in the analyzed work. This study also addressed the implementation of a central precast plant at the construction site for the production of the elements and their stages of execution. With this study it is possible to obtain a satisfactory cost result of the precast method in relation to the prefabricated beam execution method, with an economy saving of 37,3%.

Keywords: Construction method; precast concrete; precast viability on site; speed of execution.

Introdução

O método construtivo com estruturas pré-moldadas revolucionou a construção na Europa. O uso do pré-moldado ganhou grande escala devido a necessidade da reconstrução das cidades com rapidez, após a última guerra. No Brasil, esses elementos vêm ganhando destaque em vários empreendimentos.

A grande competitividade do mercado atual, no entanto, demanda soluções que, associadas ao processo construtivo em alvenaria estrutural, melhorem a eficiência do processo, eliminando etapas construtivas, minimizando interferências entre os subsistemas e elevando a qualidade do produto final. Adotar soluções voltadas à industrialização, principalmente com a pré-moldagem, pode ser um caminho para melhorar a eficiência do processo (BRUMATTI, 2008).

As estruturas em pré-moldado além de racionais, trazem versatilidade para a obra. Segundo ÁVILA (2006),

O uso de pré-moldados permite a confecção de peças de todos os tamanhos e formatos para atender ao projeto de arquitetura, inclusive se a necessidade for por elementos de grandes dimensões. Tecnicamente, não há impedimento para utilização de pré-moldados em toda e qualquer obra, desde que haja compatibilidade com o restante da estrutura.

A construção civil busca por materiais mais baratos e é indiscutível que as estruturas pré-moldadas proporcionam economia. Trabalhos indicam que além de serem bastante viáveis do ponto de vista técnico, também é uma opção bastante econômica que garantem benefícios como rapidez, qualidade, durabilidade e planejamento para a obra.

Outro benefício que o concreto pré-moldado apresenta é o reuso de suas formas e considerável redução de desperdício, trazendo economia e sustentabilidade.

Revisão bibliográfica

Para análise da viabilidade e economia de pré-moldados estudou-se a monografia de Brumatti (2008), no qual, foi desenvolvida uma comparação de custos para um caso típico entre uma casa de dois pavimentos com as mesmas dimensões e tamanhos, com uma sistemática construtiva convencional, formada por uma alvenaria de vedação sem função estrutural e um conjunto de pilares e laje maciça plana executado “in loco”, entre uma no sistema misto de alvenaria estrutural e laje pré-moldada em canteiro de obra, sendo necessária a criação de uma central de pré-moldados. Esse resultado pode ser analisado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Comparação estrutura convencional X pré-moldado

ESTRUTURA CONVENCIONAL X PRÉ-MOLDADO - CASA A								
ITEM	DESCRIÇÃO	PRÉ-MOLDADO				CONVENCIONAL		
		UNID.	QUANT. TOTAL	PREÇO UNIT. R\$	PREÇO TOTAL R\$	QUANT. TOTAL	PREÇO UNIT. R\$	PREÇO TOTAL R\$
1	INFRA-ESTRUTURA				R\$ 5.631,90			R\$ 5.587,17
1.1	GABARITO	CASA	1,00	R\$ 284,29	R\$ 284,29	1,00	R\$ 284,29	R\$ 284,29
1.2	FÔRMA E DESFORMA							
1.2.1	FORMA RADIER	M²				7,30	R\$ 13,87	R\$ 101,25
1.2.2	FORMA EXTRA RADIER	M²	6,89	R\$ 13,87	R\$ 95,56	6,89	R\$ 13,87	R\$ 95,56
1.2.3	FORMA METÁLICA DO RADIER	CASA	0,01	R\$ 7.500,00	R\$ 82,50			
1.2.4	MÃO-DE-OBRA PARA FORMA METÁLICA RADIER	CASA	1,00	R\$ 63,48	R\$ 63,48			
1.2.5	DESFORMA	M²	14,19	R\$ 4,88	R\$ 69,25	14,19	R\$ 4,88	R\$ 69,25
1.3	ARMAÇÃO							
1.3.1	TELA LAJE PISO TÉRREO	Kg	288,00	R\$ 3,64	R\$ 1.048,32	288,00	R\$ 3,64	R\$ 1.048,32
1.3.2	TELA EXTRA RADIER	Kg	35,00	R\$ 3,64	R\$ 127,40	35,00	R\$ 3,64	R\$ 127,40
1.4	CONCRETO							
1.4.1	CONCRETO MAGRO LAJE PISO TÉRREO = 5CM	M³	3,35	R\$ 154,73	R\$ 518,35	3,35	R\$ 154,73	R\$ 518,35

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

1.4.2	CONCRETO MAGRO EXTRA RADIER E = 5CM	M ³	1,40	R\$ 154,73	R\$ 216,62	1,40	R\$ 154,73	R\$ 216,62
1.4.3	CONCRETO BOMBEADO 30MPa RADIER	M ³	13,96	R\$ 193,09	R\$ 2.695,54	13,96	R\$ 193,09	R\$ 2.695,54
1.4.4	CONCRETO BOMBEADO 30MPa EXTRA LAJE PISO	M ³	2,23	R\$ 193,09	R\$ 430,59	2,23	R\$ 193,09	R\$ 430,59
2	SUPER ESTRUTURA				R\$ 14.592,20			R\$ 17.406,39
2.1	FÔRMA E DESFORMA							
2.1.1	FÔRMA PILAR TÉRREO E SUPERIOR METÁLICO	M ²	13,44	R\$ 12,27	R\$ 164,91	48,93	R\$ 12,27	R\$ 600,37
2.1.2	FÔRMA LAJE TÉRREO E SUPERIOR	M ²	-	R\$ 22,13	-	126,00	R\$ 22,13	R\$ 2.788,38
2.1.3	FÔRMA ESCADA E VIGA	M ²	-	R\$ 28,58	-	55,00	R\$ 28,58	R\$ 1.571,90
2.1.4	PASTA DESMOL- DANTES	M ²	126,00	R\$ 1,60	R\$ 201,60			
2.1.5	DESFORMA	M ²	139,44	R\$ 3,22	R\$ 449,00	229,93	R\$ 3,22	R\$ 740,37
2.1.6	FÔRMA ENCARREGA DO E CONSULTO- RIA DA STONE ESTRUTURA PRÉ- MOLDADO - LAJES E VIGAS	M ³	13,48	R\$ 150,00	R\$ 2.022,00			
2.1.7	FÔRMA ENCARRE- GADO E CONSULTO- RIA DA STONE ESTRUTURA PRÉ- MOLDADO - ESCADAS	M ³	1,00	R\$ 250,00	R\$ 250,00			

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

2.1.8	SINAL PARA TRANSPORTE DE MOLDE	M³	14,48	R\$ 4,35	R\$ 62,99			
2.2	ESCORAMENTO	CASA				1,00	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
2.3	ARMAÇÃO							
2.3.1	TELA LAJE TÉRREO E SUPERIOR	Kg	610,00	R\$ 3,64	R\$ 2.220,40	517,00	R\$ 3,64	R\$ 1.881,88
2.3.2	ARMAÇÃO CORTADA E DOBRADA	Kg	1.015,00	R\$ 3,41	R\$ 3.461,15	1.038,00	R\$ 3,41	R\$ 3.539,58
2.4	CONCRETO							
2.4.1	CONCRETO BOMBEADO 30 MPa	M³	14,48	R\$ 193,09	R\$ 2.795,94	19,74	R\$ 193,09	R\$ 3.811,60
2.4.2	CONCRETO CONVENCIONAL PILARES 30 MPa	M³	0,75	R\$ 221,79	R\$ 166,34	1,56	R\$ 221,79	R\$ 345,99
2.4.3	GRAUTEAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL	M³	2,24	R\$ 207,76	R\$ 465,38			-
2.4.4	CONTROLE TECNOLÓGICO DOS MATERIAIS	VB	1,00	R\$ 126,32	R\$ 126,32	1,00	R\$ 126,32	R\$ 126,32
2.4.5	GRAUTEAMENTO DOS PILARES, ENCONTRO DE LAJES E FURROS DE INSTALAÇÃO	CASA	1,00	R\$ 652,90	R\$ 652,90			
2.4.6	PLATAFORMA PARA MOLDAGEM DAS LAJES	VB	1,00	R\$ 79,00	R\$ 79,00			
2.4.7	POLIMENTO PARA ACABAMENTO DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS	M²	116,53	R\$ 4,00	R\$ 466,12			
2.5	OUTROS							
2.5.1	OUTROS ITENS ESPECIAIS E MATERIAS PARA IÇAMENTO DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS	M²	14,48	R\$ 17,55	R\$ 254,12			

2.6	EQUIPAMENTOS								
2.6.1	EQUIPAMENTOS PARA MONTAGEM DAS LAJES PRÉ-MOLDADAS (MUCKE GUINDASTE)	CASA	1,00	R\$ 754,02	R\$ 754,02				
2.7	ALVENARIA				R\$ 5.924,80			R\$ 4.889,94	
2.7.1	ALVENARIA ESTRUTURAL DE 14 CM	M ²	142,74	R\$ 28,47	R\$ 4.063,81				
2.7.2	ALVENARIA ESTRUTURAL DE 9 CM	M ²	87,70	R\$ 21,22	R\$ 1.860,99	230,44	R\$ 21,22	R\$ 4.889,94	
2.8	REVESTIMENTOS				R\$ 2.374,53			R\$ 2.806,42	
2.8.1	GESSO LISO NO TETO PARA CORREÇÕES	M ²	199,00	R\$ 2,50	R\$ 497,50	199,00	R\$ 7,50	R\$ 1.492,50	
2.8.2	QUADROS DE GRANITO - DIFERENÇA ENTRE PAREDE DE 14 CM E 9 CM	VB	1,00	R\$ 1.877,03	R\$ 1.877,03	1,00	R\$ 1.313,92	R\$ 1.313,92	
		PRÉ-MOLDADO			R\$ 28.523,42	CONVENCIONAL		R\$ 30.689,92	

Fonte: Adaptada de Brumatti (2008).

Através de pesquisas feitas por Oliveira (2015), pode-se observar em quais tipos de obra é mais utilizado o sistema de pré-moldados, quais fatores influenciam na escolha desse sistema, suas principais desvantagens e se as obras com estruturas pré-moldadas são mais caras ou mais baratas, demonstradas nas figuras 1, 2, 3 e 4 a seguir.

O gráfico 1 apresentou que o sistema em concreto pré-moldado é mais utilizado em obras industriais com 60% das pesquisas.

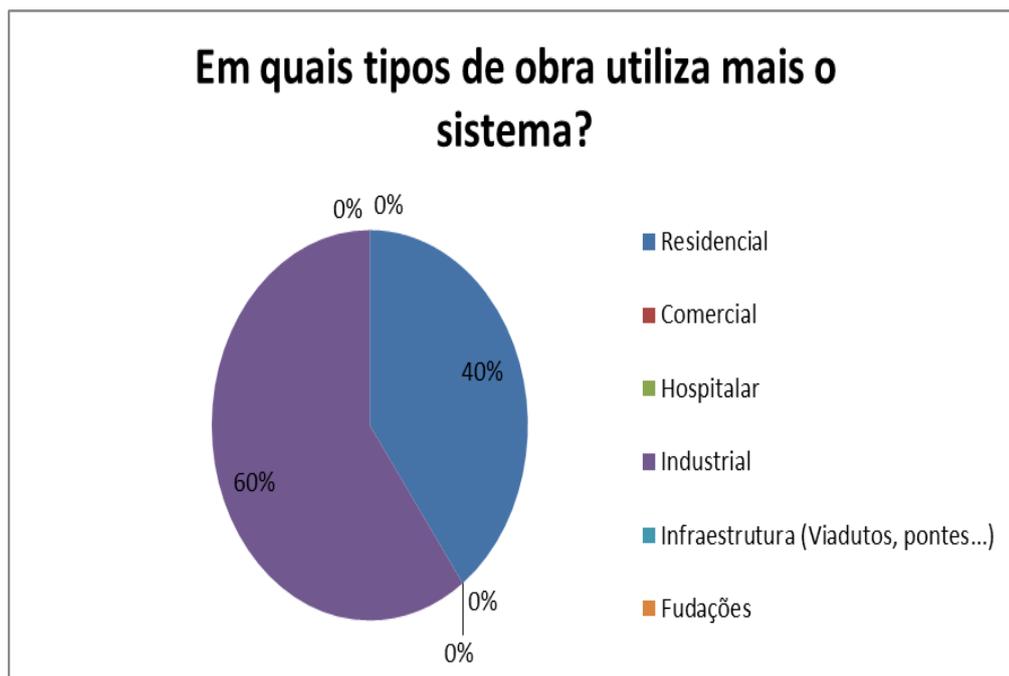


Figura 1 – Gráfico 1: Tipos de obra que utiliza pré-moldado. Fonte: Oliveira (2015).

O gráfico 2 demonstrou que os principais fatores que influenciam na escolha de pré-moldados são redução de custos e a racionalização. Os outros fatores que influenciam na escolha são o aumento da produtividade e a facilidade de execução.

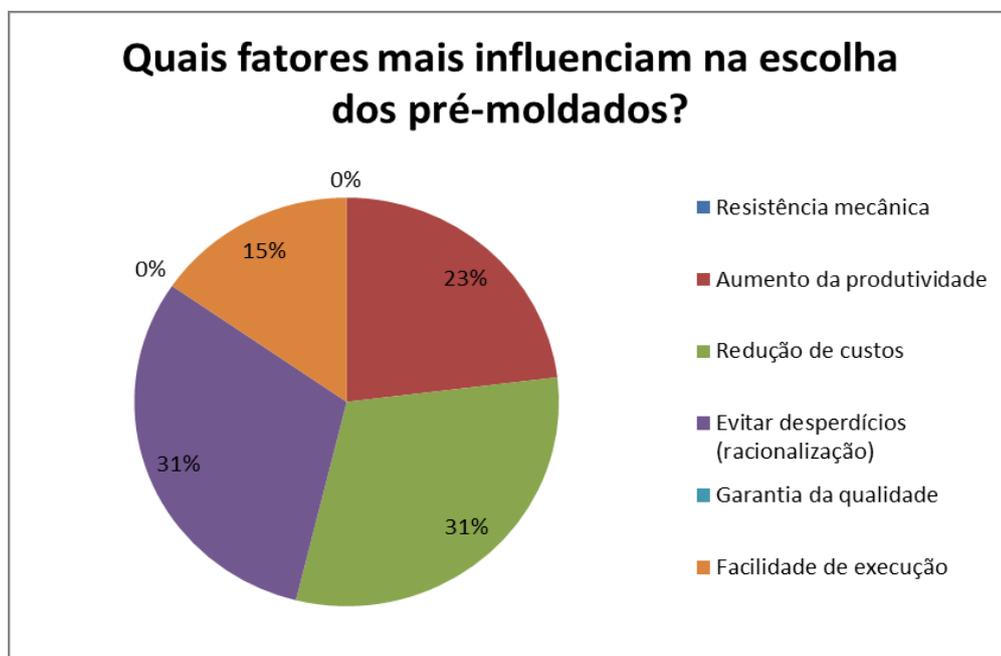


Figura 2 – Gráfico 2: Quais fatores mais influenciam na escolha dos pré-moldados. Fonte: Oliveira (2015).

No gráfico 3, pode-se observar que o uso do pré-moldado apresenta algumas desvantagens, sendo elas principalmente a necessidade de equipamentos específicos, necessidade de mão-de-obra qualificada e dificuldades de logística das peças.

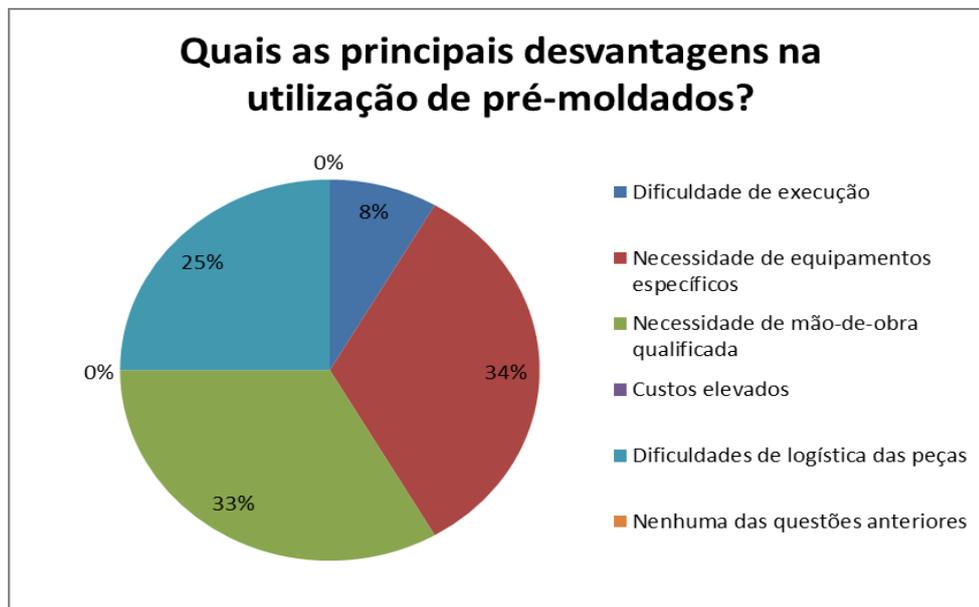


Figura 3 – Gráfico 3: Principais desvantagens na utilização de pré-moldados. Fonte: Oliveira (2015).

Já no gráfico 4, 100% dos entrevistados disseram que as obras com estruturas pré-moldadas são em geral mais baratas.



Figura 4 – Gráfico 4: Viabilidade econômica em obras com estruturas pré-moldadas. Fonte: Oliveira (2015).

Materiais e métodos

Para o estudo do método de vigas pré-moldadas em obra, teve-se como base a construção do centro de convivência do Centro Universitário UniSalesiano Auxilium de Araçatuba-SP.

Estudo

O estudo foi iniciado através do acompanhamento em obra do processo de execução das vigas pré-moldadas desde a verificação de projeto das mesmas, preparação do canteiro até o içamento das peças, sendo que as peças já estavam dimensionadas.

Após acompanhamento da obra, houve a necessidade do estudo sobre as normas brasileiras técnicas para os procedimentos realizados na execução de vigas pré-moldadas.

Para análise dos métodos a serem adotados no procedimento de execução de vigas pré-moldadas teve-se como base a recomendação das normas brasileiras NBR 9.062 (2017) – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado – Procedimento e NBR 14.931 (2004) – Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento, que serão descritas ao longo deste trabalho.

Para análise dos parâmetros mínimos de engenharia para vigas pré-moldadas teve-se como base a norma técnica NBR 6118 (2014) - Projetos de Estrutura de concreto – Procedimentos.

Também foi desenvolvida uma planilha orçamentária com a finalidade de obter uma comparação de custos do modo de execução entre pré-moldado e pré-fabricado, no qual foram utilizadas as tabelas CPOS e SINAPI para a composição dos orçamentos.

Método

No acompanhamento da obra, foram realizadas as seguintes verificações:

Formas

A verificação das formas utilizadas foi realizada “in loco”. No canteiro de obra foram verificadas cada peça utilizada, seu posicionamento e nivelamento e antes da concretagem ainda foi realizado a conferência de cada leito de viga para saber se as estavam devidamente posicionadas, niveladas e limpas para o recebimento do concreto. Em campo verificou-se que foi utilizado a aplicação de desmoldante para as formas antes da introdução da armadura.

Cobrimento das armaduras e espaçamento entre camadas

A verificação do cobrimento e espaçamento entre camadas para armadura foi realizada a partir do projeto das vigas dimensionadas conforme figura 5 abaixo.

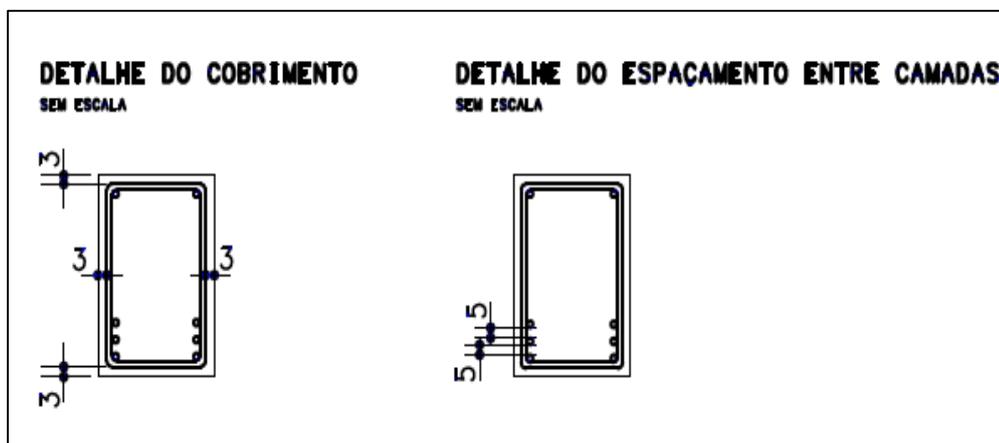


Figura 5 – Detalhe do cobrimento e espaçamento entre camadas para viga V320. Fonte: Contrutora Reynold (2018).

Também foi realizada a verificação “in loco” para observar se os cobrimentos e os espaçamentos entre camadas estavam conforme projeto. Foram utilizados espaçadores para garantir o cobrimento solicitado como demonstrado na figura 6 abaixo.



Figura 6 – Verificação do cobrimento de armadura. Fonte: Autor (2018).

Armadura

O alojamento da armadura, assim como os comprimentos, dimensões das bitolas e ganchos foram observados a partir do projeto da viga V320 (figura 7).

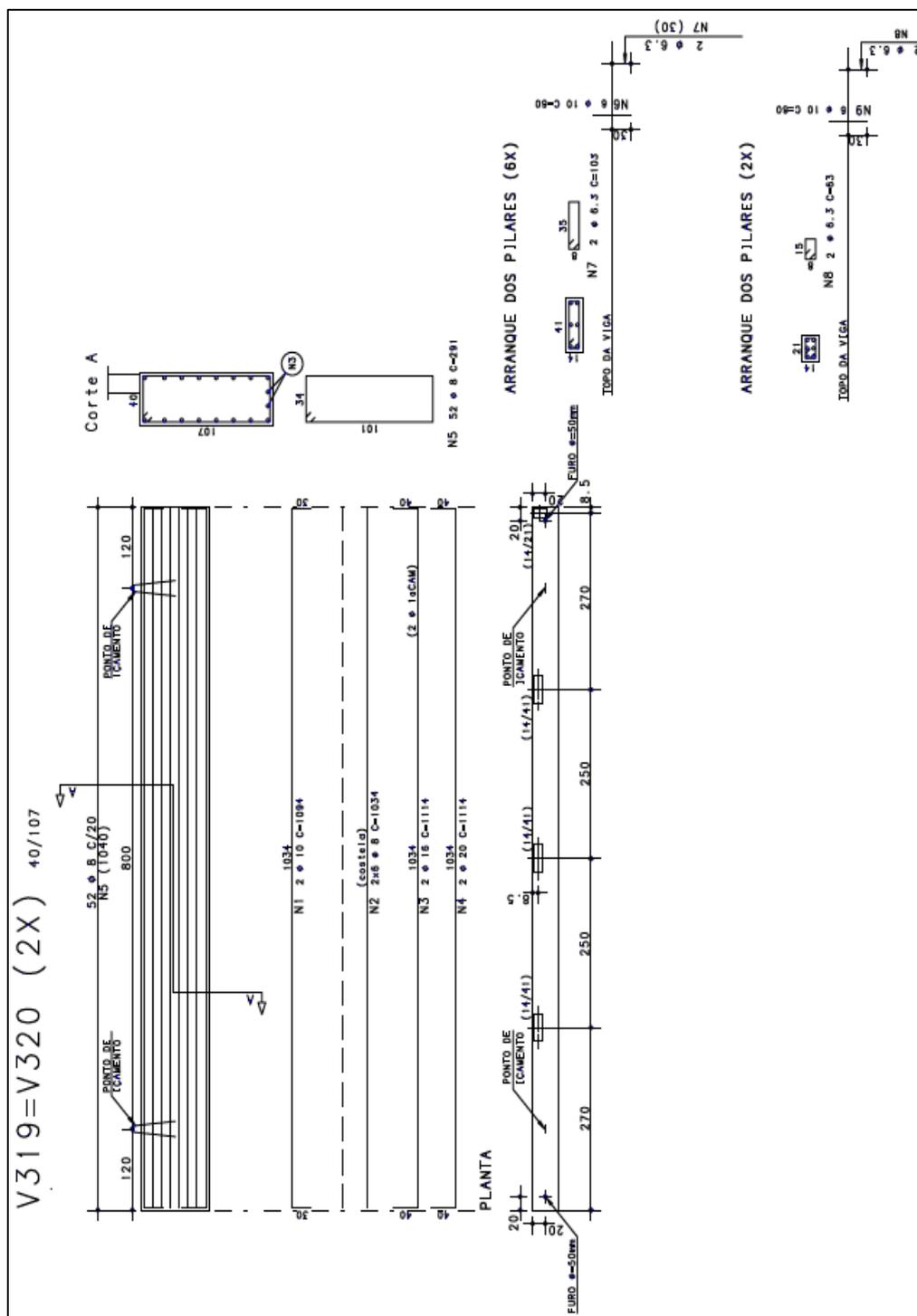


Figura 7 – Projeto estrutural da viga V320. Fonte: Contrutora Reynold (2018).

Este projeto também foi utilizado para o cálculo de consumo de aço para compor a planilha orçamentária.

Resistência do concreto (fck)

No acompanhamento “in loco” da execução das vigas identificou-se que o fck utilizado foi de 40 MPa.

Trabalhabilidade do concreto

“In loco” foi verificado o ensaio de abatimento onde foi constatado que os slumps tirados durante a concretagem atendiam ao solicitado, sendo este 10 ± 2 . No ensaio o preenchimento do molde era realizado em três camadas compactadas com 25 golpes.

Moldagem de corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova também foi verificada “in loco” durante o acompanhamento da obra. Retirava-se a amostra somente no início do caminhão e seu volume era somente para a quantidade necessária.

Concretagem

Também houve o acompanhamento deste procedimento em campo. A concretagem só era realizada quando as formas estavam devidamente limpas e niveladas e a armadura bem posicionada. O lançamento do concreto era feita em duas etapas para cada viga e após o seu lançamento o concreto era vibrado.

Armazenamento

Conforme verificação feita em campo, após a cura das vigas concretadas, estas eram retiradas dos leitos e armazenadas sobre calços de madeira.

Içamento das peças

Conforme verificação “in loco” o içamento das vigas era realizado seguindo um plano de Rigging. Entende-se como plano de Rigging o planejamento detalhado para atividades de içamentos de cargas.

Sinergia com as normas brasileiras

Através dos procedimentos exigidos perante normas técnicas e parâmetros mínimos de engenharia para cobrimento, concreto e armadura de vigas em concreto armado descritos anteriormente, realizou-se um levantamento (tabela 2) para observar se houve conformidade entre os procedimentos adotados pela Construtora Reynold com os mesmos.

Planilha orçamentária para viga V320

As informações necessárias para a execução da planilha orçamentária foram retiradas das tabelas, CPOS versão 174 – nov/2018 – sem desoneração e SINAPI – ago/2017 – região de São Paulo, na qual foi utilizada a viga (V320) já dimensionada que faz parte da estrutura da obra citada para o cálculo dos custos. A composição dos elementos para viga pré-moldada foi retirada da CPOS e os custos unitários de materiais e mão de obra para cada elemento retirou-se da tabela SINAPI.

Para a comparação de custos entre o método de execução de pré-moldado e pré-fabricado foi necessário um orçamento de pré-fabricado para a viga V320 de uma empresa “A”, de São José do Rio Preto-SP.

Para custos de formas metálicas (sistema trio) e custo de caminhão truck para carga/descarga das formas, foi necessário utilizar uma ordem de compra da Contrutora Reynold.

Viabilidade econômica entre pré-moldado e estrutura convencional

Para análise da viabilidade econômica entre pré-moldado e uma estrutura convencional estudou-se a monografia de Brumatti (2008), no qual, foi desenvolvida uma comparação de custos para um caso típico entre uma casa de dois pavimentos com as mesmas dimensões e tamanhos, com uma sistemática construtiva convencional, uma alvenaria de vedação sem função estrutural e um conjunto de pilares e laje maciça plana executados “in loco”, e uma no sistema misto de alvenaria estrutural e laje pré-moldada em canteiro de obra, sendo necessária a criação de uma central de pré-moldados (tabela 1).

Viabilidade das obras com estruturas pré-moldadas

Foi realizado o estudo da monografia de Oliveira (2015) para a revisão bibliográfica deste trabalho, no qual contribuiu para análise da viabilidade e as vantagens das obras executadas com estruturas pré-moldadas de acordo com as pesquisas desenvolvidas em seu trabalho (figuras 1, 2, 3 e 4).

Resultados e discussões

Após análises de campo e conhecimento de normas técnicas foi desenvolvida a tabela 2 a seguir para determinar quais procedimentos vistos em campo estão conforme NBR's.

Tabela 2 – Conformidade entre verificações em campo com NBR's

TABELA DE VERIFICAÇÃO ENTRE PROCEDIMENTO EM CAMPO E NBR'S				
ITEM	PROCEDIMENTOS	VERIFICAÇÃO	NORMALIZAÇÃO	CONFORMIDADE
1	FORMAS	Verificação "In loco" das peças utilizadas e do procedimento de	NBR 9062 (2017) e NBR 14931 (2004)	SIM
2	ARMADURA	Verificação em projeto e montagem em campo da viga V320	NBR 9062 (2017) e NBR 14931 (2004)	SIM
3	COBRIMENTO MÍN.	Apresentado em projeto (viga V320) e verificado "In loco" se estava conforme projeto	NBR 6118 (2014)	SIM
4	ESPAÇAMENTO ENTRE CAMADAS	Apresentado em projeto (viga V320) e verificado "In loco" se estava conforme projeto	NBR 6118 (2014)	SIM
5	FCK MÍN.	Verificação em campo do Fck do concreto utilizado durante a concretagem	NBR 6118 (2014)	SIM
6	VERIFICAÇÃO DA TRABALHA - BILIDADE DO CONCRETO	Acompanhamento do teste do Slump em campo	NBR NM 67 (1998)	SIM
7	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	Acompanhamento da moldagem feita em campo durante a concretagem	NBR NM 33 (1994) e NBR 5738 (2015)	NÃO
8	CONCRETAGEM	Acompanhamento do procedimento em campo	NBR 14931 (2004)	SIM
9	ARMAZENA - MENTO	Acompanhamento do procedimento em campo	NBR 9062 (2017)	SIM
10	IÇAMENTO	Acompanhamento do procedimento em campo	NBR 9062 (2017)	SIM

Com ela, foi possível identificar que 90% dos procedimentos verificados em campo estão conforme recomendações das NBR's.

Após levantamento de custos para viga V320, apresentou-se a planilha orçamentária da tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Planilha Orçamentária para viga V320.

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA PARA VIGA V320								
TEM	REF. CUSTOS UNIT.	DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	UNID	QUANT.	MATERIA	MAO DE OBRA	CUSTO UNIT.	TOTAL
1.		PRÉ-MOLDADO						7.727,92
	Const. REYNOLD	Locação formas metálicas (sistema trio)	m ²	75,510	1,33	-	1,33	100,43
	Const. REYNOLD	Locação de caminhão truck - carga / descarga de formas	dia	2,000	-	-	225,00	450,00
	CPOS	Concreto preparado no local, fck = 20,0 Mpa - leito	m ³	0,475	228,22	90,12	318,34	151,21
	CPOS	Chapa de aço em bitolas medias - leito	Kg	67,880	4,16	9,99	14,15	960,50
	SINAPI	Sarrado de madeira não aparelhada 2,5 x 5 cm, macaranduba, angelim ou equivalente da região	m	0,400	3,03	-	3,03	1,21
	SINAPI	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 Kg/m)	Kg	6,053	7,00	-	7,00	42,37
	CPOS	Concreto usinado, fck = 40,0 MPa - para bombeamento	m ³	4,451	327,46	-	327,46	1.457,52
	CPOS	Armadura em barra de aço CA-50 (A ou B) fyk = 500 MPa	Kg	217,638	4,94	1,93	6,87	1.495,17
	SINAPI	Desmoldante para formas metálicas a base de óleo vegetal	l	14,732	12,73	-	12,73	187,54
	CPOS/SINAP	Carpinteiro	h	8,635	-	20,89	20,89	180,39
	CPOS/SINAP	Ferreiro/armador	h	38,403	-	20,89	20,89	802,24
	CPOS/SINAP	Ajudante de ferreiro	h	32,029	-	17,19	17,19	550,58
	CPOS/SINAP	Pedreiro	h	30,044	-	21,01	21,01	631,22
	CPOS/SINAP	Servente	h	39,124	-	18,34	18,34	717,53
2.		PRÉ-FABRICADO						12.320,00
	Orçamento empresa "A"	Viga pré-fabricada (peça + transporte Araçatuba + impostos)	m ³	4,451	-	-	2.767,92	12.320,00

A planilha orçamentária apresentou um custo da viga V320 em pré-moldado de R\$ 7.727,92 e em pré-fabricado de R\$ 12.320,00. Relativamente o

custo apresentado para procedimento de execução em pré-moldado é mais baixo, gerando economia para a obra.

Com a planilha orçamentária desenvolvida por Brumatti para a comparação de custos de uma sistemática construtiva convencional, formada por uma alvenaria de vedação sem função estrutural e um conjunto de pilares e laje maciça plana executado “in loco”, entre uma no sistema misto de alvenaria estrutural e laje pré-moldada em canteiro de obra pode-se verificar que o sistema misto de alvenaria estrutural e laje pré-moldada apresentou melhor custo, com economia de 7%.

As pesquisas feitas por Oliveira apresentaram que o sistema em concreto pré-moldado é mais utilizado em obras industriais. Também demonstraram que os principais fatores que influenciam na escolha de pré-moldados são redução de custos e a racionalização e as obras com estruturas pré-moldadas são em geral mais baratas.

Conclusões

Com a competitividade do mercado de trabalho, a construção civil busca métodos construtivos que priorizam a rapidez de execução e a viabilidade financeira.

Através de pesquisas feitas por Oliveira (2015), pode-se observar que as estruturas com sistema em pré-moldados geralmente são mais baratas.

A monografia de Brumatti (2008) apresentou uma economia de 7% entre uma sistemática produtiva convencional e um sistema misto de alvenaria estrutural e laje pré-moldada em canteiro de obra.

Já com a planilha orçamentária desenvolvida nesse trabalho, o custo da viga em pré-moldado foi de R\$ 7.727,92 e da pré-fabricada é de R\$ 12.320,00, assim o método construtivo em pré-moldado apresenta uma economia de 37,3% em relação ao pré-fabricado, para determinada viga.

Em relação aos parâmetros mínimos de engenharia para execução e dimensionamento da viga pré-moldada V320 e aos procedimentos de execução verificados, a Construtora Reynold atendeu aos requisitos das normas da ABNT

com apenas 10% de não conformidade devido à moldagem dos corpos de prova, no qual a amostra utilizada é retirada somente no início do lançamento do concreto.

Logo, pode-se concluir com este trabalho que o sistema pré-moldado em obra para vigas apresenta resultado de custo satisfatório, com baixo custo, em comparação com outros métodos construtivos.

Finalizando, as informações e verificações aqui apresentadas, comprovam o motivo do qual a Construtora Reynold utiliza esse método construtivo, viabilizando o custo para a execução de suas obras.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.062. **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14.931. **Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.655. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.738. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.118. **Projetos de Estrutura de concreto – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2014.

ÁVILA, Renata. Projetos: Pré-moldado. *Téchne*, edição 108, mar. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/108/artigo286054-1.aspx>>. Acesso em: 13 de março de 2019.

BERTOLI, Rafael C. **Concreto pré-moldado – Execução de Vigas e Pilares**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica da Área de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco, Itatiba.

BRUMATTI, Dioni O. **Uso de pré-moldados – Estudo e viabilidade**. 2008. Monografia apresentada para obtenção de título de Especialista na Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, Daniel F. C. **Concreto Pré-moldado: Processos Executivos e Análise de mercado**. 2015. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

SENDEN, Henry O. T. **Sistemas Construtivos Em Concreto Pré-moldado**. 2015. Projeto de graduação para obtenção do título de engenheiro civil – Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Análise das propriedades físicas e mecânicas do Concreto autoadensável

Analysis of physical and mechanical properties of self-compacting concrete

Diego de Lima Rodrigues¹
Jhessica Glaucia Ribeiro Garçone²
Plinio Delano Francisco Nunes³
André Luis Gamino⁴

RESUMO

O concreto autoadensável (CAA) é necessário para execução de elementos estruturais com alta taxa de armaduras, grandes restrições e para locais de difícil aplicação. Com capacidade de preencher os espaços vazios somente com a força gravitacional devido a sua alta fluidez, que em sua composição utiliza aditivos e agregado miúdos de menores dimensões em um fator elevado água/cimento e assim dispensando o uso de equipamentos mecânicos para adensamento em suas aplicações, em contrapartida cria o risco de segregação dos materiais compósitos e aumento de retração e fluência. Os materiais a serem utilizados foram cimento Portland, aditivo plastificante, areias finas e médias, e como agregado graúdo pedrisco. Os resultados a serem obtidos são uma dosagem CAA com redução de cimento e água que atenda a resistência requerida e análise experimental das propriedades físicas e mecânicas. **Palavras-Chave:** Concreto autoadensável; Trabalhabilidade; Aditivos.

ABSTRACT

The self-compacting concrete (SCC) is used for the execution of structural elements with high armor rate, with big restrictions and for places of difficult application. It has the capacity to fill the empty spaces with only the gravitational force due to its high fluidity, which in its composition uses additives and aggregates of smaller dimensions in a high factor of water/cement. Therefore, it is possible to dismiss the use of mechanical equipment for densification of the concrete during its application, on the other hand creates the risk of segregation of the composite materials and increased shrinkage and creep. The materials used were Portland cement, superplasticizer additive, fine and medium sands, and gravel as coarse aggregate. The results to be obtained are a SCC dosage with reduction of cement and water that meet the required resistance of the project and experimental analysis of physical and mechanical properties. **Keywords:** Self-compacting concrete; Workability; Additives.

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

⁴ Engenheiro civil, Professor Doutor do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Araçatuba – SP.

Introdução

Segundo Okamura (1997), o CAA é um material que progrediu rapidamente na construção civil. Seu desempenho é alcançado devido sua grande fluidez e alta trabalhabilidade, possibilitando a concretagem de peças densamente armadas e em locais de difícil acesso a vibração. As características que mais se destacam nesse concreto são: capacidade de preencher todos os espaços vazios sem a necessidade de intervenção mecânica e estabilidade para o preenchimento dos espaços sem ocorrer a separação dos seus componentes.

Após ser aprovado em todos os testes ao qual foi submetido pelo grupo de pesquisadores do Japão, em 1988, foi permitido que o concreto adensável se tornasse apto e presente em edificações que necessitam de grande sofisticação em seu processo. É um material que dispensa a utilização de vibradores de imersão para o preenchimento da fôrma, pois seu próprio peso exerce essa função, com o auxílio da força gravitacional (KHAYAT, 2000).

Na execução do concreto autoadensável, é utilizado um alto teor de finos em relação ao agregado graúdo, maior quantidade de cimento e adições minerais. Com a utilização de um alto teor de finos, o concreto garante a eficácia e alta trabalhabilidade, tornando-se um elemento autonivelante, com melhor coesão da pasta e aumento da resistência inicial (GOMES, 2002). A figura 1, demonstra a trabalhabilidade do CAA, assim que lançado durante a concretagem (BASF, 2013).



Figura 1 - Lançamento do concreto autoadensável. **Fonte:** BASF (2013).

O CAA é um concreto fluído, que se molda na fôrma, dispensando a intervenção humana e mecânica. Sendo assim, ele é indicado em estruturas que possuem alta taxa de armaduras, estruturas que exijam acabamento de concreto aparente, estruturas pré-moldadas, entre outros métodos e obras arquitetônicas.

Por ser um concreto autonivelante, torna-se muito eficaz sua utilização em rampas e calçadas, pois dispensando a intervenção humana, permite que o CAA possua um acabamento superior do concreto convencional. Sua atuação é essencial em obras que exige uma utilização menor de mão de obra, restrição de poluição sonora, concretagem rápida e limitação de espaço que permita poucos equipamentos presentes no local (NUNES, 2001).

A utilização do concreto autoadensável, é consideradamente mais viável. Ele evita a poluição sonora, pois dispensa o uso de vibradores de imersão e outros equipamentos responsável pelo nivelamento do produto. Além disso, possibilita a economia de energia elétrica, devido ao curto tempo que é necessário para a execução do trabalho. Também diminui o risco de acidentes de trabalho, pois não requer muito esforço durante o lançamento (COPPOLA, 2001).

Sua execução, permite reduzir até três vezes a quantidade de operários, pois é facilmente lançado, dispensando o deslocamento e esforço durante o bombeamento. Esse fator possibilita a redução de custos com a mão de obra (NUNES, 2001).

A qualidade do CAA é medida através dos termos de consistência, ao invés da relação das propriedades mecânicas, assim como o concreto convencional. Devido a isso, observa-se que essas propriedades não podem ser avaliadas utilizando os procedimentos convencionais, por exemplo, o *slumptest*, que avalia a consistência. A fluidez do CAA, exige uma metodologia própria de avaliação, para suprir as exigências da qualidade do material, permitindo sua uniformidade e evitando falhas no decorrer da concretagem. Um dos tipos de ensaios para ser utilizado é o *slumpflow*, que é realizado no Cone de Abrams, no qual mede-se o diâmetro da abertura do concreto após seu lançamento (KHAYAT, 1999).

Com o grande crescimento da construção civil criou a necessidade de construir mais rápido para garantir a demanda exigida, contudo obtendo novos processos construtivos com o melhor custo benefício, garantindo a qualidade requerida e segurança dos trabalhadores.

Apesar das construtoras julgarem que o concreto autoadensável tem um custo mais elevado que o concreto convencional, o estudo do concreto autoadensável é de extrema importância para as obras correntes e pré-moldadas, pois possuem tecnologia e qualidade superiores às do concreto convencional, aumentando assim a qualidade da sua estrutura.

Materiais e métodos

É de suma importância, realizar um estudo, viabilizando a otimização da dosagem do concreto autoadensável, estudando sua capacidade de resistência a compressão normal, avaliando a influência dos materiais do concreto no estado fresco e endurecido

Para a realização dos ensaios, foi necessário a seleção e caracterização dos materiais empregados na fabricação do concreto autoadensável. A escolha dos elementos, foi realizada de acordo com a necessidade para a obter o material requerido.

Para a obtenção e fabricação do concreto, foi analisado inicialmente a influência da dimensão do agregado graúdo e do seu volume, de acordo com a quantidade total de concreto, para garantir um concreto estável e com resistência adequada. Essa verificação utilizou os ensaios de espalhamento, Funil-V e caixa “L”. Com isso, será possível ajustar o teor de aditivos plastificantes para atender os requisitos de auto compactabilidade, sendo avaliados em relação à segregação e resistência a compressão.

Nessa pesquisa, foi realizado a fabricação de dois tipos de concreto autoadensável, para análise individual de cada um, considerando sua eficácia, disposição no mercado e principalmente, qual é mais viável para ser aplicado em obras.

Ensaio - Espalhamento (slumpflow)

O espalhamento é o método de ensaio mais popular para avaliação das propriedades do concreto autoadensável. Com ele, é possível obter informações de fluidez e a trabalhabilidade de preenchimento em fluxo livre em sua aplicação.

O teste de espalhamento, utiliza o mesmo aparato para realização do ensaio de abatimento do concreto convencional, realizado pelo teste cone de Abrams. A diferença deles, é a forma de aplicar o concreto na forma e na dimensão da base da chapa.

O molde deverá estar limpo e umedecido, centralizado e fixado com os pés nas aletas, após isso pode iniciar o preenchimento do mesmo.

O resultado é determinado pela média aritmética de duas medidas de diâmetro, perpendiculares. A tabela 1 e figura 2, demonstra as classes de espalhamento durante o ensaio.

Tabela 1 – Classes de espalhamento – *Slumpflow*.

Classe	Espalhamento (mm)
SF1	550 a 650
SF2	660 a 750
SF3	760 a 850

Fonte: NBR 15823-2 (2010).

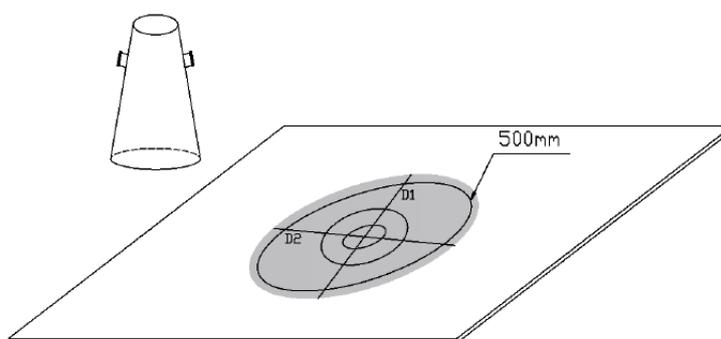


Figura 2 – Ensaio de espalhamento. **Fonte:** NBR 15823-2 (2010).

Sendo as classes SF1, SF2 e SF3, prescritas pela NBR 15823-2 (2010), levando em consideração o tipo de estrutura e armaduras a serem concretadas. Espalhamentos abaixo do limite inferior, indicam que o concreto está pouco fluido, sendo necessário uso de água ou superplastificante para fluidificar o material, já, se a medida estiver acima do limite superior, é necessário tornar o concreto mais coeso, para que não haja segregação.

Tempo de Espalhamento

Segundo Tutikian (2004), T500 (tempo de escoamento) é usado para avaliar viscosidade do concreto muito fluido. O CAA com baixa viscosidade apresenta um rápido espalhamento, porém, de curta duração. Por sua vez, o CAA com alta viscosidade se move de forma mais lenta e progressiva por um tempo mais longo.

O procedimento deste ensaio é realizado junto ao espalhamento, sendo feito um círculo de 500 mm de diâmetro centrado na base e cronômetro.

O cronômetro é acionado assim que o cone é erguido verticalmente. O resultado do T500 é o intervalo de tempo em segundos, do início ao final do escoamento do concreto, a partir do diâmetro do molde (200mm) até a marca circular (500mm) da placa base.

As classes de concreto do ensaio são VS1 e VS2, segundo NBR 15823 (2010). Concretos de classe VS1 são adequados a elementos estruturais com alta densidade de armadura, definem maior controle de exsudação e segregação, entanto, a classe VS2 é adequada para maioria das aplicações correntes, podendo apresentar efeitos negativos, com relação á superfície de acabamento, em preenchimento de cantos e demora entre sucessivas camadas

Ensaio - Funil-V

Basicamente, este ensaio é realizando preenchendo-se um funil de seções retangulares com o concreto autoadensável, aferindo- se o tempo gasto para o escoamento total da mistura. Simula uma avaliação da capacidade do concreto em passar por seções estreitas e também um indicador da viscosidade deste concreto. A relação água/cimento é diretamente proporcional ao tempo de escoamento no funil. O aumento no teor de superplastificante não gera grande influência no tempo de fluidez por este ensaio.

A resistência à segregação pode ser avaliada neste ensaio, através da repetição do processo 5 minutos após a primeira determinação, verificando se houve um acréscimo de tempo em relação a medida inicial acima de 3 segundos (EFNARC, 2002). A figura 3 demonstra o funil e suas medidas, para realização do teste.

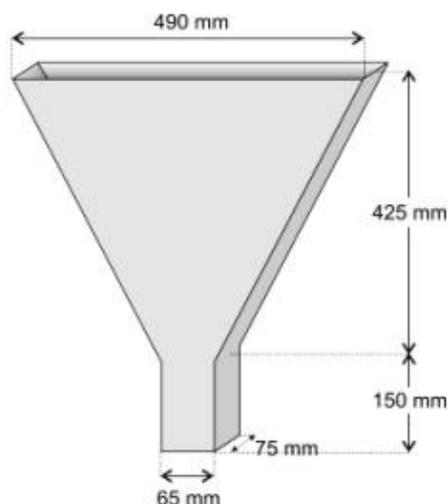


Figura 3 – Funil-V. **Fonte:** Alencar (2008)

Ensaio – Caixa “L”

A determinação final deste ensaio é testar a capacidade do concreto em passar por restrições, simulando as armaduras, bem como sua deformabilidade, resistência de bloqueio e segregação.

A parte vertical da Caixa “L” é preenchida, permitindo a passagem do material para a parte horizontal, até este escoar pelas barras verticais existentes, como ilustrado na figura 4. Também é possível medir o tempo decorrido para que o concreto atinja as distâncias de 20 e 40 cm no eixo horizontal, sendo definidos como adequados, tempos entre 1 e 2 segundos (GOMES, 2002).

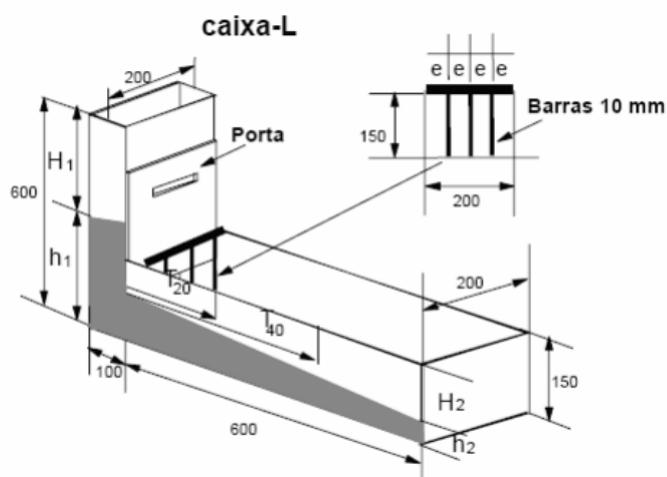


Figura 4 – Ensaio em Caixa “L”. **Fonte:** EFNARC (2002)

Ensaio de resistência a compressão

O teste de resistência do concreto foi feito pelo método do ensaio de compressão axial, demonstrados pelas fórmulas abaixo:

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2}$$

Fonte: NBR 5739 (2018)

Onde:

f_c é a resistência a compressão em (MPa)

F é a força máxima alcançada em (N)

D é o diâmetro do corpo de prova em (mm)

Após conclusão dos ensaios de ruptura, foram feitos os cálculos de resistência média alcançada pelos rompimentos dos CP's através da fórmula abaixo.

$$f_{cm} = \sum \frac{f_{c1} + f_{c2} + \dots + f_{cn}}{n}$$

Fonte: NBR 5739 (2018)

Por recomendação da norma, NBR 5739 (2018), foi feito a estatística de desempenho descrita no anexo B, partindo do desvio padrão descrita abaixo:

$$S_c = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}$$

Fonte: NBR 5739 (2018)

Onde:

f_{cm} é a média das resistências encontradas em (MPa)

f_i é o valor de cada resistência em (MPa)

n é o numero de exemplares

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

Com o desvio padrão calculado, foram feitos novamente os cálculos de f_{ck} para cada traço produzido, sendo adotado a seguinte fórmula.

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

Fonte: NBR 5739 (2018)

Onde:

f_{cm} é resistência média a compressão de concreto, em megapascal (MPa)

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

S_c é o desvio-padrão, em megapascal (MPa)

$$f_{ck} =$$

Obtido o valor da resistência média do cálculo, esse valor é aplicado nas fórmulas abaixo e encontramos os tempos de ensaio.

$$T, \text{mínimo} = \frac{f_{cm}}{0,3} =$$

$$T, \text{máximo} = \frac{f_{cm}}{0,6} =$$

Os divisores 0,3 e 0,6 são valores fixados para determinação do tempo mínimo e máximo de carregamento aplicado nos corpos de prova no momento do rompimento.

Logo em seguida foi realizado cálculos para estimativa de cada concreto, utilizando a formula abaixo:

$$S_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{d_2 \cdot n_i}$$

Fonte: NBR 5739 (2018)

Onde:

A_i é amplitude de valores de resistência em (MPa)

d_2 é o coeficiente relacionado ao número de CP's

Revista eSALENG – Revista Eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO. Vol.10, n1, 2022.

n_i é o número de exemplares da amostra

Com o valor de Se , é possível aplicar em formula para calcular valores de coeficiente de variação de ensaio (CVe), que foi encontrado na divisão dos valores Se e f_{cm} , representados na formula abaixo.

$$CVe = \frac{Se}{f_{cm}}$$

Fonte: NBR 5739 (2018)

Resultados e discussões

A execução dos ensaios iniciou-se com a seleção dos materiais. Essa etapa foi realizada com a escolha dos agregados, inicialmente foi selecionado visualmente a areia média e brita 0. Em seguida foi realizado o peneiramento da areia para obtenção da granulometria correta de acordo com a NBR 7211 (2009). Todos os materiais foram pesados de acordo com o traço estabelecido a partir dos testes, em seguida foram adicionados na betoneira onde foi realizado a mistura dos materiais.

Foi realizado o primeiro ensaio, utilizando um traço já calculado e usado por algumas construtoras da região, o qual dispensa a utilização de aditivos. Após estudar as características do aditivo hiperplastificante da linha MasterGlenium, foi possível a fabricação de um segundo traço que utiliza o aditivo que foi escolhido pelo fato de ser compatível com todos os tipos de cimento Portland, possuir uma alta taxa de redução de água, não alterar o tempo de pega do cimento, facilitar o adensamento e lançamento do concreto, permitir a redução do cimento, permitir a redução da permeabilidade e retração, fatores indispensáveis para fabricação do concreto autoadensável.

A fabricação do traço foi realizada através de testes, primeiramente utilizando o traço empírico 1:3:3, utilizado em estruturas convencionais, de acordo com a NBR 6118 (2014). Após esse processo, foi observado por meio dos testes de espalhamento e Caixa “L” que o traço precisava de alterações para se adequar nas exigências da NBR 15823 (2010) na fabricação e aplicação do concreto autoadensável. Conforme a análise, foi feita a alteração da quantidade de materiais, até alcançar resultados aceitáveis nos respectivos

testes. A tabela 2, demonstra o traço do concreto autoadensável com aditivo e do concreto autoadensável que dispensa o uso de aditivo.

Tabela 2: Traço para produção.

Descrição	Cimento(kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	Aditivo(ml)
Com aditivo	1	2,03	2,08	0,625	0
Sem aditivo	1	2,90	2,95	0,469	70

Fonte: Autor

Tempo de mistura

Conforme padrão estabelecido para mistura de materiais e capacidade total da betoneira de conforme figura 17, foi adotado uma sequência para mistura de todos os materiais, onde foram seguidos e realizados conforme a NBR 7212 (2012)

- 1º etapa: Ligar a betoneira e colocar a brita junto com metade da quantidade prescrita de água, deixando girar por um minuto.
- 2º etapa: Colocar aos poucos a quantidade de cimento determinada para a quantidade de concreto prevista.
- 3º etapa: Adicionar a areia incluindo, ao mesmo tempo, a segunda metade da quantidade de água.
- 4º etapa: Deixar girar por 3 minutos.



Figura 5- Betoneira em produção. **Fonte:** Autor

Espalhamento (slumpflow)

Realizada em uma placa de madeirite resinada com espessura de 12mm, que foi apoiada ao solo garantindo o nivelamento e realizado as marcações de 200mm de diâmetro e 500mm de diâmetro. Com o cone de Abrams apoiado no centro da chapa foi adicionado o concreto até a sua face superior, com cronometro posicionado para início do ensaio.

Foi adotado o tempo de escoamento a partir do teste de espalhamento. O tempo foi obtido iniciando o cronômetro quando o concreto atingiu 200mm de diâmetro e encerrado quando alcançou 500mm. O tempo adquirido pelos traços estão demonstrados na tabela 3.

Tabela 3: Resultados do ensaio de espalhamento

Descrição	Classe	Tempo (s)
Concreto com aditivo	VS1	1,15
Concreto sem aditivo	VS1	0,8

Fonte: Autor

Além do tempo de escoamento, é necessário a conferência do diâmetro que o concreto que o concreto espalhou, assim como na figura 6. É necessário um espalhamento maior que 600mm e até 850mm para atingir uma habilidade de preenchimento adequada durante a concretagem. Espalhamento abaixo do limite inferior, indica que o concreto está pouco fluido, sendo necessário adição de água ou aditivo para fluidificar o material. Caso a medida estiver acima do limite superior, é necessário tornar o concreto mais coeso, para que não haja segregação. A tabela 4 e figura 6 mostra os resultados obtidos a partir do ensaio.



Figura 6- Resultados do ensaio de espalhamento. **Fonte:** Autor**Tabela 4:** Resultados do ensaio de espalhamento

Descrição	Classe	Diâmetro (mm)
Concreto com aditivo	SF1	620
Concreto sem aditivo	SF1	650

Fonte: Autor

Cavalcanti (2006) realizou o ensaio de espalhamento alcançando 770mm (SF3) de diâmetro após o cone de Abrams ser levantado utilizando 0,81 segundos para atingir a marca de 500mm. Os resultados obtidos pelos dois traços do trabalho e pelo autor Cavalcanti (2006) estão de acordo com a NBR 15823-2 (2010), sendo identificado como elementos adequados para estruturas com alta densidade.

Funil - V

Para a realização do ensaio foi fabricado um funil de placa de madeirite renisada com espessura de 12mm conforme figura 7. O concreto foi adicionado com ajuda de um recipiente plástico até a face superior do funil para se realizar o ensaio conforme figura 8. O ensaio foi realizado com os dois traços de concreto autoadensável e com o cronômetro posicionado, em seguida erguido o funil -V verticalmente, foi marcado o tempo de escoamento e logo após 5 minutos foi realizado o mesmo teste para garantir que não teve acréscimo de tempo do escoamento superior a 3 segundos, com nível de aceitação de 6 a 12 segundos a medida utilizada (EFNARC, 2002).



Figura 7- Funil - V fabricado. **Fonte:** Autor**Figura 8-** Funil - V realizando ensaio. **Fonte:** Autor

Esse ensaio simula uma avaliação da capacidade do concreto em passar por seções estreitas e indicador da viscosidade do material. O resultado obtido pelos dois traços está demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 -Resultados do ensaio de funil - V

Descrição	1º ensaio (tempo s)	2º ensaio, após 5 minutos (tempo s)
Concreto com aditivo	7	9,2
Concreto sem aditivo	6,4	8,5

Fonte: Autor

Cavalcanti (2006) obteve um tempo de 10 segundos para a primeira realização do teste e após 5 minutos foi refeito o ensaio, onde obteve um acréscimo de 2 segundos, resultando em 12 segundos. Christiane Meneses (2006) também executou o ensaio do funil-V, primeiramente obteve um resultado 7 segundos e contabilizado 5 minutos para refazer o teste obteve o tempo de 12 segundos. Os dois autores atingiram o nível de aceitação do ensaio, assim como os resultados que foram alcançados e demonstrados na tabela 5.

Caixa “L”

Para a realização do ensaio foi fabricado uma caixa “L” com capacidade de 14 litros, utilizando uma placa de madeirite renisada com espessura de 12mm. Foi necessário marcar a caixa com as medidas de 20 cm e 40 cm para análise durante o ensaio. Foi inserido 5 barras com diâmetro de 8mm na parte vertical da caixa, afim de demonstrar a passagem do concreto pelas armaduras, conforme demonstrado na figura 9.



Figura 9- Caixa “L”. **Fonte:** Autor

Logo após produzir o traço, a parte vertical da caixa foi preenchida com o concreto até a sua face superior e foi acionado e encerrado o cronômetro entre as marcações para obter o resultado do teste. De acordo com Gomes (2002), o concreto deve atingir um tempo de escoamento entre 1 e 2 segundos, respectivamente nas medidas que foram citadas. Com abertura da chapa que impedia o escoamento foi possível visualizar a capacidade do concreto em ultrapassar as armaduras, assim como mostra a figura 10.



Figura 10 - Caixa “L” durante o ensaio. **Fonte:** Autor

Cavalcanti (2006) realizou o ensaio da Caixa “L” e obteve o tempo de 1,2 segundos na marca de 20cm e 2 segundos na marca de 40cm. O ensaio de Christiane Menezes (2006) obteve o tempo de 1,35 segundos na marca de 20cm e 2 segundos na marca de 40cm, podendo ser considerado resultados aceitáveis de acordo com Gomes (2002). Os resultados listados na tabela 6, permite confirmas a capacidade dos traços executados no trabalho em passar por restrições, bem como sua deformabilidade, resistência do bloqueio e resistência a segregação.

Tabela 6- Resultados do ensaio caixa “L”

Descrição	Resultado	Tempo de escoamento com 20cm (s)	Tempo de escoamento com 40cm (s)	Quantidade de concreto (l)
Concreto com aditivo	>1 e <2	1,2	1,62	14
Concreto sem aditivo	>1 e <2	1,1	1,33	14

Ensaio de resistência a compressão

O teste de resistência do concreto foi feito pelo método do ensaio de compressão axial. Os CP's foram retirados com 7, 14 e 28 dias, em seguida foi levado para realização dos ensaios no laboratório, onde foi nivelado as superfícies para que encaixe perfeitamente na máquina para realização do ensaio.

A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o CP até que o mesmo venha a romper conforme figura 11, a força exercida é dividida pela área do topo do CP em cm^2 , sendo necessário a medição de cada amostra. Não foi realizada a medição individual de cada amostra, sendo assim foi adotado a medida padrão de 100mm^2 . Foi obtido a relação da força em Newton (exercido pela máquina) por cm^2 , que para obter em MPa, aplicando as fórmulas, alcançando os resultados conforme tabela 7 e 8.

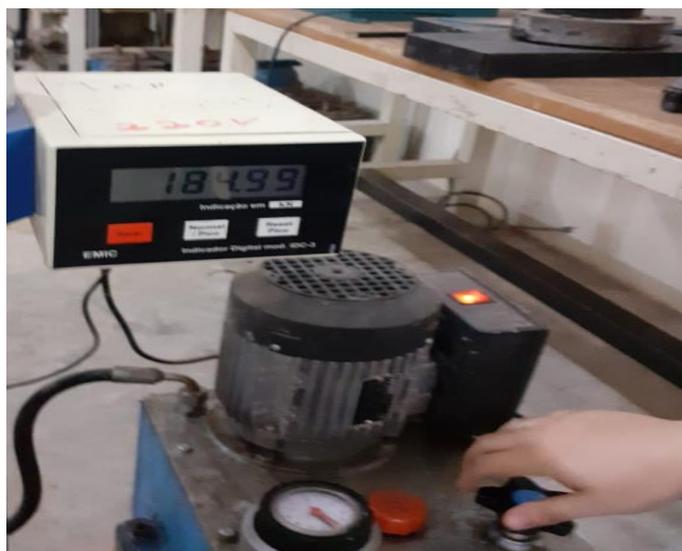


Figura 11 - Corpos de provas em ensaio. **Fonte:** Autor

Tabela 7 - Resultados do teste de compressão concreto com aditivo

Concreto	Tempo de rompimento (dias)	Carga de ruptura (N)	Resistência calculada (MPa)	Tempo de rompimento (s)	Taxa calculada (MPa/s)
Concreto com aditivo	7	154780	19,70	52	0,38
Concreto com aditivo	14	162420	20,67	65	0,32
Concreto com aditivo	28	193172	24,98	71	0,35

Fonte: Autor

Tabela 8 - Resultados do teste de compressão concreto sem aditivo

Concreto	Tempo de rompimento (dias)	Carga de ruptura (N)	Resistência calculada (MPa)	Tempo de rompimento (s)	Taxa calculada (MPa/s)
----------	----------------------------	----------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

Concreto sem aditivo	7	17630	22,45	65	0,34
Concreto sem aditivo	14	18199	23,17	61	0,38
Concreto sem aditivo	28	18983	24,16	63	0,38

Fonte: Autor

Após conclusão dos ensaios de ruptura, foram feitos os cálculos de resistência média alcançada pelos rompimentos dos CP's, já mencionados na tabela 7 do concreto com aditivo, e na tabela 8 com concreto sem aditivo. Para análise das amostras, foram executados 2 traços diferentes de concreto, sendo assim, foi realizado os cálculos individualmente de acordo com a NBR 5739 (2018). É permitido obter uma taxa de até 0,40MPa/s durante o rompimento de cada amostra.

Amostras após o 28 dia de cura

1) Concreto com aditivo

$$f_{cm} = \frac{(19,70+20,67+24,98)}{3} = 21,78 \text{ (MPa)}$$

2) Concreto sem aditivo

$$f_{cm} = \frac{(22,45+23,17+24,16)}{3} = 23,26 \text{ (MPa)}$$

Por recomendação da norma, NBR 5739 (2018), foi feito a estatística de desempenho descrita no anexo B, partindo do desvio padrão de cada traço.

1) Concreto com aditivo

$$S_c = \sqrt{\frac{(0,28 + 0,33 + 0,4)}{3}} = 0,37 \text{ MPa}$$

2) Concreto sem aditivo

$$S_c = \sqrt{\frac{(0,32 + 0,33 + 0,35)}{3}} = 0,33 \text{ MPa}$$

O desvio padrão depende de variáveis estabelecidas pela NBR 5739 (2018).

A condição aplicável a todas classes de concreto, os agregados e o cimento e medido em massa, sendo que, a água de amassamento medido em volume.

Com o desvio padrão calculado, foram feitos novamente os cálculos de f_{ck} para cada traço produzido de acordo com a NBR 5739 (2018).

1) Concreto com aditivo

$$f_{ck, est} = 21,78 - 1,65 \cdot 0,37 = 21,17 \text{ MPa}$$

$$f_{ck, est} = 21,17 > 20 \text{ MPa}$$

2) Concreto sem aditivo

$$f_{ck, est} = 23,26 - 1,65 \cdot 0,33 = 22,71 \text{ MPa}$$

$$f_{ck, est} = 22,71 > 20 \text{ MPa}$$

Os valores do coeficiente d2 pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9 – Coeficiente d2

Quantidade de corpos de prova	Coeficiente d2
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534

Fonte: NBR 5739 (2018)

Logo em seguida foi realizado cálculos para estimativa de cada concreto, utilizando a fórmula da NBR 5739 (2018).

Concreto com aditivo

$$S_e = \frac{(24,98 - 19,70)}{3 \cdot 1,693} = 1,039 \text{ MPa}$$

Concreto sem aditivo

$$S_e = \frac{(24,16 - 22,45)}{3 \cdot 1,693} = 0,34 \text{ MPa}$$

Com o valor de S_e , é possível aplicar em fórmula para calcular valores de coeficiente de variação de ensaio (CVe), que foi encontrado na divisão dos valores S_e e f_{cm} , de acordo com a NBR 5739 (2018).

Concreto com aditivo

$$CVe = \frac{1,039}{20,93} = 0,049 \times 100 = 4,9\% > 5\%$$

Concreto sem aditivo

$$CVe = \frac{0,34}{23,26} = 0,01 \times 100 = 1\% \leq 3\%$$

Desse modo, os dois concretos que foram analisados, o valor dos coeficientes de variação encontrado é 4,9% para o concreto com aditivo, sendo avaliado como nível de variação bom, de acordo com NBR 5739 (2018) e o concreto sem aditivo obteve um nível de variação de 1%, considerado excelente. Analisando também os outros coeficientes, observa-se que os 2 concretos estão de acordo com a norma NBR 5739 (2018).

Com o valor de CVe , podem ser comparados na Tabela 10 que é fornecida em anexo da norma e determina os níveis de análises.

Tabela 10– Coeficiente de variação **Fonte:** NBR 5739 (2018)

Coeficiente de variação (cve) %				
Nível 1 (excelente)	Nível 2 (muito bom)	Nível 3 (bom)	Nível 4 (razoável)	Nível 5 (deficiente)
$cve \leq 3,0$	$3,0 < cve \leq 4,0$	$4,0 < cve \leq 5,0$	$5,0 < cve \leq 6,0$	$cve > 6,0$

Rompimento dos corpos de prova

Com os corpos de prova rompidos, foi possível detectar quais tipos de fissuras os traços foram submetidos. Nessa etapa foi possível observar que ambos obtiveram ruptura por esmagamento, causadas pela falta de adensamento quando o concreto foi lançado nos CP's.

O gráfico 1 possibilita a comparação da variação do ganho de resistência à compressão axial do concreto com uso de aditivo, concreto sem uso de aditivo e concreto ensaiado Tutikian (2004).

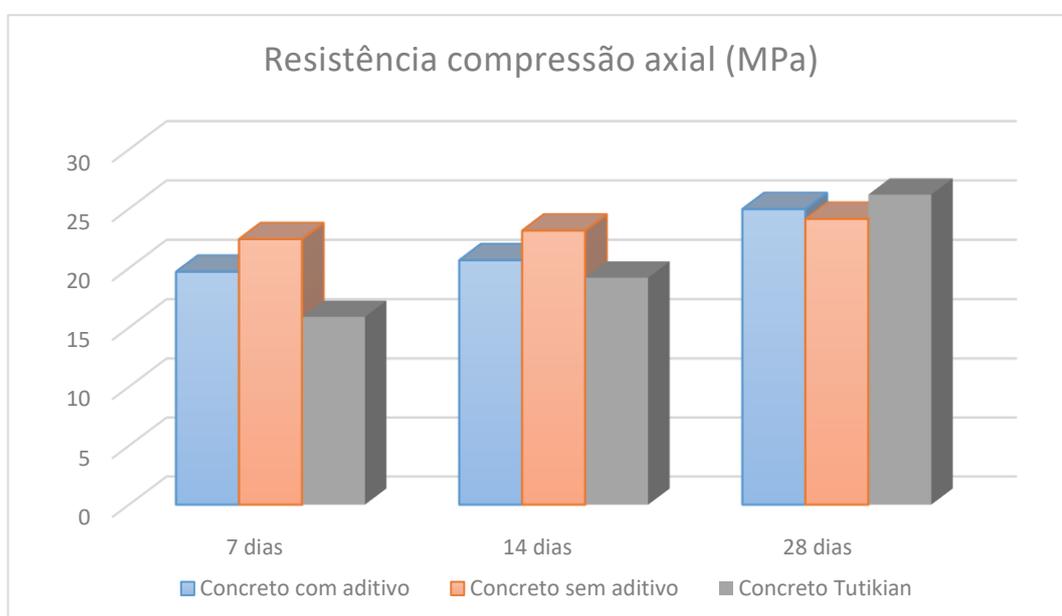


Gráfico 1 – Comparação do ganho de resistência com Tutikian (2004).

Fonte: Autor

Com os corpos de prova rompidos, foi possível detectar quais tipos de fissuras os traços foram submetidos. Nessa etapa foi possível observar que ambos obtiveram ruptura por esmagamento, causadas pela falta de adensamento quando o concreto foi lançado nos CP's. A falta de adensamento dos componentes do concreto, causa a segregação dos agregados, tornando a seção do centro ou seção inferior da amostra mais resistente que a superior, resultando em fissurações nas extremidades da mesma. A figura 12 permite observar a ruptura do concreto que utiliza aditivo plastificante e a figura 13 do concreto que dispensa o uso de aditivo.



Figura 12 – Ruptura causada por esmagamento. **Fonte:** Autor



Figura 13 – Ruptura causada por esmagamento. **Fonte:** Autor

Esse resultado implicou na resistência do traço, pois se a etapa do adensamento do concreto nos corpos de prova fosse realizada com êxito, evitaria a segregação de seus componentes possibilitando a obtenção de uma maior resistência a cargas de compressão. A resistência a segregação está relacionada com a carga que a amostra suporta até seu rompimento.

Conclusão

Na análise em relação aos dois traços de concreto ensaiado, foi possível identificar que ambos apresentaram todos os requisitos do autoadensável. Também foi observado a semelhança entre as resistências adquiridas no 28º dia de idade de cura dos concretos, onde o concreto com aditivo e menor teor de cimento alcançou

a resistência à compressão axial de 24,98 Mpa e o concreto sem aditivo e com maior teor de cimento alcançou 24,16 Mpa.

Com isso é possível afirmar que mesmo possuindo uma quantidade inferior de cimento, o qual garante a resistência do concreto, não resultou em um material menos resistente. A diferença é que o concreto sem aditivo possui uma pega acelerada, devido seu alto teor de aglomerantes (cimento), resultando em um material com alta resistência inicial.

O concreto que é caracterizado pelo uso de aditivo obteve resultados mais favoráveis nos demais ensaios que foram realizados apesar de possuir um coeficiente de variação maior, pois foi possível identificar visualmente que o traço citado permitiu que o concreto resultasse em um material mais fluído, homogêneo, coeso e com melhor desempenho em relação a trabalhabilidade.

Foi observado que o risco de segregação dos materiais compostos foi reduzido. Além disso, possibilitou a economia durante sua fabricação devido a redução da utilização de aglomerantes no traço, o qual analisado em grande escala, torna-se mais viável o uso do aditivo é capaz de substituir a necessidade de utilizar uma quantidade elevada de cimento.

Referências Bibliográficas

ALENCAR, R. S. A. **Dosagem do concreto autoadensável: produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-19092008-161938/ptbr.php>, acesso em 20 mai 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p. Acesso em 13 de junho de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p. Acesso em 16 de maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7211**: Agregado no estado solto. Rio de Janeiro, 1982. 11 p. Acesso em 22 de agosto de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010. 11 p. Acesso em 19 de abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de Abrams. Rio de Janeiro, 2017. 5 p. Acesso em 19 de abril de 2019

BASF. Sistema de concreto autoadensável. **Master Builders Solutions**, [s. l.], ed. 3, p. 4-8, 2018. Disponível em: <https://www.master-builders-solutions.basf.com.br/>. Acesso em: 1 mar. 2019.

CAVALCANTI, Diogo. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável e sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/.pdf>. Acesso em: 3 de maio de 2019.

COPPOLA, L. **Reologia e proporções do concreto autoadensável**. Indústria Italiana do Cimento, v. 71, p. 56-64. 2001.

EFNARC. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **Especificações para concreto autoadensável**, Reino Unido, p. 12-21, 2002. Disponível em: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.PDF>. Acesso em: 4 ago. 2019

GOMES, P. C. C. **Otimização e caracterização do concreto autoadensável**, 2002. 139p. Tese (Doutorado), – Universidade Politécnica da Catalúnia, Barcelona, Espanha, 2002.

KHAYAT, K. H. **Teste e performance de auto consolidação do concreto**. *Jornal ACI Materiais*, v. 94, n. 4, p. 346-353, 12 out. 1999.

KHAYAT, K. H. **Otimização e performance do concreto autoadensável**. *Jornal ACI Materiais*, v. 97, n. 4, p. 526-535, 4 fev. 2000.

MENEZES, C. M. **Concreto autoadensável utilizando metacaulim e pó de pedra como adições minerais**. 2006. 121p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5596/1/arquivo6222_1.pdf. Acesso em: 22 de setembro de 2019.

NUNES, S. C. B. **BetãoAuto-compactável: Tecnologia e Propriedades**. Pós-Graduação em Estruturas de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia do porto, Porto, 2001, p.198.

OKAMURA, H. **Auto compactação do concreto**. *Concreto Internacional*, v.19, p. 50-54, 1997.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos autoadensáveis**. 2004. 230p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf>. Acesso em 09 de julho de 2019.

A relevância do cálculo do BDI na composição do preço das obras na construção civil

The relevance of the BDI calculation in the price composition of construction works

Reicton Rilder Guerino¹

Giuliano Mikael Tonelo Pincerato²

RESUMO

O orçamento é uma etapa muito importante para qualquer tipo de construção, independentemente do seu porte. Por isso as construtoras, incorporadores e empresas de construção civil, necessitam de um profissional que seja capaz de organizar, elaborar orçamentos, planejar os custos de um determinado empreendimento gerindo o caixa de forma correta. Dois componentes determinam o preço final de uma obra: os custos diretos, que são determinados em função das especificações dos materiais e das normas de execução dos serviços constantes nos projetos, nos memoriais descritivos e no caderno de encargos, e o BDI, que engloba todas as despesas indiretas e o lucro das construtoras devendo ser calculado de maneira cautelosa, pois um erro pode acarretar grandes prejuízos às empresas. Este trabalho visa demonstrar a importância do cálculo e aplicação correta da taxa BDI nos orçamentos, além de analisar o nível de conhecimento dos agentes responsáveis por algumas construtoras e também de profissionais liberais que participam de obras públicas, independente do tipo e porte delas. As empresas e profissionais são das cidades de Araçatuba e Birigui no Estado de São Paulo. A realização deste trabalho foi baseada na elaboração e aplicação de um questionário com 17 perguntas, na forma de entrevista com respostas pré-definidas para que não houvesse uma ampla divergência nos resultados, o que dificultaria a análise dos dados obtidos. As entrevistas foram realizadas com 20 empresas e profissionais liberais das referidas cidades entre os dias 15/09/2019 a 15/10/2019. Como resultado pode-se evidenciar que todas as empresas têm conhecimento sobre os conceitos do BDI e seu grau de importância para a elaboração dos seus orçamentos. Também ficou claro que os órgãos públicos pecam com a má elaboração dos anteprojetos e projetos a serem licitados, o que prejudica as empresas na composição correta do BDI bem como no resultado final dos orçamentos apresentados. Além disso, pode-se constatar que as taxas e impostos foram apontados por todos os entrevistados como sendo um dos principais fatores que influenciam no valor final do BDI. Outros aspectos que também influenciam nos cálculos são os seguros, os riscos, as despesas financeiras, a administração central, a localização e o porte da obra, o faturamento e a saúde financeira da empresa, bem como o prazo de execução das mesmas. As empresas também apontaram que a margem de lucro e o percentual do BDI apresentados pelos órgãos controladores estão próximos dos valores operados por eles, mesmo que para isso não haja normas apenas sugestões. Por fim a grande maioria dos entrevistados acredita que se houvesse uma normatização da forma de calcular do BDI, talvez fosse possível diminuir a dificuldade na hora de executar tais procedimentos bem como equalizar as chances de todos os participantes dos processos licitatórios.

Palavras-chave: BDI, orçamento, composição de cálculo, preço de venda.

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

² Mestre em Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - Araçatuba/SP. Orientador de Estágio Supervisionado em Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium - Araçatuba-SP.

Revista eSALENG – Revista Eletrônica das Engenharias do UniSALESIANO. Vol.10, n1, 2022.

ABSTRACT

Budget is a very important step for any type of building, reducing its size. Therefore, as builders, developers and construction companies, professional users who can organize, budget, plan the costs of a particular project generating or cash correctly. Two components determine the final price of a work: the direct costs, which are defined according to the material specifications and the standards of execution of the services contained in the projects, the description sheets and the specifications, and the BDI, which includes all indirect expenses and the profit of construction companies, and should be calculated with caution, as an error can cause large losses to companies. This paper aims to demonstrate the importance of calculating and correctly applying BDI taxes in budgets, as well as analyzing the level of knowledge of agents responsible for some builders and also professionals who perform public works, regardless of their type and size. The companies and professionals are the cities of Araçatuba and Birigui in the state of São Paulo. The accomplishment of this work was used in the elaboration and application of a questionnaire with 17 questions, in the form of interviews with pre-applied answers so that there was not a wide divergence in the results, or that hinders the analysis of the used data. The interviews were conducted with 20 companies and professionals from the cities between 15/09/2019 and 15/10/2019. As a result it can be evidenced that all companies have knowledge about the BDI concepts and their degree of importance for the preparation of their budgets. It was also clear that the public agencies sin with the poor elaboration of the preliminary projects and projects to be bid, which damages the companies in the correct composition of BDI as well as in the final result of the presented budgets. In addition, it can be seen that the rates and taxes were pointed by all respondents as one of the main factors that influence the final value of BDI. Other aspects that also influence the calculations are the insurance, the risks, the financial expenses, the central administration, the location and the size of the work, the invoicing and the financial health of the company, as well as the execution period. The companies also pointed out that the profit margin and the percentage of BDI presented by the controlling agencies are close to the values operated by them, even if there are no rules just suggestions. Finally, the vast majority of respondents believe that if there was a standardization of the BDI method of calculation, it might be possible to reduce the difficulty in performing such procedures and to equalize the chances of all participants in the bidding process.

Keywords: BDI, budget, calculation composition, selling price.

Introdução

A construção civil é responsável por uma grande parcela da contratação de mão de obra no Brasil. De acordo com Andretta (2019), a construção civil teve um crescimento de 2% em relação ao mesmo período do ano passado, motivado pela recuperação da construção imobiliária e pelo consumo familiar de materiais de construção, devido ao controle da inflação.

Com toda essa perspectiva é preocupante, ainda nos dias de hoje, o número de obras públicas paradas, por falta de recursos, seja pelo descontrole dos governantes ou pelo erro grave cometido na confecção dos projetos e orçamentos. De acordo com Mattos (2006), as empresas costumam utilizar valores de obras concluídas para fazer novos orçamentos, apresentam valores totalmente fora da realidade em licitações. Até mesmo no setor privado, por vezes, os orçamentos não são feitos de maneira analítica e detalhada, o que pode levar a um erro grosseiro no valor inicialmente estimado para a conclusão da obra.

Segundo Dias (2008), as escolas de engenharia graduam os alunos de forma ampla, técnica, porém, sem se aprofundar e nem se preocupar com algumas especialidades, como por exemplo, a orçamentação.

Há diferentes formas de se calcular um orçamento, desde as mais simples e manuais até as mais sofisticadas elaboradas com o auxílio de programas computacionais, o importante é o produto final, o preço unitário ou global do serviço.

De acordo com Martins; Rocha (2010), fazer simulações de métodos construtivos diferentes, de custos, de equipamentos e alternativas para diminuir os custos na execução da obra pode ser um diferencial na hora ganhar ou perder uma concorrência. Um bom orçamentista deve ter certo grau de experiência e conhecimento sobre como executar os serviços, caso contrário, se faz necessário trabalhar sempre em equipe, buscando um *feedback* de coordenadores ou de engenheiros com experiência em campo.

Os documentos necessários para a confecção do orçamento são além dos projetos executivos de toda obra com todos seus elementos, o memorial descritivo, sua definição, e os critérios de medição.

Para Mattos (2006), a orçamentação é uma das principais áreas no negócio da construção. Um bom orçamentista deve conhecer detalhes do serviço, pois deve interpretar os desenhos, planos e especificações de uma obra, para estabelecer a melhor maneira de realizar cada tarefa dentro de uma obra, identificar as dificuldades de cada serviço e conseqüentemente seus custos de execução.

Alguns parâmetros não podem ser determinados com exatidão, como as intempéries do tempo, condições do solo, disponibilidade de materiais, flutuações na produtividade dos operários e paralisações entre outros.

O orçamento para a execução de obra e serviços na construção civil é composto pela quantificação dos serviços e formação dos preços dos serviços: coeficientes de produtividade, materiais, equipamentos, mão de obra, leis sociais, e pelo BDI.

É exatamente neste último quesito, que os órgãos públicos, as empresas construtoras, empresas de engenharia consultiva e os profissionais da área de engenharia, seja por desconhecimento da boa técnica da engenharia de custos, pela ausência de normas técnicas, pela falta de matéria adequada na graduação de engenharia e arquitetura ou pela literatura insuficiente sobre o tema, acabam por utilizar o conceito de BDI de maneira errada (DIAS, 2008).

No campo profissional de uma construção há muitas variáveis implícitas no cálculo de formação de preços, principalmente no preço de venda, dentre elas estão leis e tributos obrigatórios que devem ser inseridos no cálculo final.

Segundo Dias (2008) os tributos são os grandes “mistérios” que fazem parte do complexo BDI, este foi retirado do cálculo do orçamento das obras e minimizado pelos administradores públicos, que por falta de conhecimento técnico no campo da engenharia, faz com que eles não entendem sua real contribuição. O resultado disso são os preços baixos aplicados em concorrências, e conseqüentemente a má qualidade na realização das construções, bem como o prejuízo ao erário público ou privado.

Dias (2008) ainda destaca que o percentual do BDI tem que ser calculado de maneira técnica e de acordo com o que determina a engenharia de custos, da mesma forma para os órgãos públicos contratantes de serviços de engenharia, mesmo que para estes exista como referência a Lei Nº 8.666/1993, lei das licitações públicas, que admite fixar o percentual de BDI, desde que seguindo as técnicas da engenharia de custos.

Para Freires; Pamplona (2005) as empresas ao realizar um orçamento são reféns da concorrência. Muitos agem por impulso acompanhando o movimento do mercado e ajustam seus preços de acordo com ações de concorrentes. Desta forma a empresa pode estar se baseando nos custos da concorrência e não nos seus, ou ainda estar trabalhando com preços defasados, o que a leva a resultados inesperados.

A concorrência acirrada cega, o que pode provocar a corrosão da cadeia como um todo. Evidentemente, o empresário não pode cometer o erro de desprezar a concorrência, acreditar que outras empresas não são capazes de trabalhar da mesma forma, ou melhor, do que ele. Muitos são pegos de surpresa e quando percebem não há como salvar a situação. A concorrência pode ser sadia, desde que as empresas não se acomodem.

De acordo com Freires; Pamplona (2005) não se deve aplicar um BDI médio para todos os serviços, pois isso pode acarretar prejuízos e até mesmo perda de mercado, uma vez que a maioria das empresas que trabalham dessa forma não olha a flexibilidade de cada produto ou cliente, ficando à margem do que pode ser explorado. Como consequência, não há a homogeneização das margens, isto é, um serviço sai muito caro outro muito barato e de uma forma geral ocorrem perdas. É preciso conhecer detalhadamente o que o mercado está disposto a pagar e quais são realmente os custos relativos ao tipo de serviço ou cliente.

Exatamente pelo fato do BDI não poder ser equalizado, é que ocorrem os maiores erros em sua aplicação, devido ao fato dele ser um percentual a ser aplicado ao custo direto durante a orçamentação das obras.

Materiais e métodos

Para a elaboração deste trabalho, foram consultados livros de autores renomados sobre o assunto, como Maçahico Tisaka e Paulo Roberto Vilela Dias entre outros, algumas leis relacionadas ao assunto, além de publicações do IBEC e do TCU, a fim de se obter um embasamento teórico de relevância sobre o tema BDI e a maneira de como calculá-lo.

Também foi elaborado um questionário contendo 17 perguntas com respostas pré-definidas sobre o tema, o travamento das respostas se fez necessário para que houvesse a possibilidade de analisar os dados obtidos com a redução de uma provável disparidade das mesmas. Todas as questões foram retiradas de assuntos abordados dentro deste trabalho, com isso, as referências bibliográficas também são as mesmas. O quadro abaixo apresenta os itens de referência ligados às perguntas, dentro do trabalho científico, bem como o objetivo a ser alcançado com tal questionamento.

Questão	Objetivo	Bibliografia	Item da Referência Bibliográfica
1	Avaliar a importância do BDI calculado para cada obra.	DIAS, 2011	4.1
2	Avaliar o conhecimento dos calculistas quanto aos itens que dever ser computados nos cálculos.	MATTOS, 2006 DIAS, 2011 TISAKA, 2011	4.2.1 - 4.2.2 - 4.2.3 - 4.3
3	Analisar quanto os impostos interferem no valor final do BDI.	MATTOS, 2006 DIAS, 2017 TISAKA, 2011	4.3.1 - 4.3.3
4	Analisar a opinião dos empresários quanto à recomendação do TCU referente ao lucro.	TCU Acórdão nº 2369-2011	4.4
5	Verificar o percentual médio de lucro adotado pelas empresas.	DIAS, 2017 TISAKA, 2011	4.3.5
6	Verificar a fórmula do BDI adotada pelas empresas.	TCU Acórdão nº 2369-2011 DIAS, 2017	4.4 - 4.5
7	Verificar o BDI médio adotado pelas empresas.	TCU Acórdão nº 2369-2011	4.4
8	Analisar o de detalhamento do orçamento apresentado pelos órgãos públicos.	Lei 8666/93 DIAS, 2010 MATTOS, 2006	4.1 - 4.2 - 4.3
9	Analisar o de detalhamento do anteprojeto apresentado pelos órgãos públicos.	Lei 8666/93 DIAS, 2010 MATTOS, 2006	4.1 - 4.2 - 4.3
10	Verificar se o BDI de referência, apresentado nas licitações, está próximo da realidade das empresas.	TCU Acórdão nº 2369-2011	4.4
11	verificar quanto ao	DIAS, 2011	

	faturamento da empresa interfere no calculo do BDI.		4.3.2 – 4.7
Continuação...			
12	Verificar quanto saúde financeira da empresa interfere no calculo do BDI	DIAS, 2011	4.3.2 – 4.7
13	Verificar quanto tipo e o porte da obra interferem no calculo do BDI	DIAS, 2011 MATTOS, 2006 TISAKA, 2006	4.2 – 4.2.1 – 4.2.2 – 4.2.3
14	Verificar quanto à localização da obra interfere no cálculo do BDI	DIAS, 2011 TISAKA, 2006	4.2 – 4.2.1 – 4.2.2 – 4.2.3
15	Verificar quanto o prazo de execução da obra interfere no calculo do BDI	DIAS, 2011 TISAKA, 2006	4.3.4
16	Verificar a importância do cálculo do BDI para as empresas	DIAS, 2008 TISAKA, 2006	1
17	Avaliar o grau de dificuldade das empresas em calcular o BDI devido à falta de normatização	TISAKA, 2006 DIAS, 2008 MATTOS, 2006 LEI 8666/93	3

Foram selecionadas algumas construtoras e engenheiros civis autônomos, que atuam em diversos setores da construção civil das cidades de Araçatuba e Birigui no estado de São Paulo, para aplicação do questionário na forma de entrevista. As perguntas podem ser verificadas na íntegra no apêndice A do TCC.

Em nenhum momento foram mencionados ou divulgados os nomes das empresas ou responsáveis por elas e nem mesmo dos profissionais liberais que participaram do trabalho a fim de proteger suas opiniões e metodologias profissionais.

As entrevistas foram realizadas de 15/09/2019 a 15/10/2019 em seguida foi feito o levantamento e análise dos dados obtidos para discussão e conclusão deste trabalho.

Resultados e discussões

De acordo com as entrevistas pode-se evidenciar que 80% das empresas consideram a importância do BDI no ato da confecção dos seus orçamentos, como esclarecido por Dias (2017), e apenas 20% compreende a importância, porém, afirmam este não ser o principal ponto a ser abordado.

Com relação ao cálculo do BDI, 65% dos entrevistados concordam com Dias (2008), que afirma que o BDI deve ser calculado obra a obra. Porém na prática, esses valores são assumidos com base em obras anteriores de padrão similar, o que pode

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

trazer prejuízos aos construtores e até mesmo comprometer o prazo de execução da obra e até mesmo a falta de verbas para sua execução completa dela.

Todos os entrevistados afirmaram utilizar a fórmula informada pelo TCU segundo acórdão nº 2622/2013, quando se referem a obras públicas, pois ela não contempla a margem de comercialização. Porém quando são obras particulares, a formulação é outra.

Apenas 53% das empresas entrevistadas, disseram que o percentual do lucro proposto pelo TCU no acórdão 2622/2013, que varia de 6% a 9%, é aceitável para obras realizadas na região. Apenas 16% conseguem atuar com valores da ordem de 10% a 20, como mostrado no gráfico 1 abaixo.

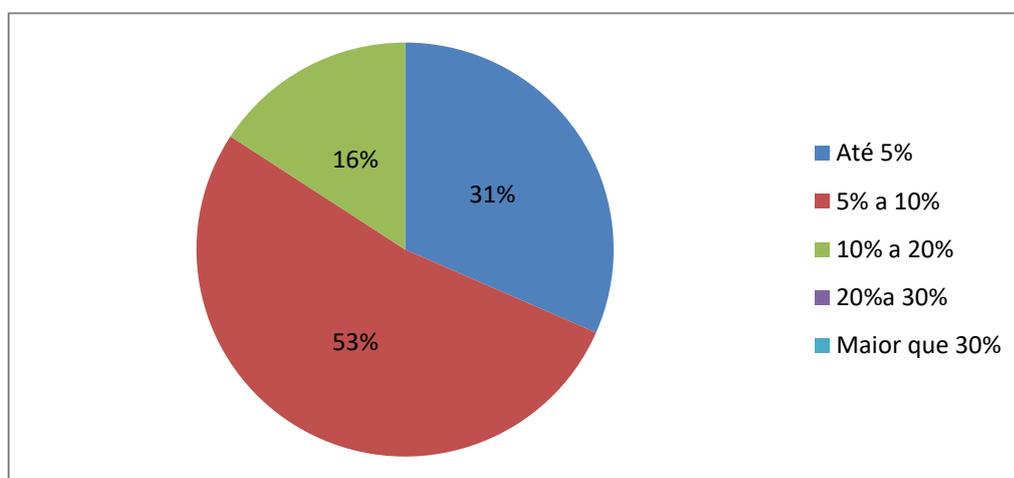


Gráfico – 1: Lucro da Empresas
Fonte: Autor

O BDI médio utilizado também segue o proposto pelo TCU, que varia de 20% a 25%, pois 60% das empresas utilizam uma taxa que varia de 20% a 30%. Outros 15% trabalham com percentuais superiores e nenhuma delas trabalha com esse percentual abaixo dos 10%, como demonstra o gráfico 2.

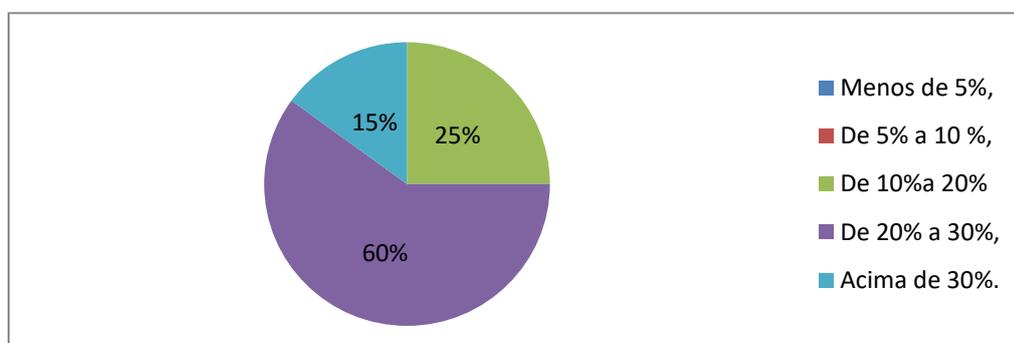


Gráfico – 2: BDI Médio

Das empresas entrevistadas, 85% concordam que o percentual do BDI proposto pelos órgãos públicos se aproxima dos valores calculados por elas. Outros 15% alegam que o valor fica abaixo do calculado.

De acordo com Tisaka (2006) alguns itens devem ser contabilizados quanto ao cálculo do BDI. Com o intuito de avaliar os conhecimentos referentes ao assunto, foram incluídos dois itens, mobilização e desmobilização e mão de obra, que são custos diretos. Desta forma, foram questionados quais valores são computados como despesas indiretas. Todas as empresas definiram a presença das despesas financeiras, da administração central, dos impostos, seguros e riscos. Quanto à mão de obra e a mobilização e desmobilização, ficaram de fora, corretamente, como mostra o gráfico 3.

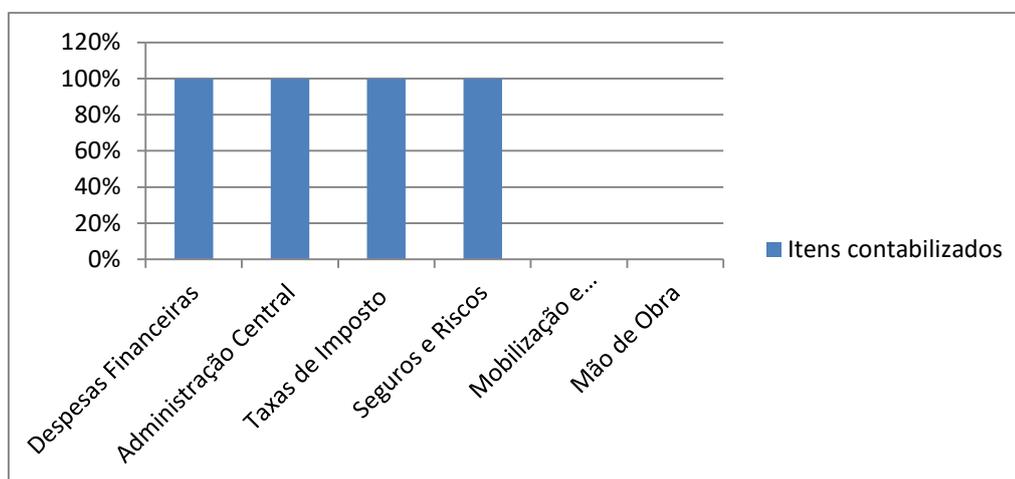


Gráfico – 3: Itens contabilizados

Fonte: Autor

Também foram questionados itens que interferem na composição do BDI, 100% dos entrevistados apontaram que as taxas referentes aos impostos interferem muito no cálculo. O gráfico 4 demonstra que 70% das empresas afirmaram que os seguros, riscos e imprevistos interferem pouco, apenas 30% disseram que interferem razoavelmente. As despesas financeiras interferem pouco para 40% dos entrevistados, já 60% afirmaram que interfere razoavelmente. A administração central foi apontada por 80% das empresas por interferir muito e apenas 20% disseram que ela interfere razoavelmente, também o faturamento foi apontado por 65% empresas por interferirem muito no

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

cálculo do BDI, pois quanto maior for o faturamento da empresa menor será o rateio da administração central, e apenas 35% disseram que interfere razoavelmente.

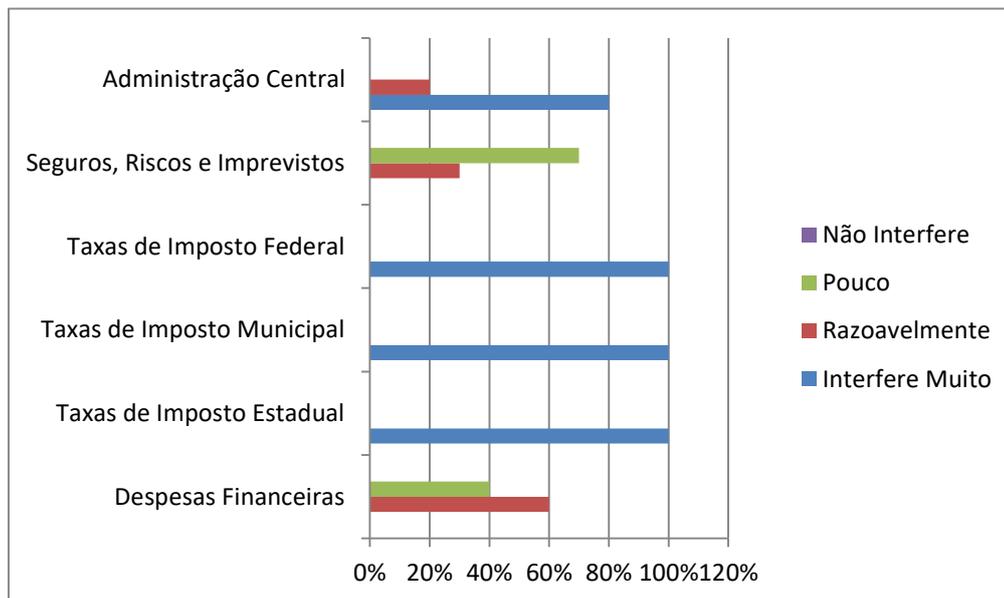


Gráfico – 4: Taxas que interferem na variação do BDI

Fonte: Autor

Da mesma forma a saúde financeira da empresa foi citada por 40% das empresas por interferir muito, pois quando necessário, a aquisição de empréstimos para executar a obra, estes devem ser repassados aos custos. Porém 60% das empresas disseram ser razoável a interferência desse elemento.

De acordo com Tisaka (2006) o tipo e o porte da obra também podem apresentar interferências no cálculo do BDI, porém, de acordo com o gráfico 5, apenas 20% das empresas disseram interferir muito, a grande maioria 60%, disseram que interfere pouco.

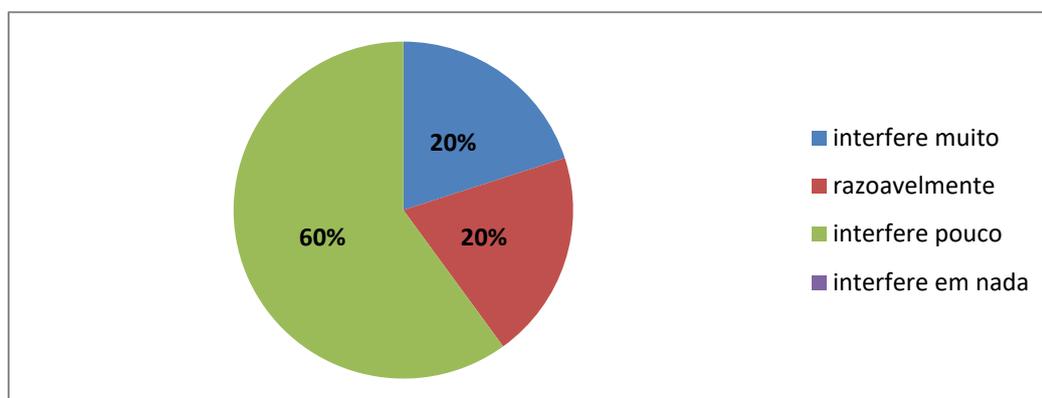


Gráfico – 5: Tipo e Porte da Obra

Fonte: Autor

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

Ainda Tisaka (2006) diz que a localização da obra também pode interferir no cálculo do BDI, porém apenas 20% das empresas alega que este item interfere muito, a maioria 45% diz que interfere pouco, vide gráfico 6.

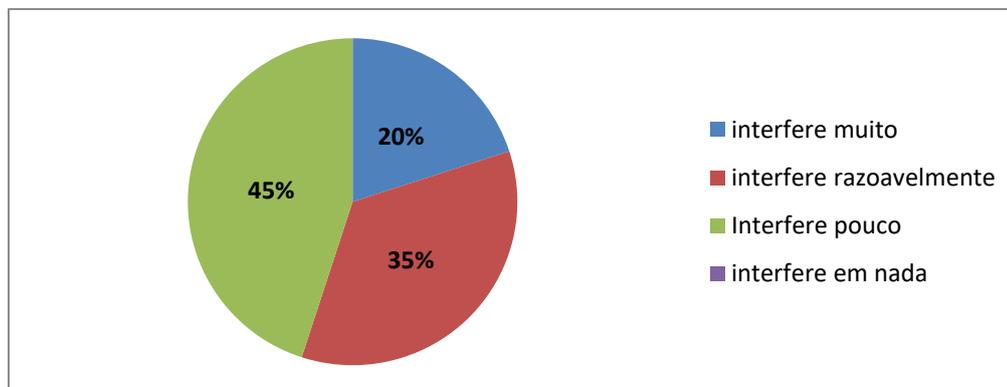


Gráfico -6: Localização da Obra
Fonte: Autor

O prazo de execução da obra foi citado por 65% das empresas por interferir pouco, contudo Tisaka (2006) diz que o atraso no prazo de execução das obras pode gerar imprevistos que não estavam constantes nas planilhas orçamentárias. Apenas 30% disseram que esse atraso interfere razoavelmente nos custos.

O gráfico 7 mostra que das empresas que participam de licitações, 60% informaram que o anteprojeto elaborado é regular e 40% indica que este é mal elaborado, o que pode trazer grandes transtornos a todos visto que posteriormente podem ser necessários aditivos contratuais, o que pode acarretar atrasos nas obras além de dificultar a fiscalização no que se refere à idoneidade da execução da obra.

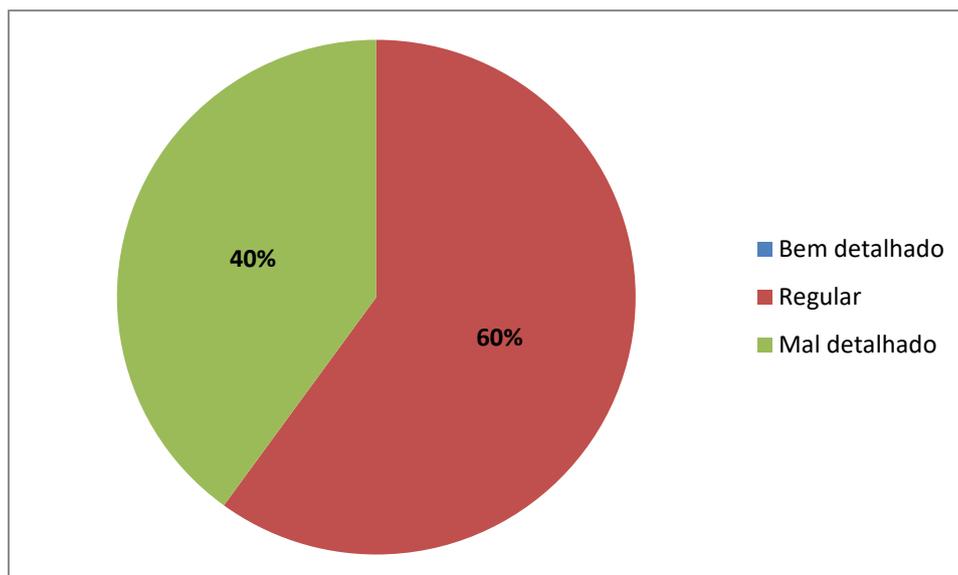


Gráfico – 7: Detalhamento do Anteprojeto
Fonte: Autor

Da mesma forma o gráfico 8 mostra que outro fator também apontado por 70% das empresas e avaliado como mal elaborado, foi o nível de detalhamento dos orçamentos, tal elemento pode induzir as empresas participantes das licitações a cometerem erros ao apresentarem suas propostas, da mesma forma que o anteprojeto.

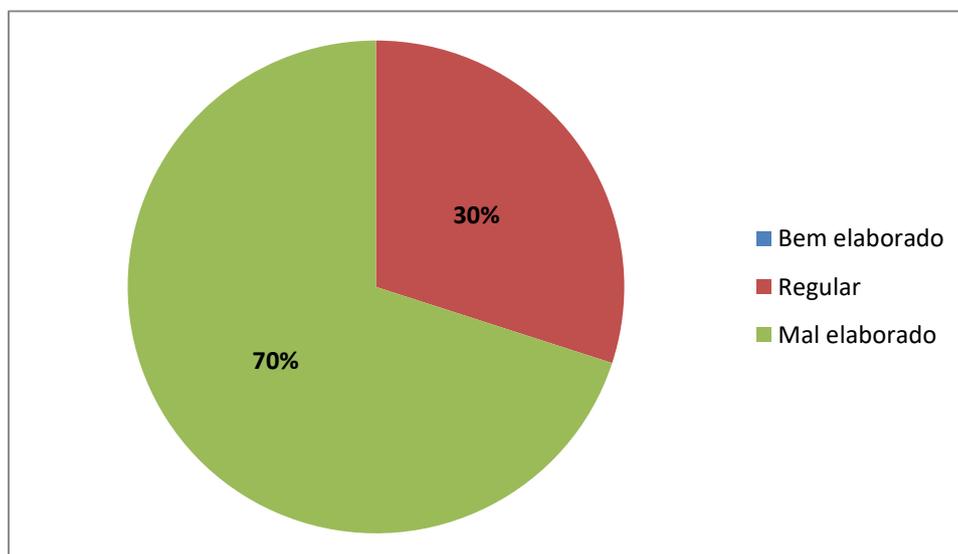


Gráfico – 8: Detalhamento do Orçamento
Fonte: Autor

Como não há uma norma que regulamente a formulação para o cálculo do BDI, existem apenas sugestões como é o caso do acórdão 2622/2013 do TCU e das literaturas do IBEC. A grande maioria das empresas, 80%, acredita que seria bom se houvesse tal regulamentação, o que poderia reduzir uma provável margem de erros e talvez uma melhor equalização dos valores.

Conclusões

Como resultado pode-se evidenciar que todas as empresas têm conhecimento sobre os conceitos do BDI e seu grau de importância para a elaboração dos seus orçamentos. Também ficou claro que os órgãos públicos pecam com a má elaboração dos anteprojetos e projetos a serem licitados, o que prejudica as empresas na composição correta do BDI bem como no resultado final dos orçamentos apresentados. Além disso, pode-se constatar que as taxas e impostos foram apontados por todos os entrevistados como sendo um dos principais fatores que influenciam no valor final do BDI. Outros aspectos que também influenciam nos cálculos são os seguros, os riscos, as despesas financeiras, a administração central, a localização e o porte da obra, o faturamento e a saúde financeira da empresa, bem como o prazo de execução das mesmas. As empresas também apontaram que a margem de lucro e o percentual do BDI apresentados pelos órgãos controladores estão próximos dos valores operados por eles, mesmo que para isso não haja normas apenas sugestões. Por fim a grande maioria dos entrevistados acredita que se houvesse uma normatização da forma de calcular do BDI, talvez fosse possível diminuir a dificuldade na hora de executar tais procedimentos bem como equalizar as chances de todos os participantes dos processos licitatórios.

Referências Bibliográficas

ANDRETTA, Felipe. **Casa própria faz construção crescer 2%, 1º resultado positivo em 5 anos.** UOL – Economia, São Paulo, 29/08/2019, [Acesso em: 20/09/2019], Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2019/08/29/pib-2-trimestre-construcao-recuperacao.htm?cmpid=copiaecola>

BRASIL. Lei 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da administração pública e dá outras providências. Diário Oficial da União, de 22 jun. 1993, p. 8269. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm

BRASIL. Lei 9249, de 27 de dezembro de 1995. Art. 15 altera a legislação do imposto de renda das pessoas jurídicas, bem como da contribuição social sobre o lucro líquido, e dá outras providências. Diário Oficial da União, de 27 de dez. 1995, P. 22301. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9249.htm

BRASIL. Lei 9648, de 27 de maio de 1998. Art. 1º altera dispositivos da Lei 8666/93 entre outras. Diário Oficial da União, de 27 de maio de 1998, P. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm

BRASIL. Lei 9.718, de 27 de novembro de 1998. Art. 8º eleva para três por cento a alíquota da COFINS, bem com altera a legislação tributária federal. Diário Oficial da União, de 28 de nov. de 1998, P. 2. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9718.htm

BRASIL. Lei 7787, de 30 de junho de 1989. Dispõe sobre alterações na legislação de custeio da Previdência Social e dá outras providências. Diário Oficial da União, de 03 de julho de 1989 P. 10777. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7787.htm

BRASIL. Lei 12546, de 14 de dezembro de 2011. Altera a incidência das contribuições previdenciárias devidas pelas empresas que menciona. Diário Oficial da União, 15 de dezembro de 2011, P. 3. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2011/lei/l12546.htm

BRASIL. Lei 12844, de 19 de julho de 2013. Dispõe sobre a desoneração da folha de pagamento na construção civil entre outros. Diário Oficial da União, 19 de julho de 2013, P. 1 Edição Extra. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2013/Lei/L12844.htm

DIAS, Paulo Roberto Vilela, **Novo Conceito de BDI**. IBEC, 3. ed. Rio de Janeiro, 2008. 104 p.

DIAS, Paulo Roberto Vilela, **Engenharia de Custos: metodologia de orçamentação para obras civis**. IBEC, 9. ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2011, 219 p.

DIAS, Paulo Roberto Vilela, **Engenharia de Custos: Novo Conceito de BDI**. IBEC, 5. ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2017, 79 p.

FREIRES, Alécio Pinheiro e PAMPLONA, Edson de Oliveira, **Um Enfoque no BDI de Empresas Construtoras de Pequeno Porte Com a Utilização das ferramentas de Custeio ABC/ABM**, In: IX Congresso Internacional de Custos, Florianópolis, 2005

HUBAIDE, Eduardo Jorge, Dissertação: **Estudo do BDI sobre o preço de obras empreitadas**, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, fevereiro de 2012, 100 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE CUSTOS. OT-004/2012-IBEC: **Elaboração de Estimativas de Custos de Referências de Obras Públicas - Versão para Órgãos Contratantes**. Rio de Janeiro, 2012.

MARTINS, Eliseu e ROCHA, Wellington, **Métodos de custeio comparados: custos e margens analisados sob diferentes perspectivas**, São Paulo: Atlas, 2010.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: Pini, 2006. 281 p.

SILVA, Cássia Coutinho. **Resposta ao pedido de esclarecimento**. Concorrência nº 009/2015. SENAI/PE. Recife. 2015, [Acesso em 14/10/2019], Disponível em: <http://www.pe.senai.br/static/media/licitacoes/RESPOSTAS%20AO%20ESCLARECIMENTO 2.pdf>

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

TISAKA, Maçahico. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2006. 369 p.

TISAKA, Maçahico. **Norma Técnica para elaboração de orçamento de obras de construção civil**. Instituto de Engenharia, 2011, 151 p.

Tribunal de Contas da União. **Acórdão n.º 2369/2011**, Brasília, 31 de agosto de 2011. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/*/NUMACORDAO:2369%20ANOACORDAO:2011%20COLEGIADO:%22P len%C3%A1rio%22/DTRELEVANCIA%20desc.%20NUMACORDAOINT%20desc/0 /%20

Tribunal de Contas da União. **Acórdão n.º 2622/2013**, Brasília, 25 de Setembro de 2013. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/*/NUMACORDAO:2622%20ANOACORDAO:2013%20COLEGIADO:%22P len%C3%A1rio%22/DTRELEVANCIA%20desc.%20NUMACORDAOINT%20desc/0 /%20

Sistema de tratamento UHT para produtos lácteos – Araçatuba SP

Direct UHT Treatment System for Dairy Products

Felipe Augusto Polisello Pereira¹
Gabriel Vieira Soares¹
João Victor Ferreira Freire¹
Josué Monteiro de Oliveira¹
Paulo David Dos Santos Junior¹
Victor Hugo Seren de Souza¹
Prof. Ms. Gabriel Biancolin Moimas²

Resumo

A indústria de laticínios envolve uma cadeia muito longa, envolvendo diversos setores na sociedade, indo desde a sua produção, e cuidado na ordenha, até complexos sistemas mecânicos responsáveis pela esterilização, nota-se que hoje é um mercado que envolve muitas pessoas, gerando economia ao redor de todos. Notando esta grande importância viu-se a oportunidade de realizar um projeto que envolvesse este tema, assim desenvolvendo uma linha de esterilização UHT para produtos lácteos. Onde se desenvolve durante a pesquisa os componentes pertencentes a esta linha e os dimensionamentos dos trocadores. Por meio do conhecimento adquirido foi possível aplicar nas escolhas dos componentes. Com explicação de como a linha vai se comportar durante o seu funcionamento.

Palavras Chave: Indústria de laticínios, linha de esterilização UHT para produtos lácteos, Dimensionamento.

Abstract

The dairy industry involves a very long chain, involving several sectors in society, ranging from its production, and care in milking, to all the mechanical systems responsible for sterilization, it is noted that today it is a market that involves many people, generating savings for everyone. perceiving this great importance, we saw the opportunity to carry out a project that involves this topic, thus developing a UHT sterilization line for dairy products. Where published during a research the components belonging to this line and the dimensions of the exchangers. Through the acquired knowledge, it was possible to apply the choice of components. With an explanation of how the line will behave during its operation.

Keywords: Dairy industry, UHT sterilization line for dairy products.

1

¹ Acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP.

² Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia Mecânica na Área de Ciências Térmicas na UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, no Campus de Ilha Solteira-SP. Orientador do trabalho e Docente do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba – SP

Introdução

O tratamento térmico do leite no final do século XIX se tornou tão comum que a maioria dos laticínios começaram a utilizar o processo. O responsável pela descoberta do combate a proliferação desses patógenos foi Louis Pasteur, ele foi pioneiro nos estudos acerca do efeito letal do calor sobre microrganismos, e o uso dessa técnica permitiu uma maior qualidade sanitária aos laticínios.

A pasteurização é um processo térmico, criado por Louis Pasteur, em 1864. Tem por objetivo o extermínio parcial da flora banal e a eliminação total da flora microbiana patogênica. A temperatura empregada não ultrapassa aos 100°C e pode ser obtida por água quente, por calor seco, vapor, corrente elétrica e radiação ionizante (EVANGELISTA, 1994, p. 487).

Acerca da história da pasteurização, embora o seu processo fosse reconhecido pela comunidade científica como um ótimo meio para se vetar a proliferação de patógenos, a utilização desta técnica não era tão padronizada e o processo era controlado de forma muito flexível quando realizado.

Felizmente a forma como o agente patogênico era eliminado era de certa forma simples, onde ocorre a pasteurização do leite por 60°C durante 10 minutos. Tempo esse que garante a eliminação do patógeno do alimento.

O organismo mais resistente é o bacilo da tuberculose (T.B.), que é considerado morto pelo aquecimento do leite a 63 ° C durante 10 minutos. A segurança completa pode ser garantida aquecendo o leite para 63 ° C por 30 minutos. TB. é, portanto, considerado como o organismo índice para pasteurização: qualquer tratamento térmico que destrua o T.B. pode ser confiável para destruir todos os outros patógenos do leite. (BYLUND, 2015, p. 75)

Atualmente, uma das formas de esterilizar o leite é através do tratamento UHT direto. O produto submetido a um sistema de ultra-alta temperatura (UHT – Ultra High Temperature) geralmente é o material que necessita de uma esterilização específica para manter o produto higienizado.

Esse sistema terá uma cadeia padronizada onde poderá esterilizar o material com uma capacidade de produção contínua. Esse produto será submetido a uma temperatura entre 135°C e 140°C, onde permanecerá por 2 a 4 segundos. Este procedimento consiste em um tratamento térmico com o fluxo de vapor direto

UHT é a abreviatura de Ultra High Temperature. O tratamento UHT é uma técnica para preservar produtos alimentares líquidos, expondo-os a breves, aquecimento intenso, normalmente a temperaturas na faixa de 135 - 140 ° C. Matando

microrganismos que, de outra forma, destruiriam os produtos. (BYLUND, 2015, p. 78)

Este procedimento consiste em um tratamento térmico com o fluxo de vapor direto, e após ser levado a essas condições o produto é resfriado a uma temperatura específica.

Este projeto tem como foco, desenvolver a construção do sistema que realiza a esterilização por UHT direta, e descreve-as transformações físicas necessárias do produto até a sua higienização, sendo trabalhadas áreas da termodinâmica, transferências de calor, mecânica dos fluidos, esses elementos sendo usados para a explicação dos processos físicos necessários para a esterilização, até o produto ser envasado.

Embora seu alto consumo, o leite é um produto delicado, suas características como alta atividade de água, pH aproximado ao neutro, e sua qualidade nutritiva fornecem um bom ambiente para uma cultura de microrganismos indesejáveis.

Em busca de se dificultar o desenvolvimento dessas culturas, procura-se realizar a esterilização do leite, diminuindo todas as leveduras, fungos, e bactérias existentes no leite.

Um dos processos que fornecem essa esterilização é encontrado em fábricas do ramo lácteo, contando com linhas tecnológicas, que possibilitam o tratamento UHT no leite e seus derivados.

Essa linha de linha de esterilização contém diversos componentes, dentre estes componentes estão trocadores de calor, separadores centrífugos, homogeneizadores, filtros de membrana, dentre outros;

Ainda que diferentes nota-se que os estudos dos compostos do leite identificando as características do produto, e o desenvolvimento de tecnologia que possibilitam a mitigação dos microrganismos acabam se complementando, onde uma possibilita a inativação da enzima identificado em outro estudo.

Deste modo notando-se o potencial mercado existente, e a necessidade das medidas sanitárias serem alcançadas, teve-se a ideia de realizar uma linha de tratamento térmico UHT, onde se é possível obter as variáveis de tempo e temperatura adequadas ao processo, e realizar a esterilização de maneira eficiente no produto.

Linha UHT

Para Bylund (2015) Existem alguns requisitos para que ocorra o processo UHT de maneira eficiente. Esses processos são: Tratamento térmico onde o leite deve ser tratado termicamente de forma que todos os microrganismos patogênicos são mortos. Uma temperatura mínima e tempo de retenção. Gravação da temperatura de aquecimento deve ser registrada automaticamente e salva por um determinado período de tempo. Esclarecimento antes do tratamento térmico. E por último a prevenção de reinfecção. Na figura abaixo pode-se observar de modo generalizado como ocorre o processo de troca de calor com a injeção de vapor e clarificação do leite para que não tenha partículas maiores.

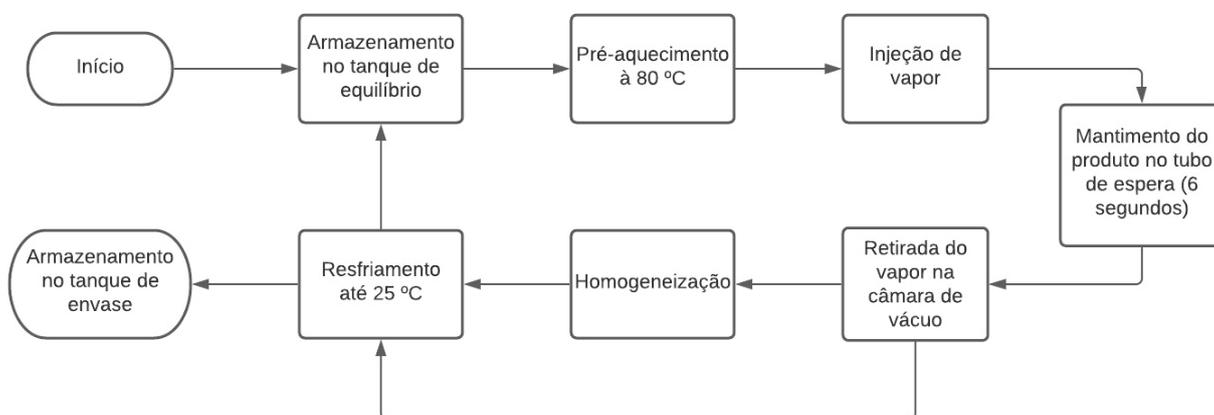


Figura 1: Gráfico de blocos generalizado do processo de esterilização do leite

Fonte: Própria

Equipamentos necessários

De acordo com Bylund (2015) os seguintes equipamentos são necessários:

- Tanques de silo para armazenamento do leite cru.
- Trocador de calor de placas para aquecimento e resfriamento, um tubo de retenção e um aquecedor unidade de água.
- Clarificador centrífugo (como apenas o leite integral deve ser tratado, um centrífugo separador não é necessário neste exemplo).
- Tanque de armazenamento intermediário para armazenamento temporário de leite processado.
- Tubos e acessórios para conectar os componentes principais
- Válvulas pneumáticas operadas para controlar e distribuir o fluxo de produto e fluidos de limpeza.

- Bombas para transporte de leite em toda a estação de tratamento de leite.
- Equipamento de controle para controle de capacidade, temperatura de pasteurização e posições da válvula.
- E alguns sistemas de serviços como: abastecimento de água, produção de vapor, refrigeração, ar comprimido para unidades operadas pneumaticamente, energia elétrica.

Funcionamento da linha

No fluxograma a seguir Bylund (2015) exemplifica o funcionamento da linha. O leite a 4 ° C é fornecido ao sistema a partir do tanque de equilíbrio (1) e encaminhado pela bomba de alimentação (2) até o pré-aquecimento no trocador de calor de placas (3). Após pré-aquecimento de aproximadamente 80 ° C a pressão do produto é aumentada pela bomba (4) para cerca de 4 bar e o produto então segue para o injetor de vapor com bico circular (5). O vapor injetado no produto aumenta instantaneamente a temperatura do produto para cerca de 140 ° C a pressão nesse sistema evita que o produto ferva. O produto é mantido na temperatura UHT no tubo de retenção (6) por alguns segundos antes de ser resfriado rapidamente. O resfriamento instantâneo ocorre na câmara de expansão equipada com condensador (7) em que um vácuo parcial é mantido por uma bomba (8). O vácuo é controlado de modo que a quantidade de vapor expelido do produto é igual à quantidade de vapor injetado anteriormente. Uma bomba centrífuga (9) alimenta o produto tratado com UHT ao homogeneizador asséptico de dois estágios (10). Após a homogeneização, o produto é resfriado a aproximadamente 20 ° C no trocador de calor de placas (3) e, em seguida, continua diretamente para um enchimento asséptico ou para um tanque asséptico para armazenamento intermediário antes de ser embalado.

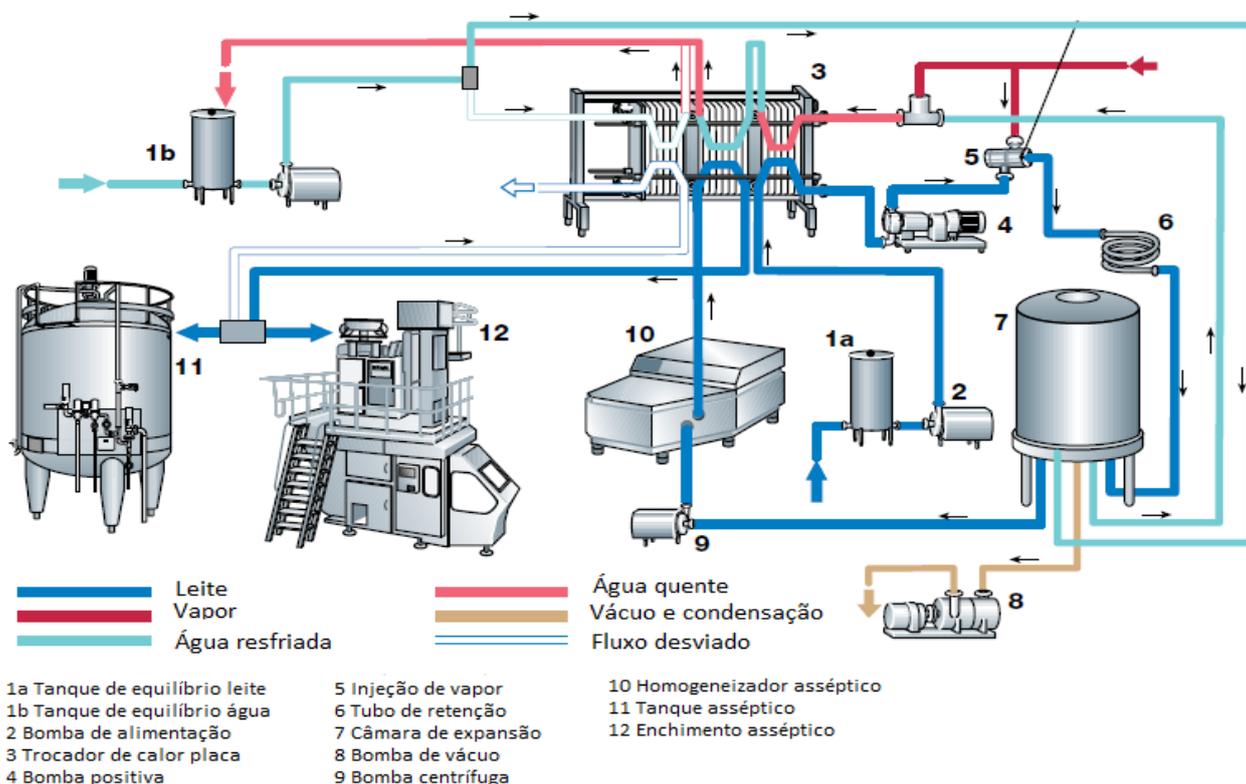


Figura 2: Processo UHT com aquecimento por injeção direta de vapor combinado com trocador de placas

Fonte: Dairy Handbook

Projeto

No início, teremos um tanque de armazenamento. Através de pesquisas de campo em uma empresa deste seguimento, a capacidade média destes tanques é de 20000kg.

Em seguida, deve-se definir a vazão da linha de produção para que seja possível selecionar as bombas adequadas para os processos. Para este projeto, definiremos uma vazão mínima de 6000 litros por hora para que seja possível acompanhar uma máquina de envase padrão.

Deverá ser instalada uma válvula simples de assento para permitir ou restringir a saída de produto do tanque.

Finalizando a primeira seção, temos o tanque de equilíbrio. Este é um tanque de aço inoxidável com capacidade para aproximadamente 250 litros.

Equipado com sensores de nível para garantir que o tanque não transborde ou esvazie, este será responsável por manter a linha abastecida. A figura abaixo ilustra esta primeira seção de produção.

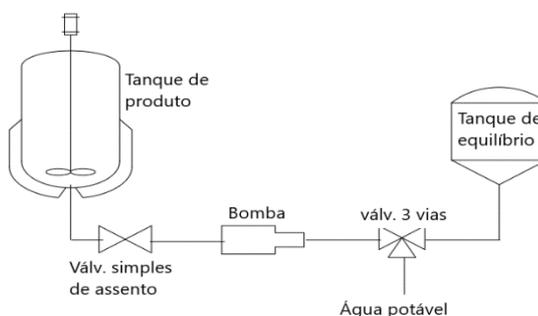


Figura 3: Início do processo

Fonte: Autor próprio.

Em seguida, na segunda seção, deverá ser instalada uma válvula de três vias selecionando se o fluido passará pela bomba de processo ou pela bomba de CIP. Em seguida, será instalada uma bomba positiva para retirar o produto do tanque de equilíbrio e bombeá-lo para o trocador de calor, e para isso, foi escolhida a bomba de parafuso excêntrico.

O produto deverá permanecer nestas condições por cerca de quatro segundos para garantir a efetividade da esterilização.

Segundo o cálculo apresentado posteriormente, estabelecemos que o produto permanecerá nesta temperatura durante seis segundos. Para isso, após o injetor de vapor será necessário instalar uma tubulação com diâmetro de duas polegadas e comprimento de dois metros. Finalizando esta etapa, deverá ser instalada uma válvula de controle para garantir que esta seção se mantenha pressurizada evitando que o produto ferva.

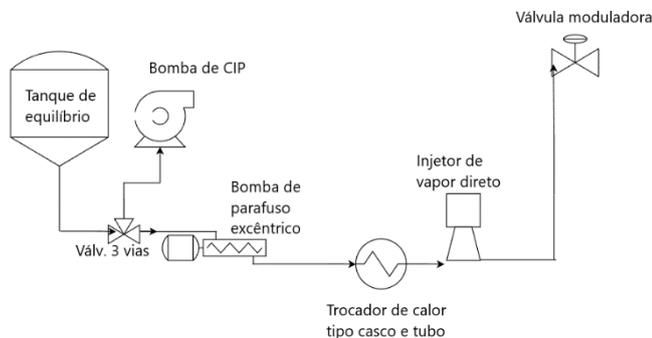


Figura 4: Seção de aquecimento

Fonte: Autor próprio

Após este processo de aquecimento, o vapor precisa ser retirado do produto. Para isto, este deve entrar em uma câmara de vácuo. Esta deve ser feita de aço inoxidável e deve estar encamisada com um sistema de água industrial. A pressão negativa faz com que o produto que entra à alta pressão sofra uma expansão onde o vapor sobe para a superfície da câmara enquanto o produto lácteo é separado e retirado por uma bomba centrífuga.

Já o vapor, ao entrar em contato com as paredes da câmara (refrigerada por um circuito de água industrial), condensa e é retirado por uma outra bomba centrífuga. Por fim, esta câmara de vácuo deve estar conectada à uma bomba de vácuo para que este processo seja possível. A figura ilustra o funcionamento da câmara de vácuo.

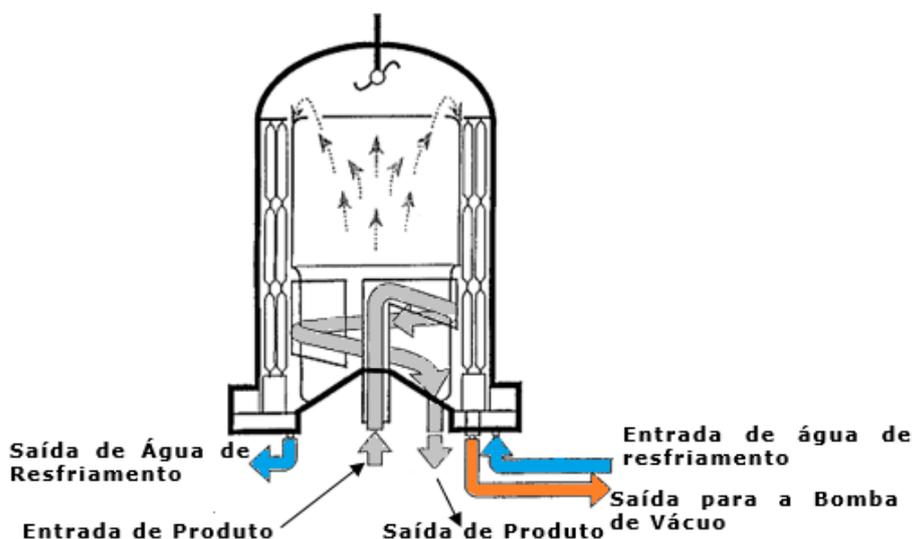


Figura 5: Câmara de vácuo

Fonte: Autor próprio.

Em seguida, entraremos na seção de homogeneização. Nesta, haverá outra válvula de três vias sendo uma das vias para a entrada de produto, uma para a entrada do homogeneizador e a outra via para a saída do homogeneizador. Esta deve ser instalada como segurança para não sobrecarregar o homogeneizador nos processos de CIP onde a vazão é, geralmente, superior à capacidade do equipamento.

Toda esta seção pode ser visualizada na figura:

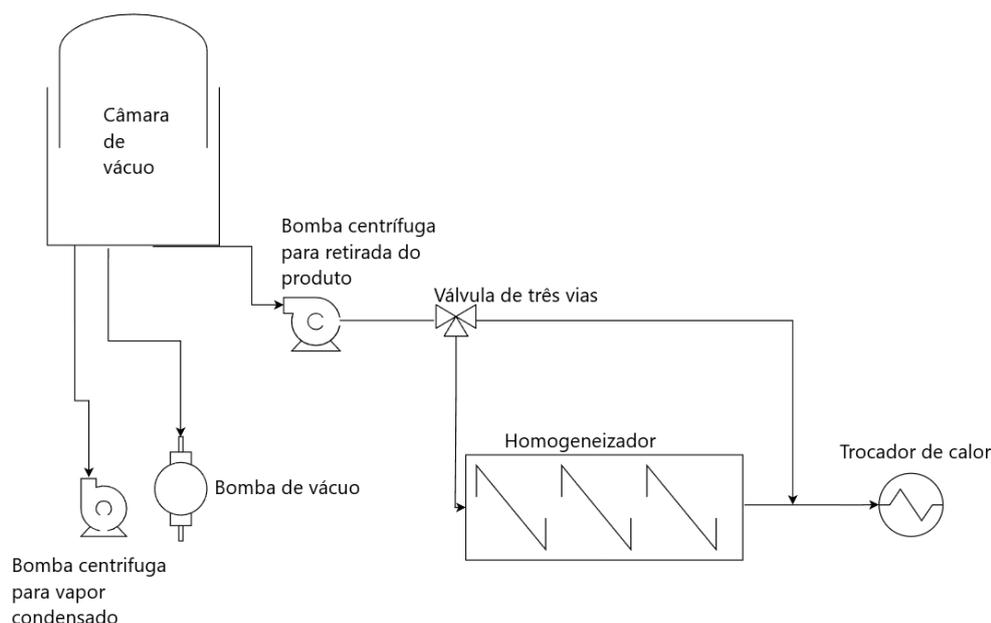


Figura 6: Seção de separação da mistura e homogeneização.

Fonte: Autor próprio.

Finalizando esta seção, temos a escolha do trocador de calor para resfriamento do produto.

Segundo os cálculos apresentados posteriormente, este trocador de calor deverá possuir nove passes de tubo com quatro metros de comprimento, e oito tubos de vinte milímetros de diâmetro em cada passe para que este esfrie o produto de 80 à 25 °C.

Finalizando esta etapa, deverá ser instalada uma válvula de controle para garantir que esta seção se mantenha estável.

Em seguida, deve ser instalada a válvula de três vias, antes do tanque de envase para selecionar se o produto seguirá para esse mesmo tanque ou se seguirá para uma válvula de controle, do mesmo modelo utilizado após a saída do trocador de calor, para garantir que esta seção se mantenha estável. Em seguida passando por uma válvula de três vias para selecionar se o produto retornará para o tanque de equilíbrio ou se será descartado.

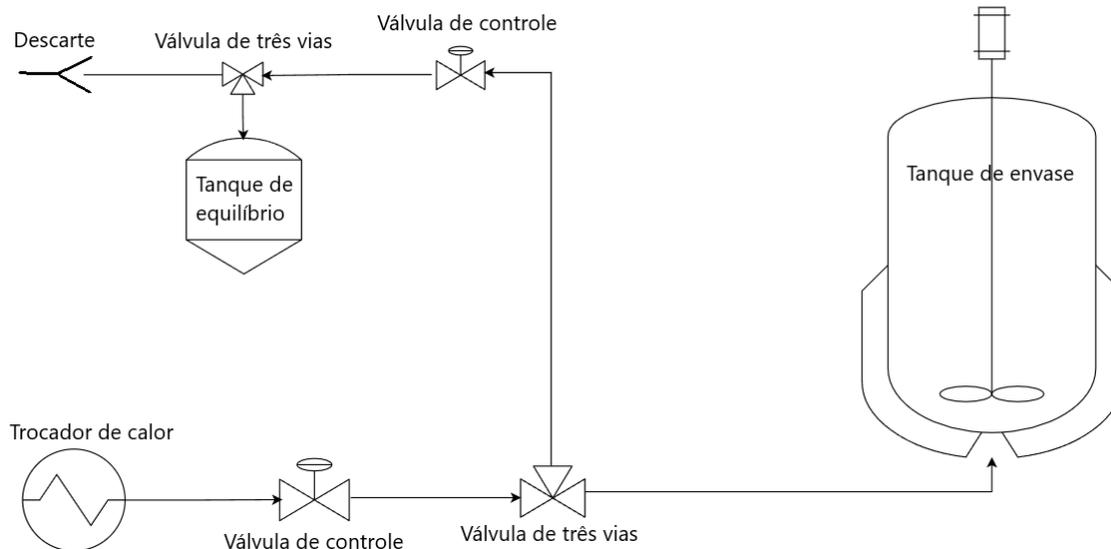


Figura 7: Seção de resfriamento e final da linha.

Fonte: Autor próprio.

Para o processo *Cleaning in place*, serão criadas duas novas rotas.

A primeira será a de alimentação da linha. Como este tipo de limpeza necessita de uma vazão maior, será instalada uma bomba centrífuga (idêntica à bomba que retira o produto da câmara de vácuo) na saída do tanque de equilíbrio após a válvula de três vias que seleciona se o fluido passará pela bomba de produção ou pela bomba de CIP.

Em seguida, uma válvula de três vias irá selecionar se o produto retornará para o tanque de equilíbrio à fim de limpar a parte superior do mesmo, ou se irá dar sequência no processo levando o fluido ao restante da linha.

Para a segunda nova rota, será instalado um tanque de produtos químicos similar ao tanque de equilíbrio. Este também deverá possuir sensores indicando o nível do mesmo pois servirá para alimentar a linha com produtos químicos.

Na saída deste tanque, haverá uma válvula de três vias que irá determinar se o fluido irá ser descartado ou se o mesmo irá entrar no tanque de equilíbrio e, conseqüentemente, na linha de produção.

A figura demonstra a nova seção de equilíbrio.

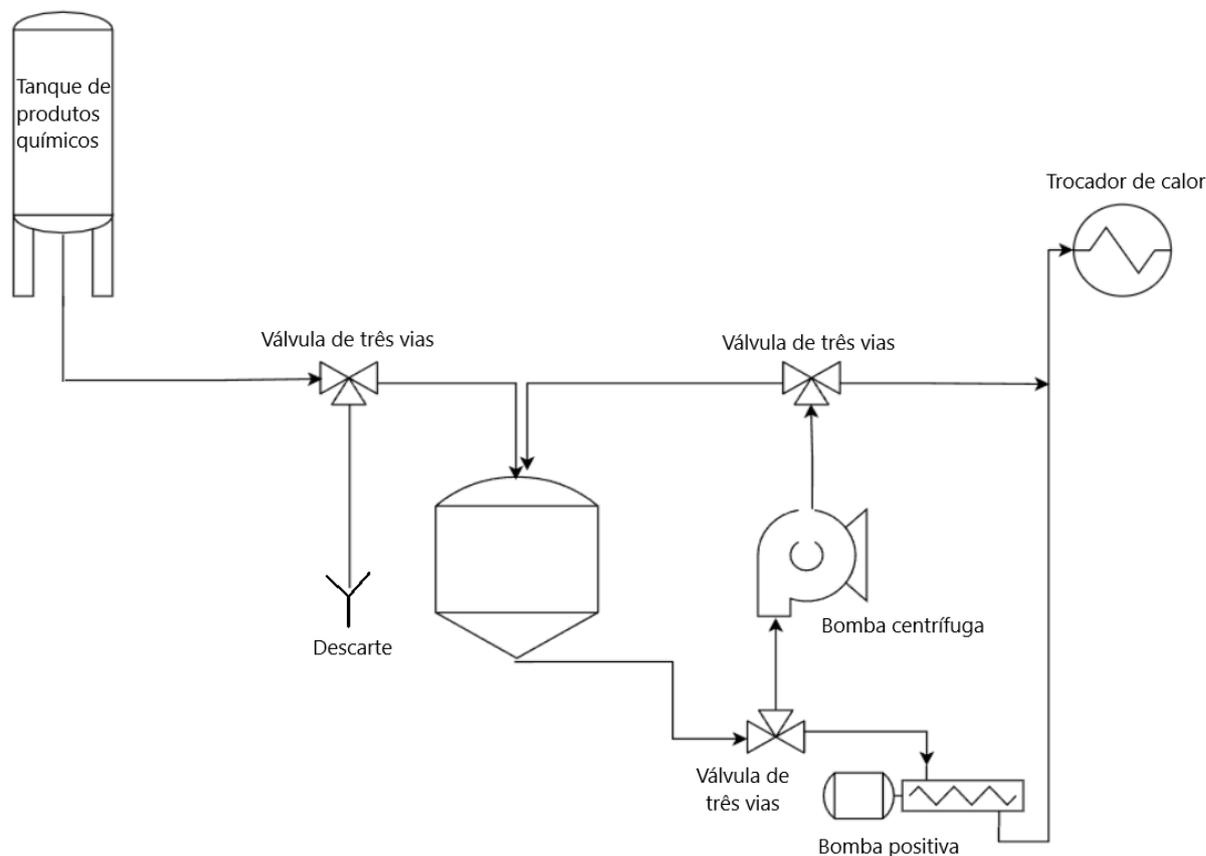


Figura 8: Seção de equilíbrio com rotas de CIP

Fonte: Própria.

Nas tubulações de vapor (circuito de água do trocador de calor de aquecimento e tubo de espera) haverá válvulas redutoras de pressão e controladoras de temperatura para vapor.

O trocador de calor responsável pelo aquecimento será alimentado por um circuito onde há uma mistura entre água quente e vapor d'água. A água que sai deste trocador será reutilizada alimentando as paredes da câmara de expansão à fim de contribuir na condensação do vapor lá presente e em seguida retornará para o tanque de água quente à fim de reiniciar este ciclo.

Já o trocador de calor responsável pelo resfriamento do produto será alimentado por água gelada que seguirá em fluxo contracorrente e irá direto para a estação de água gelada da indústria.

De forma geral, o Aço Inox detém diversas vantagens, a citar: a alta resistência a corrosão, a facilidade de limpeza, aparência brilhante e higiênica, baixo custo de manutenção e resistência a variação de temperatura.

Para assegurar que nenhum material estranho seja levado para as áreas assépticas da linha, deverão ser instalados dois filtros de membrana, sendo um deles no início do processo logo após a saída da bomba de parafuso excêntrico e o outro na saída do trocador de calor de aquecimento antes do injetador de vapor.

Após a escolha de todos os componentes, foi desenvolvido o layout da linha de esterilização UHT direta que atendesse todos os processos citados anteriormente.

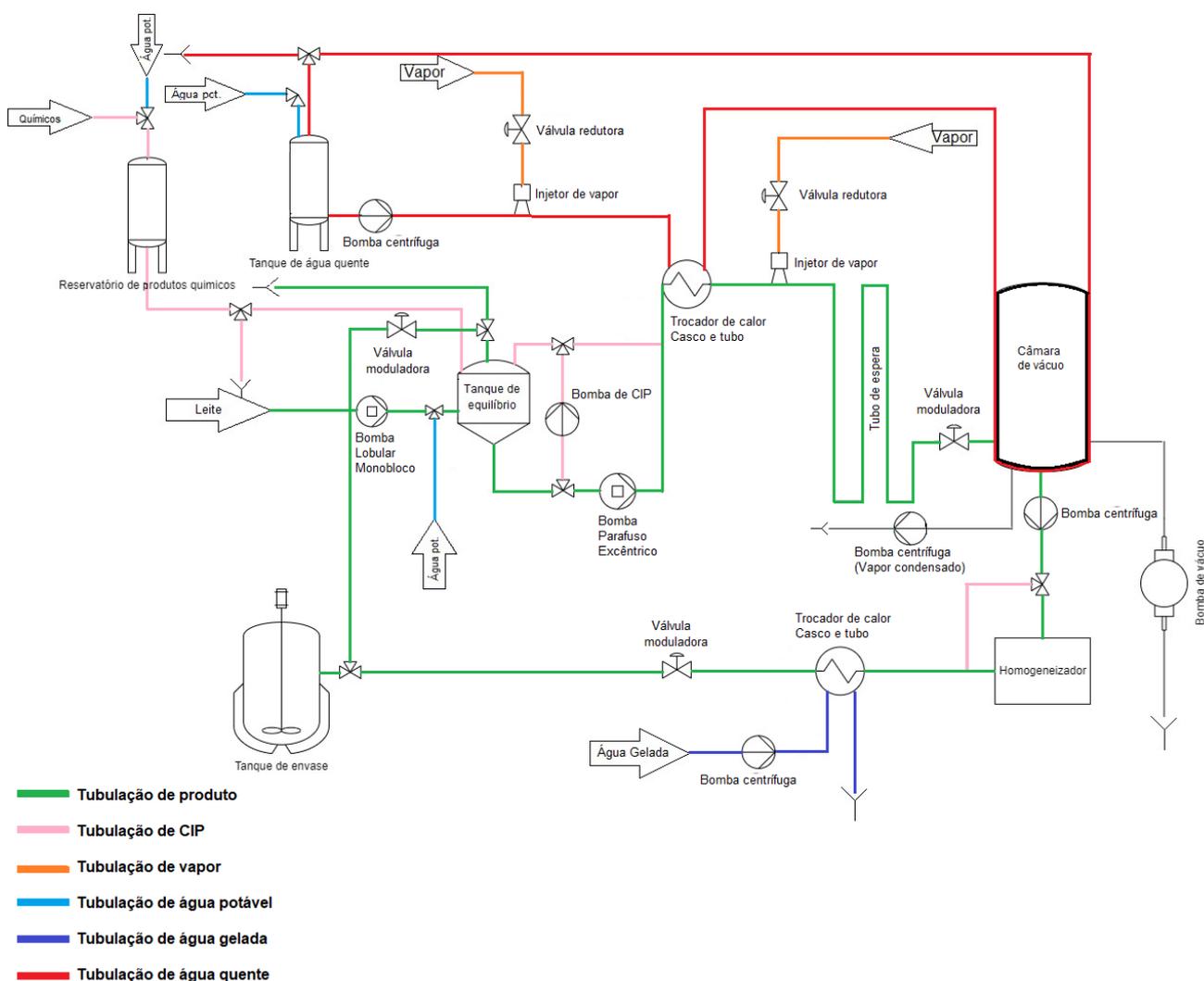


Figura 9: Layout de toda a linha

Fonte: Própria

P&iD

Para o controle de processo deve ser instalado instrumentos como transmissores de temperatura, pressão, vazão e nível. Os mesmos devem sinalizar para uma interface IHM para que o operador na sala de controle possa monitorar todos os processos. A figura demonstra o P&iD deste projeto.

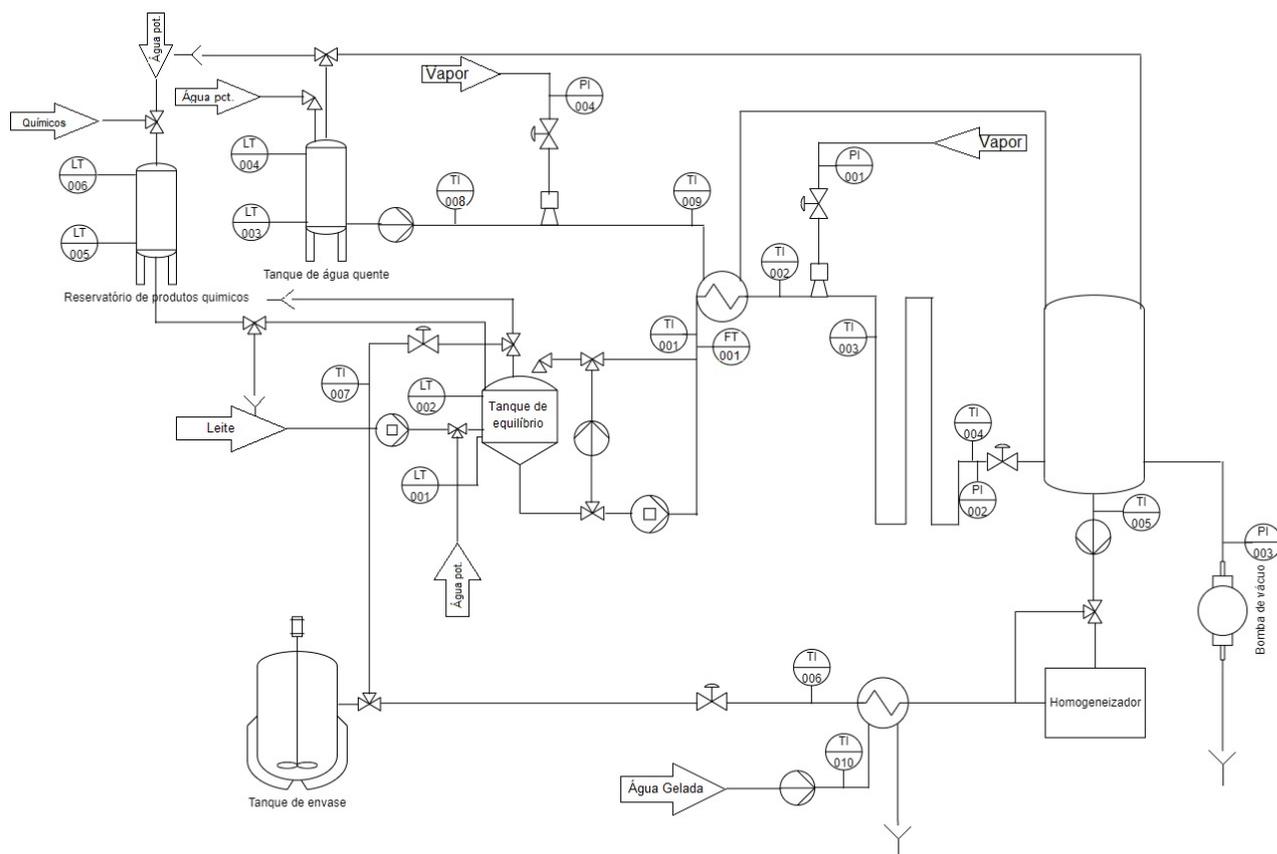


Figura 10: P&iD projeto

Fonte: Própria.

LEGENDAS			
SIGLA	NUMERAÇÃO	DESCRIÇÃO	LOCAL
TI	001	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	ENTRADA DO TROCADOR DE CALOR DE AQUECIMENTO
TI	002	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR DE AQUECIMENTO
TI	003	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	INÍCIO DO TUBO DE ESPERA
TI	004	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	FINAL DO TUBO DE ESPERA
TI	005	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	SAÍDA DA CAMARA DE EXPANSÃO
TI	006	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR DE RESFRIAMENTO
TI	007	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	FINAL DA TUBULAÇÃO DE RETORNO DA LINHA
TI	008	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	SAÍDA DO TANQUE DE ÁGUA QUENTE
TI	009	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	ENTRADA DE ÁGUA QUENTE DO TROCADOR DE CALOR
TI	010	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	ENTRADA DE ÁGUA GELADA TROCADOR DE CALOR
PI	001	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	TUBULAÇÃO DE VAPOR DO TUBO DE ESPERA
PI	002	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	FINAL DO TUBO DE ESPERA
PI	003	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	CÂMARA DE VÁCUO
PI	004	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	TUBULAÇÃO DE VAPOR DA ÁGUA QUENTE
LT	001 + 002	TRANSMISSOR DE NÍVEL	TANQUE DE EQUILÍBRIO
LT	003 + 004	TRANSMISSOR DE NÍVEL	TANQUE DE ÁGUA QUENTE
LT	005 + 006	TRANSMISSOR DE NÍVEL	RESERVATÓRIO DE PRODUTOS QUÍMICOS
FT	001	TRANSMISSOR DE VAZÃO	ENTRADA DO TROCADOR DE CALOR DE AQUECIMENTO

Tabela 1: Tabela P&iD

Fonte: Própria.

Conclusão

A criação e execução deste projeto colaboraram para o desenvolvimento do conhecimento técnico com enfoque na engenharia de termodinâmica, assunto este que é um tema de grande abrangência, com uma vasta aplicabilidade em diversas indústrias. Analisando a indústria de laticínios neste caso, parte onde as operações são realizadas, estilização do leite pelo meio UHT direto mostrou-se bastante útil, sendo capaz de otimizar tempo e custo no processo de esterilização. Para se chegar ao objetivo final foi feito grande estudo sobre termodinâmica, elementos de máquinas, trocadores de calor e máquinas de fluxo.

Outra parte de suma importância e que nos levou tempo e aprendizado, foi a escolha dos componentes adequados. Pois exigiu uma vasta pesquisa entre todos os equipamentos existentes no mercado, não se focando apenas nos utilizados.

Com este projeto podemos ver que a esterilização do leite pelo meio UHT direto pode ser um grande passo para uma melhor amplitude de mercado, otimizando tempo e possibilitando aumento de produção, por se tratar de um método eficiente e ágil. Portanto, com a sua viabilidade técnica e econômica apontada, esse projeto pode se tornar um importante contribuidor prático e teórico para essas áreas do mercado.

Ao finalizar o projeto obtivemos uma enorme satisfação pelo conhecimento obtido, não apenas nas áreas de termodinâmica, elementos de máquinas, trocadores de calor e máquinas de fluxo, mas sim na engenharia mecânica como um todo.

Referências

EVANGELISTA, José. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Livros. Atheneu, 1994. 652p.

BYLUND, Gösta; **Dairy Processing Handbook**, Sweden Lund: Tetra Pak Processing Systems AB; 1st edition. 2003.

SANTOS, N.E.; FERNANDES, V.L.; GALDINO, L.: **Estudo Da Instalação De Transmissores De Pressão No Esterilizador De Um Sistema UHT (Temperatura Ultra Rápida)**. Augusto Guzzo Revista Acadêmica, 2015.

TETRAPAK - **Tratamento UHT para alimentos e produtos lácteos** [internet] disponível em: <<https://www.tetrapak.com/pt-br/solutions/processing/main-technology-area/uhttreatment#:~:text=Usado%20para%20a%20esteriliza%C3%A7%C3%A3o%20de,para%20distribui%C3%A7%C3%A3o%20em%20temperatura%20ambiente>> Acesso em: 07/11/2021

Sistemas e operações do processo de produção de açúcar VHP

VHP SUGAR PRODUCTION PROCESS SYSTEMS AND OPERATIONS

Higor Mendes de Luna¹

Fernando Gabriel Eguía Pereira

Soares²

RESUMO

O presente trabalho aborda os sistemas e operações do processo de produção de açúcar e que tem como objetivo explicar, detalhadamente, todos os sistemas, equipamentos, e como, e de que forma, é produzido o açúcar VHP. As siglas VHP significam - Very High Polarization, um açúcar menos úmido, “ainda bruto”.

Na elaboração desse projeto, foram explicadas diversas formas de operações e de trabalhos relacionados ao processamento do açúcar VHP, desde a entrada da cana na indústria até o produto final, que é o açúcar VHP.

Palavras-Chave: Produção de açúcar VHP, Açúcar VHP

ABSTRACT

The present work addresses the systems and operations of the sugar production process and aims to explain in detail all the systems, equipment and how and how VHP (Very High Polarization) sugar is produced, which is still a “raw” sugar and less humid. In the preparation of this project, various forms of operations and work were explained on how VHP sugar is produced, from the entry of sugarcane into the industry to the final product, which is VHP sugar.

Keywords: VHP Sugar Production, VHP sugar

-
1. Acadêmico do 10º termo do curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba
 2. Engenheiro, mestre e professor no curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba e orientador do presente trabalho de conclusão de curso

Introdução

Devido ao aumento de serviço e o destaque que está tendo o agronegócio, a cada dia que passa, como no caso das usinas sucroenergéticas, serão explicadas neste trabalho, com o máximo de detalhe possível, as maneiras de execução e equipamentos utilizados para ter um bom rendimento e qualidade do produto final nos processos do tratamento do caldo e fábrica de açúcar VHP.

Nas operações, os elementos fundamentais são os parâmetros que devem ser seguidos, rigorosamente, para que não tenha nenhum problema no produto final, além de evitar perdas e desperdícios de insumos ou de produtos utilizados nos processos que possam gerar retrabalho, gastos excessivos e até mesmo uma grande diminuição na produção do açúcar.

O presente trabalho aborda sobre como é um processo de produção de açúcar VHP, de uma forma correta e eficaz. Será explicado sobre cada setor e sua importância no processo, porém, será explorado mais o setor do tratamento do caldo e cozimento. Todos setores são operados tanto em campo quanto em supervisórios, que ficam numa sala chamada de COI (Centro de Operações Industriais). Os tópicos do trabalho serão divididos em setores e sequências de sistema dos processos.

A sequência será a seguinte: caldeiras (geração de vapor e energia), moendas (extração), tratamento do caldo e fábrica de açúcar (cozimento).

Caldeiras

O primeiro setor a ser iniciado é composto pelas caldeiras, que geram vapor (vapor “direto”, como é chamado) para alimentar o gerador de energia e as turbinas dos ternos das moendas. No processo, utiliza-se três caldeiras, que são alimentadas com bagacilhos, sendo duas de baixa pressão, de 21kgf/cm², e uma de alta pressão, de 63kgf/cm². É importante saber que, dependendo do processo, consegue-se manter apenas as duas caldeiras de baixa pressão ou apenas a de alta pressão. A caldeira se inicia da seguinte forma, com o bagacilho estocado da safra anterior ou comprado por outras empresas, que é utilizado para alimentação da mesma. O excesso desse bagacilho retorna por meio de uma esteira de borracha e é lançado no monte de bagaço. Esse bagaço estocado no monte pode ser utilizado para iniciar as caldeiras e também manter as caldeiras em funcionamento, mesmo com as moendas paradas. Após uma temperatura alta, na fornalha, é gerado o vapor “direto”, que é distribuído por tubulações para os equipamentos que dependem disso para funcionar.

Como necessita da caldeira para iniciar o gerador de energia, então, na partida das caldeiras, os equipamentos elétricos, como motores de bombas, por exemplo, são alimentados com a energia da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz) da cidade, até que se consiga estabilizar a pressão do vapor e iniciar o gerador de energia. Com a pressão do vapor “direto” estável, é iniciado o gerador de energia que, quando estabilizado, automaticamente, na subestação de energia elétrica da empresa, é desligado as redes da CPFL. Esse gerador, além de gerar energia o suficiente para própria planta industrial, consegue-se ainda vender a energia excedida pelo mesmo.

Moendas

Com as caldeiras e gerador em linha, gerando vapor e energia, já é possível iniciar o setor da moenda (extração). São disponibilizadas duas moendas para o processo, uma com capacidade máxima de moagem de 8.000Ton/dia, e outra de 12.000Ton/dia. Ou seja, com as duas moendas em operação, sem nenhum problema de parada, e trabalhando no máximo, tem-se uma moagem de 20.000Ton/dia.

Cada uma das moendas contém seis ternos, e cada terno é composto por quatro rolos, sendo dois rolos superiores e dois rolos inferiores para extração da cana-de-açúcar, além de um pente para retirar o bagaço, que fica entre os dentes dos rolos na extração, e um castelo que possui uma esteira transportadora por taliscas, que transporta as canas moídas de um terno anterior para o terno seguinte. No último terno, onde já foi feita toda a extração da cana-de-açúcar, ficam só os bagacilhos, que são transportados para uma esteira de borracha, seguindo para a alimentação das caldeiras.

Os rolos dos ternos são acoplados em engrenagens ligadas nas turbinas. Na moenda de menor capacidade, cada turbina roda dois conjuntos de ternos; já na outra, é uma turbina para cada terno. Ou seja, na moenda de menor capacidade há apenas três turbinas, enquanto a outra tem seis. As turbinas se iniciam com a pressão do vapor “direto” gerado da caldeira, com uma pressão de 21Kgf/cm². Se essa pressão de vapor cair para menos de 19 Kgf/cm² pode ter problema nas rotações das turbinas ou até mesmo o desarme geral da mesma. O vapor excedente é utilizado em equipamentos do tratamento do caldo que será abordado adiante. Esse vapor, chamado de vapor “escape”, tem uma pressão de 1,5 Kgf/cm² à 1,7 Kgf/cm².

O início da moenda é da seguinte forma: já com as carretas dos caminhões carregadas de cana-de-açúcar, na planta industrial, começam a ser alimentadas as moendas, através de hilos, esteiras de borracha, e mesa de 45° transportadora. Para que

seja dividida a quantidade de cana correta para as duas moendas, existe um carrinho móvel que faz essa separação de cana para as duas moendas, para que não falte carga para nenhuma delas. Além desse carrinho, a moenda de menor capacidade pode ser alimentada também por uma mesa 45° transportadora, então, em conjunto com o carrinho móvel, se acaso faltar carga para alimentação dessa moenda, a mesa automaticamente irá rodar para suprir essa alimentação de carga que está em falta.

Antes das canas chegarem aos ternos, passam por um processo de preparação para moagem, que consiste no picador e desfibrador, onde ocorre o rompimento das estruturas da cana-de-açúcar, desagregando os tecidos fibrosos; rompimento das células que armazenam o caldo; obtenção da granulometria adequada para os tecidos fibrosos; aumento da densidade da cana e homogeneização da matéria. Tudo isso tem por objetivo uma melhor extração nos ternos.

No primeiro terno, é feita apenas a extração da cana-de-açúcar sem adição de água condensada de embebição; já nos outros ternos, é adicionada essa embebição de água condensada para ajudar na extração. Portanto, o caldo extraído do primeiro terno é mais rico em sacarose, chamado de caldo primário. Já dos outros ternos, é chamado de caldo secundário. Todo esse caldo é passado por uma peneira giratória para retirar os bagacilhos e impurezas contidas na moagem, depois bombeado para o setor do tratamento.

Tratamento do caldo

Princípios gerais:

- ✓ Remoção do máximo de impurezas solúveis e insolúveis em suspensão;
- ✓ Clarificação do caldo através de coagulação, floculação e decantação para redução da cor do açúcar;
- ✓ Evitar perdas por inversão e degradação;
- ✓ Controle de contaminação.

O caldo extraído e bombeado pelas moendas vai para um tanque deitado, chamado de tanque de caldo misto. Esse tanque é dividido em duas partes não iguais, sendo a menor parte com o caldo misto do álcool, que vai para a destilaria, e a parte maior com o caldo misto do açúcar, que vai para a fábrica de açúcar. Para controle de nível nesses tanques, são utilizados transmissores de níveis um em cada canto inferior de cada tanque. Existem várias manobras que são feitas nesse tanque, e o que vai definir a forma de trabalho é o processo. Por exemplo, se a produção de álcool for mais lucrativa, então, se mantem mais quantidade de caldo para o misto do álcool e menos para o misto do

açúcar, e vice-versa. Porém, normalmente, o caldo primário vai todo para o misto do açúcar, independente da produção, pois é um caldo mais rico em sacarose e não muito utilizado na produção de etanol. Portanto, o que vai mudar é a quantidade de caldo secundário nos tanques, que necessita de um controle, através de uma válvula automática. Conforme a vazão estabelecida, ela age de forma que mantenha essa vazão para o processo da produção de açúcar, e o restante, para o processo da destilaria. Além dessa válvula automática de controle, há também válvulas manuais para outras eventuais manobras, como desviar caldo primário para o misto do álcool. É importante frisar que, se a matéria-prima para produção de açúcar estiver com uma quantidade de ácido fosfórico insuficiente, fazendo com que tenha formação de flósculos, deve-se adicionar clarificante de P_2O_5 para complementar e não deixar o açúcar escuro no processo final.

O caldo do misto do açúcar pode ser bombeado por até três bombas, que são controladas, individualmente, por inversores de frequência e atuam em conjunto com o controle de nível do tanque. Cada uma dessas bombas possui uma capacidade de $400\text{ m}^3/\text{h}$ de vazão, e a quantidade de bombas a ser utilizada vai depender da vazão estipulada pelo supervisor. Para o processo da destilaria, trabalha com uma vazão de $100\text{ m}^3/\text{h}$ até $250\text{ m}^3/\text{h}$, sendo que o restante é utilizado todo para o processo do açúcar. O caldo do misto do álcool é bombeado por até duas bombas, também com inversores de frequência individuais, e que também atuam em conjunto com o controle de nível do tanque.

No processo para produção de açúcar, o caldo que é bombeado do tanque de caldo misto é passado por até dois trocadores de calor, de placas com fluxo cruzado, antes de ir para o processo de aquecimento. Isso porque a vazão para o processo do açúcar é bem maior do que para o processo do álcool e, para que o caldo já vá pré-aquecido com economia de vapor utilizado nos aquecedores. Esses trocadores de calor possuem um sistema de back flush, que é feito automático de 3 em 3 horas - isso para que evite uma incrustação precoce nas placas. A cada uma semana, também é preparada uma soda caustica líquida e feita uma recirculação nesses trocadores para que seja feita uma limpeza das incrustações das placas. O trocador trabalha da seguinte forma: em um dos lados, o fluido que passa é água condensada gerada por alguns equipamentos que consomem vapor e, na outra parte, passa o caldo bombeado do tanque de caldo misto do açúcar. Portanto, o caldo que é mais frio troca calor com a água condensada, fazendo, assim, um pré-aquecimento no caldo. Essa água condensada mais fria vai para um tanque de embebição, que distribui água para embebição das moendas, entre outros processos; e o caldo que sai

com uma temperatura de aproximadamente 80°C; vai para um processo de calagem simples; onde é utilizado leite de cal para ajustar o pH desse caldo. O pH (Potencial Hidrogeniônico) é uma escala numérica adimensional utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa, devendo se manter entre 6,9 a 7,4 para a produção de açúcar VHP. O leite de cal, também conhecido como cal hidratada, é uma suspensão de hidróxido de cálcio em água que pode conter até 40% de sólidos em suspensão. É produzido através de um processo que chamamos de queima de cal. O sistema da queima de cal é automático, composto por uma tramonha onde é despejada a cal virgem, armazenado em bags. Na parte debaixo dessa tramonha, há uma rosca sem fim que transporta essa cal virgem para um hidratador automático, onde é injetada água para fazer a queima da cal. Dessa mistura, surge o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) - um leite de cal, que deve se manter a uma concentração de 15 a 22° Baumé. Esse leite de cal deve ter um tempo de retenção de, pelo menos, 2 horas no mínimo e, no máximo, 12 horas. Então, da saída do hidratador é bombeado para um tanque pulmão de cal que, por ser um tanque grande, consegue ter esse tempo de retenção. Do tanque pulmão é bombeado para um outro tanque menor, seguindo para o processo de calagem para que seja ajustado o pH do caldo. O caldo extraído da cana tem um pH numa faixa de 5 a 6, então, é adicionado esse leite de cal para chegar até um valor de 7,2 a 7,5. Essa dosagem é feita em duas etapas, pois é muito importante manter esse valor de pH constante. Se esse pH ficar abaixo de 6,9, acelera a inversão da sacarose em açúcares redutores, contribuindo para uma maior degradação de açúcares no processo de evaporação e cozimento, fazendo com que reduza a eficiência da fábrica. E, se ficar acima de 7,5, acelera a formação de compostos coloridos no caldo, precipitação de sais em excesso, aumento de incrustações nos feixes tubulares dos equipamentos de aquecimento e evaporação, ocorrendo a degradação dos açúcares redutores. Então, é feita uma dosagem de ajuste grosso e outra dosagem de ajuste fino, sendo que o bombeamento do leite de cal para ajuste grosso é feito na tubulação junto ao caldo que está saindo do trocador de calor, bombeado pelo tanque de caldo misto. Quando esse caldo vai para o primeiro tanque de dosagem, que possui uma sonda com um eletrodo que faz a leitura do pH, e um ponto de coleta para que sejam feitas análises do caldo para saber se está coerente o valor que o eletrodo está marcando, quando esse tanque enche na parte de cima, tem-se uma tubulação ligada a um outro tanque ao lado, onde é feito o ajuste fino. Esse segundo tanque também possui uma sonda com eletrodo e um ponto de coleta para comparar os resultados indicados pelo eletrodo. Esses eletrodos devem fazer

uma limpeza de 4 em 4 horas para que se tenha uma maior precisão. Essa dosagem é feita através de bombas com inversores de frequência, que agem conforme o valor estabelecido no supervisor, ou seja, se o pH estiver baixo, a rotação dessas bombas irá aumentar para que se dose mais leite de cal e vice-versa. Para o processo do álcool, não é necessária essa correção de pH, já que, na destilaria, é utilizado um caldo mais ácido.

Aquecimento do caldo

- ✓ Objetivo através de temperatura:
- ✓ Destruir bactérias: $>65^{\circ}\text{C}$
- ✓ Degradar amido: $>75^{\circ}\text{C}$
- ✓ Destruir proteínas: $65^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$
- ✓ Reações químicas: $75^{\circ}\text{C} - 95^{\circ}\text{C}$
- ✓ Remover ar do caldo: $104 - 110^{\circ}\text{C}$

Como o processo de produção de álcool não tem a necessidade de um pré-aquecimento, o caldo do tanque de caldo misto é bombeado diretamente para os aquecedores. Já o caldo para produção de açúcar, como dito anteriormente, passa por trocadores de calor para uma pré-aquecida. Após passar por um processo de calagem, segue para o aquecimento. Para cada um dos processos, açúcar e álcool, são seis aquecedores disponíveis e essa quantidade é ajustada conforme a temperatura, que se deve manter entre 104°C a 110°C . Esses aquecedores são do tipo casco e tubo vertical, com uma capacidade de $300\text{ m}^3/\text{h}$ de caldo, cada. O fluido que passa pelo corpo é o caldo e, do feixe tubo, vapor “V1” gerado por um dos equipamentos de evaporação, que será abordado adiante. O condensado gerado por esse equipamento é enviado para um tanque de embebição, e é reutilizado para embebição das moendas dos ternos, nos processos dos trocadores de calor e nos processos de filtração de lodo, que será explicado posteriormente.

Principais cuidados operacionais:

- ✓ Sempre conferir se o equipamento está resfriado e vazio antes de abrir as tampas;
- ✓ Garantir a extração dos gases incondensáveis;
- ✓ Certificar eficiência da limpeza dos feixes tubulares antes de reiniciar o equipamento;
- ✓ Fazer teste hidrostático de calandra após limpeza;
- ✓ Checar variação de temperatura entre entrada e saída do equipamento;

- ✓ Checar contaminação de condensado por equipamento.

Decantação

No processo, utiliza-se três decantadores, dois deles do tipo convencional multi-bandeja, e um do tipo rápido. Antes da entrada do caldo nesses decantadores, ele passa por um balão de flash, onde é feita a retirada dos gases incondensáveis e remoção de bolhas de ar presentes no caldo. Em seguida, caminha por um pequeno tanque para que seja feita uma dosagem de polímero nesse caldo, a fim de que as impurezas contidas no caldo não se misturem e ajudem na decantação dessas impurezas, fazendo com que ganhe densidade para ir para o fundo do decantador. Todos os três decantadores têm um mexedor na parte interna com braços e raspas para rápida condução do lodo para o decantador. Os decantadores convencionais, de multi-bandeja, têm um coletor em cada uma de suas bandejas, onde é feita a retirada desse caldo clarificado. Desse coletor, vai para uma caixa de transbordo e, por gravidade, vai para o peneiramento, onde as impurezas, chamadas de lodo, são bombeadas para o fundo do decantador e passam por uma caixa de prova de lodo até caírem na caixa de lodo. Já no decantador do tipo rápido, a diferença é que não é dividido por bandejas, mas o processo é o mesmo do decantador convencional. No teto desses decantadores tem também tubulações instaladas em pontos específicos para a retirada dos gases incondensáveis.

Parâmetros de monitoramento do processo:

- ✓ pH caldo clarificado açúcar (Decantadores multi-bandeja) – 6,4 a 6,8;
- ✓ pH caldo clarificado açúcar (Decantador rápido) – 6,6 a 7,0;
- ✓ pH caldo clarificado álcool (Decantador multi-bandeja) – 5,5 a 6,5;
- ✓ pH caldo clarificado álcool (Decantador rápido) – 5,5 a 6,5;
- ✓ Concentração de lodo – 35% a 50%;
- ✓ Temperatura do caldo na saída do decantador – 95°C a 99°C;
- ✓ Rotação das raspas de 8 rph a 10 rph.

Considerações operacionais:

- ✓ Raspas com ângulo entre 30° a 45° para rápida condução do lodo ao fundo e redução no toque exigido;
- ✓ Serpentinhas niveladas e com saídas equidistantes;
- ✓ Velocidade do caldo na entrada do decantador inferior a 0,4 m/s;

- Se elevada gera turbulência e danifica os flocos;
- Balão de flash bem posicionado com a instalação da câmara amortecedora

minimizam o problema;

- ✓ Nível do lodo;
- ✓ Vazão uniforme de caldo;
- ✓ Remoção de gases incondensáveis;
- ✓ Quantidade de fosfato no caldo;
- ✓ Dosagem de polímero;
- ✓ Qualidade da cana.

Tempo de retenção recomendado:

- ✓ Decantador tipo convencional: 2 a 3 horas;
- ✓ Decantador rápido: 40 a 60 minutos (conforme o projeto).

Peneiramento do caldo

O caldo que sai do decantador passa pelas peneiras para ter a certeza de que o caldo clarificado fique sem impurezas. Para o processo do açúcar, são utilizados dois tipos de peneiras: as peneiras estáticas e a peneira rotativa. São quatro peneiras estáticas, com capacidade de 250m³/h, e duas peneiras rotativas, com capacidade de 350 m³/h. No final das peneiras estáticas, tem uma canaleta que, se acaso tiver um caldo muito sujo, há uma tubulação que retorna esse caldo para o início do processo, no tanque de caldo misto. Já nas peneiras rotativas, o acúmulo de bagacilhos que ficam no caldo, cai em uma tubulação e retorna para caixa de lodo.

Considerações operacionais para peneiras estáticas:

- ✓ Limpar a tela das peneiras estáticas, no mínimo, 4 vezes ao turno;
- ✓ Sempre revisar se não tem furos, rasgos ou se a tela está fixada corretamente nas laterais da peneira, para evitar passagem de impurezas e bagacilhos;
- ✓ Trocar as peneiras sempre que não estiverem sendo suficiente para filtrar o caldo para não retornar o caldo, praticamente limpo, ao início do processo, novamente.

Considerações operacionais de peneiras rotativas:

- ✓ Sempre analisar se não está tendo passagem de impurezas ou bagacilhos, e acumulando na contra tela do filtro rotativo, fazendo com que venha transbordar caldo;
- ✓ Fazer ciclo de limpeza com soda, pelo menos, 1 vez ao turno;
- ✓ Verificar se não estão obstruídos os bicos de limpeza da tela rotativa.

Filtração de lodo

A filtração dá-se na própria camada de lodo, em que as telas dos filtros são somente os suportes para a formação das camadas. No processo, utiliza-se três filtros prensa, sendo dois deles com capacidade de 40m³/h de lodo, e um menor com capacidade de 20m³/h.

O lodo, antes de ir para os filtros prensa, passa por mescladores, onde é dosado um polímero para ajudar na separação de sólidos e açúcares contidos nesse lodo. Em seguida, é distribuído pela tela do filtro prensa que é tracionado por um motor com inversor de frequência para que seja ajustada a rotação dessa tela, conforme a vazão de lodo. Enquanto a tela transporta o lodo, existem seis flautas com bicos de pressão instaladas na parte de cima, em paralelo com o sentido de rotação da tela, com a pressão de água quente. Essa água é bombeada do tanque de embebição dos filtros e, desse lodo, retira-se o açúcar que está contido no lodo; e as calhas de vácuo, que são instaladas no início e no final do filtro prensa, fazem a filtragem dessa água doce e mandam para um tanque de caldo filtrado que, por sua vez, retorna essa água doce para o início do processo no tanque de caldo misto. Esse lodo, já sem quase nada de açúcares, é chamado de torta e vai para uma moega que despeja essa torta em um caminhão para que seja reutilizada como adubo nos canaviais. Além disso, é realizada uma análise de POL dessa torta para saber se ainda restaram açúcares. Após o final desse processo, a tela passa por um sistema de limpeza, também com flautas e bicos, com pressão de água quente para que retorne novamente ao processo.

Cuidados operacionais de flautas, bicos e calhas de vácuo:

- ✓ Manter os bicos sempre limpos;
- ✓ Bicos de limpeza com pressão e desentupidos;
- ✓ Cuidar para que os bicos de limpeza não joguem água para fora;
- ✓ Limpeza deficiente dos bicos causa redução de área filtrante;
- ✓ Entrada de polímero bem conduzida nos mescladores;
- ✓ Entrada de lodo, de forma a ter boa distribuição;
- ✓ Flautas paralelas e bem alinhadas;
- ✓ Vedação da borda lateral com a tela em perfeitas condições;
- ✓ Rolo nivelador de lodo livre e, se tiver motor, funcionando;
- ✓ Ajustar, semanalmente, as calhas de vácuo em relação às telas, verificar encaixes e vedação lateral;

Cuidados operacionais do filtro prensa:

- ✓ Concentração de sólidos no lodo: Máximo 35% (se necessário diluir);
- ✓ Temperatura do lodo: $> 80^{\circ}$;
- ✓ Taxa da água de embebição da torta: $> 200\%$;
- ✓ Temperatura da água de embebição e limpeza de tela: 80° C;
- ✓ Espessura da torta: 7 a 10 (mm);
- ✓ Umidade da torta: $< 75\%$;
- ✓ Polímero entre 20 e 30 ppm (vazão de lodo);
- ✓ Pressão da água nos bicos de embebição da torta: $1,5 \text{ Kgf/cm}^2$;
- ✓ Pressão da água nos bicos de limpeza de tela: 10 Kgf/cm^2 ;
- ✓ Temperatura da água de limpeza de tela: $> 60^{\circ}\text{C}$;
- ✓ Pressão de vácuo: ≈ 3 a 5 in Hg.

Evaporação

Objetivo:

- ✓ Remover a água do caldo clarificado até uma concentração desejada, minimizando a perda de açúcares.

No processo de evaporação, trabalhos com três tipos de modelos de evaporadores, sendo eles, “Multi Reboiler”, “Falling Film” e Evaporação tipo “Robert”.

Pré-evaporadores modelos “multi reboiler”:

Nesse equipamento, é feita a primeira etapa da pré-evaporação, em que o caldo entra pela parte de baixo, na caixa de expansão, e é distribuído pelos “multi reboiler”. E na parte de cima dos “multi reboiler”, volta para a caixa de expansão terminando o circuito do processo. Nesses “multi reboiler”, é utilizado o vapor que é excedido das turbinas das moendas, porém, antes da alimentação desse vapor na calandra dos “multi reboiler”, ocorre um processo de dessuper e esse vapor se torna vapor saturado, pois é injetada uma quantidade de água para que seja diminuído a temperatura desse vapor, que deve-se manter, no máximo, 130°C com uma pressão de $1,5 \text{ Kgf/cm}^2$ a $1,7 \text{ Kgf/cm}^2$. Com a temperatura gerada desse caldo nos “multi reboiler”, quando ele retorna para caixa de expansão, o excesso desse vapor se torna um vapor vegetal “V1”, que é utilizado nos aquecedores “falling film”, evaporação tipo “Robert” e nos cozedores da fábrica de açúcar. Esse equipamento gera um condensado que é utilizado nas caldeiras, para resfriamento das fornalhas. Ele também utiliza controle de nível e fluxo por transbordo,

sendo que o valor do controle de nível, a vazão de entrada e o nível de caldo desses pré- evaporadores são controlados pelo supervisor.

Pré- evaporadores modelos “Falling Film”:

Esse caldo que sai dos “multi reboiler” vai para um tanque de caldo pré- evaporado e bombeado para os “falling film” para a segunda etapa de pré- evaporação.

Nesse equipamento, é utilizado o vapor “V1”, que é gerado pelos “multi reboiler”, e com o trabalho de evaporação ele também gera o vapor vegetal “V2”, que pode ser utilizado em alguns aquecedores e cozedores que tenham a opção de trabalho com os vapores vegetais “V1” e “V2”. O condensado gerado desse equipamento, assim como os aquecedores, vai para o tanque de embebição das moendas. Esse equipamento, assim como o “multi reboiler,” também utiliza controle de nível e fluxo por transbordo. O caldo retirado desse equipamento é bombeado por até duas bombas com inversores de frequência que agem de acordo com o nível do mesmo. A vazão de entrada e o nível de caldos nesses aparelhos também são controlados pelo supervisor.

Evaporadores tipo “Robert”:

Como dito anteriormente, o caldo bombeado dos pré- evaporadores “falling film” vem para os evaporadores do tipo “Robert”, que é a terceira e última etapa do processo de evaporação. Nesse equipamento, trabalhamos com o princípio de Rillieux, que é um método de múltiplos efeitos. O múltiplo efeito trabalha com pressões decrescentes do primeiro para o último efeito. Para que se consiga essas pressões decrescentes e negativas nos últimos evaporadores, é necessário um sistema de multijato; assim, não são utilizadas bombas para retirada de caldo de um evaporador para o outro. Para esse sistema de multijato, utiliza-se água de uma torre de resfriamento para que mantenha a água sempre numa temperatura ambiente. Nesse método, trabalhando com quádruplo efeito, com 1Kg de vapor são evaporados 4Kg de água, e se trabalha com quántuplo efeito, sendo que, com 1Kg de vapor são evaporados 5 Kg de água. Esses equipamentos também têm controle de nível e fluxo por transbordo e são controlados pelo supervisor. Desses equipamentos já sai produzido o xarope, que é caldo é bombeado desses equipamentos, para um tanque pulmão e depois utilizado no processo de cozimento.

Incrustações do lado interno dos tubos:

Causa:

- ✓ Decantação ineficiente;
- ✓ Precipitação de sais minerais e não açúcares;

✓ Deficiência de fornecimento e circulação de caldo nos tubos (queima de açúcar).

Consequências:

- ✓ Redução do coeficiente de troca térmica;
- ✓ Diminuição da capacidade de evaporação;
- ✓ Redução do °Brix do xarope;
- ✓ Pressão elevada (menor vácuo) em algumas calandras.

Remoção de incrustações:

✓ Tratamento de caldo eficiente diminui os teores de matéria orgânica e de sais;

✓ Operação em regime uniforme: alimentação de caldo e retirada de xarope constantes;

✓ Circulação adequada de caldo, mantendo o nível ótimo (1/3 da calandra): regiões mais incrustadas indicam deficiência de circulação;

✓ Aprimoramento da limpeza:

- Periodicidade;
- Conferência via calibre;
- Tipo de limpeza adequada.

Incrustações do lado externo dos tubos:

✓ Com óleo, através de vapor contaminado, no pré-aquecimento, sendo hoje uma ocorrência mais rara;

✓ Com lipídios e materiais gordurosos oriundos do caldo, nas caixas que recebem vapor vegetal;

✓ Com óxidos de ferro ou cobre, formados por ataque do vapor às superfícies de troca térmica (vapor vegetal com pH baixo);

✓ Com sais de cálcio, magnésio e sílica trazidos pela água de alimentação de caldeias ou arrastos do próprio caldo. Este depósito interfere na eficiência de transmissão de calor, devendo ser praticada, na entressafra, uma operação de limpeza das calandras.

Esta operação poderia ser efetuada por:

- Circulação de soda cáustica concentrada;
- Detergentes especiais.

Tipo de remoção de incrustações:

- ✓ Mecânica – Hidrojateamento;

- ✓ Mecânica – Rosetas (Raspadores);
- ✓ Química – Banho em ebulição;
- ✓ Química – Spray a quente;
- ✓ Conjugação Mecânica e Química.

Deve ser estudado qual desses processos é melhor, e isso vai depender de quantos equipamentos têm no processo e como é a forma de trabalho. Aqui, nesse processo, utilizou-se o hidrojateamento, já que há equipamentos suficientes para fazer o rodízio de limpeza.

Parâmetros de monitoramento do processo:

Xarope:

- ✓ pH – mínimo 6,0;
- ✓ °Brix – 60 a 68 (Recomendado 65);
- ✓ Queda de pureza – máximo 1,5 p.p. em relação ao caldo clarificado.

Vapor / condensado:

- ✓ Pressão “Escape” – 1,2 a 1,5 Kgf/cm²;
- ✓ Temperatura “Escape” – 127 a 132°C (entrada no pré-evaporador multi-reboiler);
- ✓ Pressão “V1” – 0,6 a 0,8 Kgf/cm².

Último efeito de evaporação:

- ✓ Pressão de vácuo – (-23 a -25” inHg)
- ✓ Temperatura corpo - máximo 65°C

Água do multijato:

- ✓ Temperatura de entrada – máximo 35°C
- ✓ Temperatura de saída – máximo 52°C
- ✓ Perda de ART – Arraste de vapor

Cozimento de açúcar

Na fábrica de açúcar, trabalha-se com duas massas: massa de primeira, que chamamos de massa “A”, e massa de segunda, que chamamos de massa “B”. São disponibilizados sete cozedores à batelada, sendo três deles com opções de trabalho, com os dois tipos de massa, e o restante apenas para produção de massa “A”; além de um cozedor contínuo, que é separado por duas câmaras - o mesmo trabalha apenas com massa “B”. Todos os cozedores têm um ponto de coleta para verificação da massa. Para armazenamento de massa “A”, são disponibilizados dez cristalizadores que armazenam

essa massa para depois passar por um processo de centrifugação direcionado ao produto final. Para a massa “B”, tem-se dois cristalizadores, que são instalados para a massa de saída do cozedor contínuo, e mais dois cristalizadores horizontais, onde é armazenada a massa que pode ser bombeada para o cozedor contínuo. Ou até mesmo para os cristalizadores do cozedor contínuo, para que seja centrifugada para produção do magma, que é utilizada para o começo da produção de massa “A”. Antes do início de cada cozimento, é feito um processo de limpeza e aquecimento com até 90°C de temperatura, com vapor para que fique limpo para um novo cozimento, e até mesmo para manter essa temperatura e ajudar na formação de pressão negativa. Isso é feito através de multijatos, que são instalados, individualmente, para cada cozedor. Esse sistema de multijato é igual ao do evaporador tipo “Robert”, porém, a água utilizada não é da torre de resfriamento, mas de um outro sistema de resfriamento, chamado spray. Esse sistema de spray funciona da seguinte forma: é bombeada a água com temperatura ambiente para os multijatos dos cozedores e parte dessa água, que retorna quente, é bombeada de novo para a piscina de multijato. Porém, antes de a água cair nessa piscina, existe uma tubulação que serve de coletor dessa água que, através de bicos spray, provoca a subida da água e, em contato com o próprio ar ambiente, é feito o resfriamento da mesma. A pressão de vácuo dos cozedores deve se manter em -23 inHg a -24 inHg. Os cozedores 1 e 2 têm a opção de trabalhar com vapor na calandra “V1” ou “V2”, a escolha vai depender do processo, porém, é bom lembrar que, quanto menor a pressão de vapor na calandra, maior será o tempo de cozimento. Já para o restante, utiliza-se apenas vapor “V1”, exceto o cozedor contínuo, que só utiliza o vapor “V2”. Quando o cozimento é de massa “A”, a alimentação dessa massa se faz com xarope que é uma solução mais rica em sacarose. Já os cozimentos de massa “B” são alimentados no mel, que é produzido na centrifugação da massa “A”. Essa solução é um caldo mais pobre em sacarose, por isso, não se pode utilizar nos cozimentos de massa “A” para que não escureça o açúcar e não tenha problema na centrifugação. Todos equipamentos automáticos dos cozedores podem ser vistos e controlados pelo supervisório e as válvulas automáticas também podem ser controladas por campo, por um painel instalado próximo a cada um dos cozedores.

Capacidade dos cozedores:

- ✓ Cozedor 1 – 600 Hectolitros (hl) = 60.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor 2 – 450 Hectolitros (hl) = 45.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor 3 – 350 Hectolitros (hl) = 35.000 Litros (L);

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

- ✓ Cozedor 4 – 350 Hectolitros (hl) = 35.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor 5 – 600 Hectolitros (hl) = 60.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor 6 – 500 Hectolitros (hl) = 50.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor 7 – 800 Hectolitros (hl) = 80.000 Litros (L);
- ✓ Cozedor Contínuo – 1000 Hectolitros (hl) = 100.000 Litros (L) cada

Câmara

Cristalização

A cristalização é a primeira etapa do cozimento e é iniciada com o preparo de semente, sendo separada uma quantidade de açúcar já produzida e peneirada (5Kg) através de uma peneira granulométrica; isso para deixar os cristais todos do mesmo tamanho.

Cuidados operacionais da cristalização:

- ✓ Peneiramento de açúcar antes e após o preparo;
- ✓ Antes: Abertura entre 1,0 mm e 0,71 mm;
- ✓ Depois: Abertura 0,25 mm;
- ✓ Proporção de esfera, açúcar e etanol 3:5:10;
- ✓ Moagem ideal: 5 Dias (120 horas);
- ✓ Maturação: 10 Dias;
- ✓ Rotina para avaliação em microscópio.

Após esse processo de peneiramento, o açúcar é colocado em um batedor com esferas de aço inoxidável e são adicionados 5 litros de álcool anidro. Utiliza-se o álcool porque é um produto que não faz a diluição desses cristais de açúcar. É necessário que essa mistura fique no batedor, rodando por, no mínimo, 72 horas, para que fique uma pasta homogênea. Após esse tempo, a massa é retirada do batedor e armazenada em um maturador, que fica rodando lentamente para que não decante os cristais de açúcar. Porém, o tempo máximo que essa massa pode ficar nesse maturador é de 10 dias.

Parâmetros importantes para a condução de um bom cozimento:

- ✓ Bom preparo de semente;
- ✓ Ajuste do ponto de injeção de semente (granagem);
- ✓ Corretos procedimentos de operação de cristalização e cozimento;
- ✓ Procedimento de cortes bem definidos (balanço de cristal);
- ✓ Ajuste e monitoramento de parâmetros de processos de fabricação;
- ✓ Fervura de água nos cozedores antes de cada cristalização.

Feito todo esse processo, já pode ser iniciada a cristalização. Existe um cozedor já projetado com as configurações específicas para esse tipo de processo, que é o cozedor 2. É importante ter um cozedor apropriado para as cristalizações, pois se algo der errado nesse processo, o produto final ficará errado também.

Melhor ponto para adição de semente:

- ✓ Ponto adjacente ao costado do cozedor;
- ✓ Tubulação de 1” próximo ao tubo central de alimentação;
- ✓ Tubulação de 1” ao centro do cozedor;
- ✓ Na tubulação de alimentação de xarope/mel do cozedor.

A cristalização é feita da seguinte forma, como dito anteriormente, com processo de limpeza e aquecimento até os 90°C com vapor, sendo colocados 40% da capacidade do cozedor 2 de xarope/mel. É aconselhado o xarope que é uma solução mais rica em sacarose. Completados os 40%, entra-se no processo de concentração dessa matéria até chegar ao ponto de fio, que se dá com 80 °Brix. Esse ponto deve-se manter constante, por pelo menos 5 minutos, para evitar cristais indesejados. Para se ter uma boa cristalização, com o controle desse 80 °Brix, usa-se uma válvula automática que controla a entrada de água que faz um processo de lavagem após a injeção dessa semente. Dessa forma, se o °Brix aumentar essa válvula automática, começa abrir para que seja injetada água e diminua para que se mantenha constante os 80 °Brix. Enquanto fica nesse processo, já pode ir pegando a semente no maturador para que seja injetada. No processo específico, normalmente, são utilizados 600 ml. Passados os 5 minutos, a semente pode ser injetada para dentro do cozedor, seguindo para o processo de lavagem dessa cristalização, durante 20 minutos, para que dê tempo de os cristais se espalharem por toda a quantidade de xarope contida no cozedor. Além disso, essa lavagem também consegue manter os cristais sem ter diferenças de tamanhos. Passados os 20 minutos, já pode ser verificada, pela sonda de coleta do cozedor, a granagem. Então, há a continuidade do cozimento, e quando atingir o nível máximo do cozedor, será feita a divisão dessa massa cristalizada para continuação do processo e o início da produção de massa “B”. Normalmente, é feita uma divisão em oito partes - cada uma dessas partes é chamada de “pé”. Para armazenamento dessas partes, tem-se duas sementeiras: em uma é passada metade da massa, e como foi dividido em duas partes iguais, metade na sementeira e metade no cozedor, para cada uma delas vai ser dividida em mais quatro partes, somando oito partes. Continuando, então, com a massa que ficou no cozedor, será feito o cozimento no mesmo até o nível final, novamente.

Assim que chegar ao nível final, será dividido em quatro partes; sendo que, em três delas será passada para a outra sementeira vazia a uma parte continua no cozedor para andamento do processo. Essa única parte que ficou no cozedor já se torna um pé para massa de segunda (massa “B”), então é feito o cozimento novamente desse pé até o nível máximo do cozedor, e depois descarregado para os cristalizadores horizontais ou para os cristalizadores de massa “B”, do cozedor contínuo. Com o cozedor já vazio, é preparado para um novo cozimento da outra metade da massa que ficou estocada em uma das sementeiras. Pega-se, então, a outra metade e, da mesma forma, realiza o processo com a outra metade, dividida em quatro partes. São repassadas três para a sementeira vazia, com continuação do processo de massa B.

Cozimento de massa “B”

A massa B é uma massa mais pobre e alimentada com mel para manter a prioridade do xarope para massa “A”. No começo, tudo é alimentado no xarope, pois a produção de mel só será iniciada após a centrifugação de massa “A”, que já é o penúltimo processo da produção de açúcar.

Para dar sequência, os cozedores disponíveis para o cozimento de massa B são preparados para pegar um pé dos que estão estocados nas sementeiras. Após isso, ao chegar ao nível final do cozedor, é descarregado em algum dos cristalizadores de massa “B”. Com os cristalizadores de massa “B” quase cheios, inicia-se a centrifugação da massa “B” para produzir o magma e começar o processo de massa “A”, ou então, iniciar o cozedor contínuo para mais massa “B”. Essa decisão irá depender de como está o processo, lembrando que o cozedor contínuo não consegue ser alimentado com xarope, apenas com mel. Então, normalmente, é iniciada primeira a centrifugação de massa “B” para que seja produzido o magma para produção de massa “A”, e só depois de uma boa estabilização do processo de centrifugação de massa “A” que será iniciado o cozedor contínuo.

Centrifugação de Açúcar

O objetivo da centrifugação é a separação dos méis ou licor mãe que envolvem os cristais de açúcar em uma massa cozida.

De maneira geral, a capacidade de uma centrífuga está diretamente relacionada à força centrífuga (força “G”) aplicada.

Nesse processo, utilizou-se dois tipos de centrífugas: intermitentes (batelada) para massa “A”, e contínuas para massa “B”.

Centrifugação de massa “B”

Centrífugas contínuas:

- ✓ São utilizadas para massa “B” e C;
- ✓ Tempo de residência da massa na centrífuga é pequeno e requer altas velocidades;
- ✓ A centrífuga gira a uma velocidade constante e é alimentada por um “fio” contínuo de massa em uma vazão constante.

Princípios de funcionamento:

- ✓ A massa entra pelo centro e dentro da centrífuga tem-se um cesto giratório com telas, onde acontece a separação dos méis e cristais.

Cesto giratório:

- ✓ Construído em aço inox, com 34° de inclinação;
- ✓ O cesto está acoplado sobre o cabeçote, que transmite força à centrífuga.

Telas:

- ✓ Construídas em aço níquel-cromo, com furações de a 0,045 a 0,09 mm, fixas na contratela.

Sistema de lavagem:

- ✓ Sistema de bicos dispostos sobre toda a superfície da tela;
- ✓ Tem finalidade de melhorar a qualidade do açúcar;

A regulagem de água de lavagem é feita através da pureza do magma e mel final.

Na centrifugação de massa “B”, o objetivo das centrífugas contínuas é separar o mel do magma, que é uma massa utilizada para dar início na massa “A”. Essas centrífugas trabalham de forma automática, onde o manuseio é feito por um painel em campo, sendo que cada máquina tem um painel de controle. Esse magma é transportado por uma rosca sem fim, instalada num coxo onde é descarregada a massa das centrífugas e bombeada para um tanque de magma, onde fica armazenado para ser utilizado no processo adiante. O mel separado, chamado de mel final, é bombeado diretamente para a destilaria.

Transporte de magma:

- ✓ Mistura cristais de açúcar com água, formando o magma, e o conduz até a bomba;
- ✓ Controle de nível de magma garante a integridade do estator da bomba;
- ✓ Controle da concentração de magma favorece o bombeamento.

Cozimento de massa “A”

Com o nível do tanque de magma atingindo uma métrica de 50%, já é possível dar início nesse processo de cozimento de massa “A”, que funciona da seguinte forma: retira-se uma porcentagem de magma do tanque, também chamada de “pé”, como no processo de cozimento da massa “B”, em um dos cozedores menores, que é o 3 e o 4, e é feito o cozimento até o nível máximo desses cozedores. Normalmente, essa massa é “cortada” para os cozedores finais, que são os maiores - o 5 e o 6. Ou seja, se foi feito um corte do cozedor 4 para o cozedor 5, da próxima vez que o cozedor 4 encher com o restante da massa que ficou após o corte, é passada totalmente essa massa para o cozedor 6. É como se 1 cozedor pequeno fosse dividido para 2 cozedores maiores. Esses cortes serão analisados de acordo com o processo, pois muitas coisas podem influenciar, como o brix do xarope que, quanto mais alto, menos tempo terá o cozimento. Por conta desse tempo de cozimento, menos os cristais se desenvolvem e, no final, fica um açúcar fora da especificação. Um ponto a se observar é um cozimento no cozedor 7, que é o maior de todos. Nesse caso, já é um pouco diferente o processo; é aconselhável que o pé seja feito pelo cozedor 1 e, por ser muito maior que os outros cozedores, o corte não é feito. Portanto, sempre é passada toda a massa, até porque, por ser um cozedor bem maior que os outros, toda massa passada para ele pelo nível que ele fica, é como se tivesse feito um corte. A calandra dele é muito grande em relação aos outros cozedores. Para saber o nível de corte, é aconselhável que a massa ultrapasse, pelo menos, uns 10cm dos tubos da calandra do cozedor. Isso para que se tenha contato visual de como está a massa e não venha a ter um problema, como um isolamento dos tubos por falta de alimentação, ou a perda dos cristais pelo excesso do fluxo de alimentação entrando no cozedor. Deve-se sempre sondar os cozedores e ter o contato visual da massa pelos visores mesmo trabalhando de forma automática, pois se algum equipamento de automação falhar conseguimos ajustar manualmente e assim evitar uma perda dessa produção ou um retrabalho. Quando os cozedores maiores chegam ao nível máximo, é feito um processo de concentração dessa massa para que seja descarregado nos cristalizadores de massa “A” e depois centrifugados.

Parâmetros de monitoramento:

Massas:

- ✓ Brix da massa “A” – 92 a 93 °Brix;
- ✓ Brix da massa “B” – 93 a 94 °Brix;

- ✓ Pureza da massa “A” – 0 a 2 p.p acima da pureza do xarope (sem recirculação de mel)
- ✓ Pureza da massa “B” – igual a pureza do mel misto diluído:
 - **Obs:** Queda de pureza da massa “A”: VHP 12 a 15 pontos;
 - **Obs:** Queda de pureza da massa “B”: VHP 17 a 22 pontos.
- ✓ Tempo de cozimento (massa “A”) – 1,5 a 3,0 Horas;
- ✓ Tempo de cozimento (massa “B”) – 2,0 a 4,0 Horas (alimentado com mel diluído).

Magma:

- ✓ Brix do magma – 88 a 90 °Brix;
- ✓ Pureza do magma – (açúcar VHP) 89 a 92 °Brix.

Geral:

- ✓ Altura de massa em cozedores bateladas – 1,50 a 1,80 m;
- ✓ Acidez mel final – menor que 7mg/L/%Brix;
- ✓ Temperatura durante o cozimento – máximo 68°C;
- ✓ Pressão de vácuos dos cozedores – (-24 a -25 inHg).

Méis:

- ✓ Brix do mel diluído – 68 a 70 °Brix:
 - **Obs:** importante garantir a total diluição dos cristais.
- ✓ Brix mel final – mínimo 82 °Brix.

Centrifugação de massa “A”

Na centrifugação de massa “A”, utiliza-se cinco centrífugas intermitentes (Batelada) para produção de açúcar cristal, demerara e VHP, sendo duas centrífugas “VETEK” menores, com capacidade de 1000 kg de massa e que descarregam, em média, 500 kg de açúcar; e três centrífugas “MAUSA” maiores, com capacidade de 2250 kg de massa e que descarregam, em média, 1500 kg de açúcar - podendo fazer 29 ciclos por hora. O mel que é separado do açúcar é bombeado para um tanque onde é feita a diluição desse mel. Essas centrífugas são operadas automaticamente, e o controle é feito em campo por um painel individual para cada centrífuga. Diferente das centrífugas contínuas, é feita a separação de dois tipos de mel, que chamamos de “mel rico” e “mel pobre”. Porém, no final, é tudo misturado e se torna o “mel misto”. A outra diferença também é que ela deve carregar a carga de acordo com regulagem de um apalpador que faz o controle de carga. No primeiro estágio de centrifugação, é extraído o mel pobre e depois é feita uma lavagem

com água quente por um tempo também determinado no painel de controle. Enquanto ocorre a lavagem, entra o segundo estágio de centrifugação, que extrai o “mel rico”, pois essa água que lava a massa dilui alguns cristais por isso é chamado de mel rico, e só depois, no final de todo esse ciclo, que é descarregado o açúcar numa bica de jogo que irá transportar esse açúcar para o último, e não menos importante, processo da produção de açúcar, que é a secagem. Muitas vezes, a qualidade do açúcar depende de uma centrifugação muito bem conduzida.

Capacidade de produção:

- ✓ Conteúdo do cesto (volume);
- ✓ Duração do ciclo;
- ✓ Conteúdo dos cristais na massa cozida.

Tempo do ciclo:

- ✓ Tipo de centrífuga;
- ✓ Controle automático;
- ✓ Qualidade da massa;
- ✓ Qualidade do açúcar.

Princípios de funcionamento:

Descarregador automático:

- ✓ A finalidade de retirar o açúcar retido na tela e dirigi-lo à bica de jogo;
- ✓ É constituído de um eixo quadrado com rosca interna e está acoplado à

raspa.

Sistema de alimentação da massa:

- ✓ Válvula bi excêntrica manual;
- ✓ Válvula borboleta de acionamento pneumático.

Cônico de fechamento de fundo:

- ✓ Distribui a massa no cesto durante a alimentação;
- ✓ Fecha o fundo do cesto durante a centrifugação.

Limitador de carga ou apalpador:

- ✓ Controla a carga da camada de massa no cesto;
- ✓ Comanda a abertura e o fechamento da válvula automática de carga que

deve ser ligada em paralelo.

Sistema de lavagem:

- ✓ Parâmetros água de lavagem:

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

- Pressão = 4 a 6 Kgf/cm²;
- Temperatura = 95 a 115 °C;
- Turbidez = < 3NTU;
- Aspecto visual = límpida e incolor.
- ✓ Deve-se verificar entupimento nos bicos e posição das flautas;
- ✓ O espaçamento entre os bicos e a distância até a parede de açúcar deve impedir a sobreposição dos leques, evitando a formação de cavidades pela dissolução do açúcar.

Lavagem com água superaquecida

Lavagem deficiente de açúcar:

- ✓ Maior uso de água;
- ✓ Vibração excessiva;
- ✓ Maior geração de mel e menor recuperação de fábrica.

Boas práticas operacionais:

- ✓ Ajuste mínimo de tempo para carregamento completo do cesto com massa;
- ✓ Mínimo de açúcar no fundo e tela após a descarga;
- ✓ Limpeza de tela da centrífuga;
- ✓ Vazamento e gotejamento de mel na bica de jogo;
- ✓ Checar que não exista vapor nos coletores de massa;
- ✓ Implementar rotina de alinhamento dos descarregadores e ajustes das raspas;
- ✓ Ajuste do sistema de centralização do cesto para a máxima aproximação da raspa;
- ✓ Manter fluxo constante de carga nas centrífugas;
- ✓ Ajustar tempo de lavagem para o mínimo possível.
- ✓ A implementação de centralizadores para o descarregamento permite melhor raspagem das telas e menor uso de água de lavagem das telas e da massa durante o ciclo:
- Menor recirculação de açúcar;
- Maior recuperação de fábrica;
- Menor geração de méis.
- ✓ Uso de bicos tipo Spraying/Bikos em detrimento dos bicões tipo.

Secagem

O objetivo do processo de secagem é reduzir a umidade do açúcar a um nível aceitável para a estocagem. Manter a temperatura do açúcar na faixa abaixo de 38°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem.

Tipos de secadores

Os mais utilizados são:

- ✓ Secador de tambor rotativo (horizontal);
- ✓ Secador de bandejas (vertical).

No processo específico, foi utilizado o secador de tambor rotativo horizontal. O sistema funciona da seguinte forma: o açúcar é descarregado das centrífugas e vai para uma bica de jogo transportadora, lançando-o ao primeiro elevador de canecas, chamado de elevador de açúcar úmido. Do elevador, o açúcar desce para a primeira rosca sem fim, chamada rosca de açúcar úmido. Essa rosca transporta o açúcar para entrada do tambor rotativo horizontal, onde ocorre a secagem. Dentro desse tambor rotativo, há chapas defletoras (aletas) que vão transportando o açúcar em forma de cascata até o final do secador, onde tem uma outra rosca sem fim, chamada de rosca de açúcar seco. Ela também transporta para um outro elevador de canecas, chamado de elevador de açúcar seco e esse elevador transporta para uma balança de fluxo automática, onde é feita a contabilidade da produção realizada. Esse açúcar, já pesado, cai em uma esteira de borracha que o transporta para os armazéns de estocagem. Para esse tipo de secador, utiliza-se três exaustores: o primeiro funciona como um ventilador de ar frio, que faz com que o ar ambiente entre dentro do tambor para que ajude na secagem, juntamente com o vapor na entrada do secador; o segundo fica mais ou menos no meio do tambor para retirar parte dos gases e pó e transferi-los para uma caixa lavador de gases, chamada de “caixa de pó”. Nessa caixa, há um transmissor de nível para que mantenha sempre com água na bacia do lavador e um transmissor de °Brix para que seja acompanhado e bombeado para o processo, no clarificado do álcool. E o terceiro funciona como um ventilador, que joga o ar ambiente para dentro do tambor, na parte final do secador, indo contra o açúcar que está movendo internamente no tambor para fazer o resfriamento do açúcar.

Secador de tambor rotativo (horizontal):

- ✓ cilindro metálico horizontal, levemente inclinado de 5 a 7° - para facilitar a progressão do açúcar;
- ✓ Aletas recolhem o açúcar e o deixa cair em forma de cascata;

UniSALESIANO – Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium

- ✓ Geralmente, o açúcar caminha contracorrente com o ar;
- ✓ o corpo secador deve ser dividido em 2 partes: secagem e resfriamento.

Lavador de gases:

- ✓ O exaustor conduz gás e pó do centro do cilindro para a coluna lavadora;
- ✓ A coluna contém tubulações de lavagem e uma câmara de separação de partículas/ar;
- ✓ A água com o açúcar diluído é descarregada pela parte inferior do lavador, retornando para o processo.

Obs.: Para colunas de aço carbono ou aço inox, caldo clarificado quente pode ser utilizado para lavagem.

Principais cuidados operacionais:

- ✓ Verificar o controle/vazão de ar quente no ventilador do radiador;
- ✓ A temperatura do ar aquecido não pode ser superior a 95°C;
- ✓ Controlar a temperatura do açúcar úmido em torno de 60°C - acima deste valor seca melhor, porém, dificulta o resfriamento;
- ✓ Verificar o controle de entrada de ar frio no exaustor do secador para evitar arrastes de açúcar para o lavador de pó;
- ✓ Verificar as condições das telas para evitar passagem de açúcar para o lavador de pó;
- ✓ Verificar o brix do lavador de pó;
- ✓ Verificar nível de água da bacia do lavador;
- ✓ Temperatura do açúcar no estoque abaixo de 38°C.

Causas da temperatura elevada no estoque:

- ✓ Vazão de ar do ventilador insuficiente;
- ✓ Vazão de ar do exaustor insuficiente;
- ✓ Tempo de retenção insuficiente – valor recomendado de 5 a 10 minutos;
- ✓ Cascadeamento do açúcar no interior do secador rotativo deficiente devido à distribuição e geometria das aletas;
- ✓ Temperaturas muito elevadas na alimentação do secador;
- ✓ Tempo de lavagem com vapor nas centrífugas, excessivamente, longo.

Considerações finais

Observou-se que, no processo em geral, além de bastante complexo e extenso, também é bastante variável. Existem várias formas de trabalhos, porém, o intuito final é igual.

Mesmo existindo várias formas para chegar no produto final, é importantíssimo seguir todos procedimentos e seguir, rigorosamente, as análises das matérias do processo para que se tenha um ótimo produto no final. Como se pode perceber, o processo é um efeito cascata, ou seja, se algo der errado no começo, não irá ter bons resultados no produto final, e se algo der problema no final, pode prejudicar o restante do processo anterior. Outra coisa muito importante é evitar os desperdícios e retrabalho, pois isso gera maior custo, tempo e diminuição na produção.

Bibliografia

ALBUQUERQUE, F. M. (2011). Processo de Fabricação do Açúcar. Recife: Editora Universitária UFPE.

BELTRÃO, Sebastião de Castro; ANDRADE, Samara Alvachian; Engenharia e Tecnologia Açucareira. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

GROFF, A. M., MENEGUETTI, C. C. e MEZARROBA, S. Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. In: IV Encontro de engenharia de produção agroindustrial, 2010, Campo Mourão.

LOPES, C. H. Tecnologia de Produção de Açúcar de Cana. São Carlos: EdUFSCar, 2011.

LOPES, Jorge José Corrêa. Produção de açúcar. UFSCar. Ago. de 2010. Trabalho inédito

Magalhães, A. C. (2011). Ebah., disponível em Ebah – Alcool e Açúcar - Cozimento: [Cozimento - Apostilas - Engenharia Química - Docsity](#)

Nova Cana. (2011), disponível em Nova Cana: [A produção de cana-de-açúcar no Brasil \(e no mundo\) | novaCana.com](#)

PAYNE, John Howard. Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel/STAB, 1989.

POLONIO, W, L. Análise de diferentes meios filtrantes primários usados em filtro contínuo de tambor rotativo a vácuo para lodo de caldo de cana de açúcar. 2004. 168 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Bauru, 2004.

SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluizio; CALDAS, Celso. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. Viçosa: Editora UFV, 2010.

Projeto de peneira vibratória para separação de sólidos em atividades de Construção Civil

Vibratory Sievi Project for Separation of Solid in Civil Construction Activities

Alexsander Henrique dos Santos¹

Andreson Batista Montalvao Junior¹

Mauro Pasquim do Nascimento¹

Cesar Roberto Menqui¹

Guilherme Basseto de Castro¹

Murilo de Mello Reis¹

Pedro Henrique Leandro¹

Amadeu Zanon Neto²

Fernando Gabriel Eguia Pereira Soares³

RESUMO

O material deste artigo trata do projeto de uma ferramenta para facilitar no dia a dia dos construtores civil, devido a uma grande demanda de serviços nas construções, onde os construtores encontram dificuldades na entrega das obras, e acidentes com seus funcionários que em algumas situações acabam sendo afastado e assim atrasando a obra. Deste modo, é essencial introduzir essa ferramenta para que possa de uma forma otimizar a demanda e também minimizar as exposições ergonômicas. Com a implementação de uma peneira elétrica, é possível obter grandes vantagens nas construções civis, como ganho de tempo e menor exposição ergonômica para o trabalhador.

Palavras-Chave: Construções Civis, Peneira Elétrica, minimizar Ergonomia, Otimizar Tempo.

¹ Acadêmicos do 10º termo do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, SP, Brasil. (Peneiraeletrica@outlook.com)

² Amadeu Zanon Neto ² Bacharel em Ciências especializado em computação e Tecnologia Gráfica ² pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, Orientador do trabalho e docente nos cursos de Engenharias Centro Universitario Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, SP, Brasil: (zanon@unisalesiano.com.br)

³Fernando Gabriel Eguia Pereira Soares ³Engenheiro Mecânico ³ pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, Coordenador do trabalho e docente nos cursos de Engenharias Centro Universitario Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, SP, Brasil. (fernando.eguia@yahoo.com.br)

ABSTRACT

The material in this article deals with the design of a tool to facilitate the daily lives of civil builders, due to a great demand for services in constructions, where builders encounter difficulties in delivering the works, and accidents with their employees that in some situations end being removed and thus delaying the work. Therefore, it is essential to introduce this tool so that you can optimize demand and also minimize ergonomic exposures. With the implementation of an electric sieve, it is possible to obtain great advantages in civil constructions, such as saving time and less ergonomic exposure for the worker.

Keyword: Civil Constructions, Electric Sieve, Minimize Ergonomics, Optimize Time.

INTRODUÇÃO

Em meio ao cenário de desenvolvimento do país, o ramo da construção civil, passa por um processo de grande ascensão em suas respectivas demandas e, posteriormente agrega uma linha de expansão para os construtores vinculados ao ramo.

A elaboração de um projeto de uma peneira vibratória para a separação de sólidos, parte de uma ideia de obter uma ferramenta que gera grandes e significantes benefícios voltados aos processos de construção civil, com base nas etapas que geralmente são padronizadas durante a execução de um projeto.

O intuito focal da pesquisa está voltado ao processo de elaboração e execução do projeto de uma peneira vibratória para a separação de sólidos para aplicação em construção civil de pequeno porte. Visando a maximização com relação ao rendimento na atividade, minimizar riscos e exposições dos executores das etapas a serem realizadas durante os respectivos passos de execução da obra dentre eles, a exposição ergonômica, que pode acarretar danos irreversíveis aos executores tratando-se de consequências a longo prazo.

Durante a realização das etapas das atividades em construções civis, geralmente, os executores de construtoras de pequeno e médio porte realizam grande parte das atividades de preparo de uma forma manual. Dois temas importantes, sendo eles

direcionadas ao rendimento no processo produtivo, ou seja, otimização do tempo de transcorrência da atividade realizada e as questões relacionadas a integridade física do executor durante o processo de preparo.

OBJETIVO

Otimizar as atividades de peneiramento de areia nas construções civis realizadas de forma convencional, ou seja, manualmente pelos trabalhadores envolvidos na atividade. O projeto possui duas finalidades específicas relacionadas à otimização da atividade realizada com ganhos em produtividade e diminuir o tempo de exposição ergonômica por parte do executor da atividade.

METODOLOGIA

No projeto proposto, o foco está voltado ao desenvolvimento e aplicação de metodologias adquiridas na transcorrência dos dados pesquisados. Uma vez analisadas as informações para o desenvolvimento do projeto, obtidas por intermédio de um histórico de pesquisas de projetos similares realizados anteriormente, um referencial para pesquisas posteriores e, por fim, assimilação com relação ao projeto desenvolvido.

Nessa pesquisa, a metodologia que será aplicada com relação a abordagem das informações, está diretamente ligada a pesquisas bibliográficas e de campo. O intuito está relacionado a coleta de informações por intermédio de teorias contidas nas bibliografias e, posteriormente a aplicação em entrevista com uma atividade realizada em campo visando coletar as informações de forma mais assertiva para que possa ter um sincronismo entre os conceitos teóricos abordados e a realização da atividade em campo.

Para o peneiramento usaremos a areia que é um agregado muito antigo, é um sedimento elástico inconsolidado, resultando da britagem de rochas chamada na construção civil como agregado miúdo, onde se origina de fontes naturais como leitos de rios, depósitos eólicos, bancos e cavas ou processo como a britagem, formada por grãos resistentes, duráveis, de variados tamanhos e inertes, onde quando em contato com a água não ocorre nenhuma reação em geral esses grãos são formados de quartzos com diâmetro entre 0,06 a 2,0 mm, mas nem sempre precisa ser formado de quartzos, a areia tem uma graduação de 0,15 a 4,8 mm. (BAUER, 2000)

DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

A proposta inicial do desenvolvimento da pesquisa está diretamente relacionada ao ciclo de produção abordado na área da construção civil. Basicamente, o princípio da problematização está vinculado aos pequenos e médios construtores, que por sua vez, executam grande parte de suas respectivas atividades compostas nas etapas da construção civil de forma braçal, ou seja, mantendo uma forma tradicional para a realização das atividades. Com essa forma de trabalhar, abordando o processo de separação de sólidos como a areia, obtêm-se em paralelo ao ciclo de produção, as delimitações, tais como: Baixa produtividade, maior desgaste por ser uma atividade realizada de forma braçal e, as consequências ergonômicas são fatores preocupantes.

JUSTIFICATIVA

Com base na proposta de pesquisa, o desenvolvimento da peneira vibratória para a separação de sólidos, gera uma perspectiva positiva tanto para o ciclo de produção em meio ao cenário da aplicação em construções civis, quanto para a integridade dos trabalhadores que exercem essas atividades, que geralmente se torna aplicável para pequenos e médios construtores.

Tratando de aspectos sociais, quando ocorre um acidente ou uma restrição neste tipo de trabalho, as implicações afetam não somente o trabalhador, mas também as pessoas de seu convívio social e familiar, desta forma, podem ser minimizadas com a aplicação da utilização da peneira de uma forma que o trabalhador mantenha sua integridade em um período de maior, e que as limitações do seu corpo, venham com o passar dos anos e não com os esforços exercidos no decorrer do mesmo período citado.

FUNDAMENTOS DA PENEIRA

De acordo com estudo publicado por IIZUKA (2006) o peneiramento é uma operação mecânica importante em diversas indústrias como as siderúrgicas, alimentos e agrotóxicos.

A função do peneiramento se resume em mecanismos mecânicos que fazem separações de materiais com granulometria diferente, classificando-os em duas ou mais classes que serão divididas por tamanho das partículas, onde são definidas de acordo com o material aplicado (MILHOMEM, 2013).

A superfície de peneiramento (malha) pode ser telas de malhas quadradas ou retangulares, com matéria-prima de poliuretano, borracha ou arame de aço. As dimensões das partículas dos materiais a serem peneirados podem variar desde 0,130 mm até 2000 mm, na mineração essa dimensão pode ser ainda maior, devido aos grandes blocos de minérios (IIZUKA, 2006).

Geralmente, as peneiras vibratórias são caracterizadas pelas suas dimensões da superfície de peneiramento. Outro aspecto importante é o movimento vibratório da peneira que é realizado por sistemas que possui dispositivo de acionamento e fundamentado em massas desbalanceadas.

As peneiras vibratórias dispõem tipos de vibração: com movimento circular (peneiras inclinadas ou peneiras circulares) ou com movimento linear (peneiras horizontais ou peneiras lineares).

Já as peneiras horizontais, possuem uma movimentação retilínea, pois se o movimento vibratório fosse circular, como nas peneiras inclinadas, a partícula não sairia do lugar em relação ao deck. A direção da força causada pelo movimento linear geralmente forma um ângulo de 45° com a superfície de peneiramento, e a amplitude é dada pela metade do comprimento do trajeto realizado pelo seu movimento (IIZUKA, 2006).

PROJETO PENEIRA VIBRATÓRIA

ESTRUTURA DA PEÇA

Segundo (Chiaverini, 2005) com a grande variedade de tipos de aços por todo o mundo foram criados sistemas para suas classificações. Eles podem ser classificados em grupos em relação a suas propriedades comuns como, composições, processo de acabamento e como forma do produto acabado.

Através de um estudo sobre aços e suas ligas, o aço a ser usado será o SAE 1020 pois é muito utilizado em engrenagens, eixos virabrequins pinos guia, colunas catracas capas e principalmente em tubos onde no projeto a ser desempenhado irá usar tubos para sustentação do suporte. Segundo (BRANCO, 2007), as principais aplicações do aço 1020 são em chapas automobilísticas, perfis estruturais, placas para produção de tubos, construção civil, pontes e latas de folhas flandres.

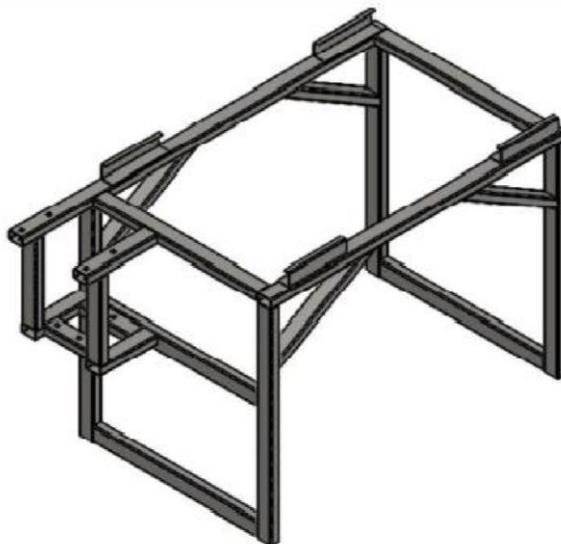


Figura 1: Estrutura metálica da peneira Fonte: Os autores, 2021.

MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos nada mais é um conversor de energia elétrica em energia mecânica, é uma das maiores invenções na indústria elétrica, eles têm como funcionamento básico a força magnética e a corrente elétrica, possuindo dois tipos básicos de motores o CA (Corrente alternada) e CC (Corrente contínua), esses dois tipos usam a mesma parte básica, tendo uma diferença nos tipos de alimentação (FRANK D. PETRUZELLA, 2013).

Na escolha de motores elétricos há muitos fatores de seleção, o que torna ele determinante para aquele tipo de equipamento, alguns dos fatores para ser levado em conta no processo de seleção, é fonte de alimentação o qual deve saber a tensão utilizada, frequência, entre muitos outros, outro fator é a condição onde ele irá trabalhar, temperatura a qual ele suportará altitude entre muitas outras, a exigência da carga e condições de serviço é outro fator a ser levado em conta, pois assim ele terá uma potência e rotações corretas, levando assim ao consumo e manutenção correto para que tenha uma vida útil grande, e por fim outro fator é a controlabilidade onde o motor terá 32 torque, velocidade e corrente de partida de acordo com a exigência da carga (FRANCHI, 2008).

VIBRAÇÕES

A vibração está presente desde os primeiros tempos da história. Instrumentos musicais, como apitos e tambores. Estes instrumentos tiveram muita importância entre os povos primitivos como meios de comunicação. Mais tarde uma série de instrumentos musicais

como: cordas, metais percussão, foram criados, aproveitando movimentos vibratórios que são os geradores de ondas sonoras. Através desse acontecimento, foi aí então que surgiram as primeiras apurações para os estudos de fenômenos vibratórios. É chamado de vibração, ou oscilação, qualquer movimento realizado de forma regular ou irregular entre um intervalo de tempo.

São chamados de vibração, ou até mesmo oscilação, quaisquer movimentos que se repete de forma regular e até mesmo irregular, dado um intervalo de tempo. Em diversos lugares usam o exemplo que é muito conhecido nesse conceito, que é o pêndulo simples, que existem valores diferentes de energia cinética e energia potencial no decorrer de sua trajetória. No âmbito da engenharia esses movimentos ocorrem em elementos de maquinas ou em estruturas em gerais, quando estão submetidas em ações dinâmicas.

A pesquisa inicial de engenharia de vibração foi motivada pelo problema de equilíbrio do motor. O desequilíbrio pode ser causado por problemas de design, bem como de fabricação e manutenção.

MOVIMENTOS VIBRATÓRIOS LINEARES

De acordo com (RAO, 2009) todos os componentes básicos, molas, massas e amortecedores do sistema de vibração exibem comportamento linear, a vibração resultante é chamada de vibração linear. No entanto, se qualquer elemento exibir não linearidade, a vibração é chamada de vibração não linear. As equações diferenciais que controlam o comportamento de sistemas de vibração linear e não linear são lineares e não lineares, respectivamente. Se a vibração for linear, o princípio da superposição é eficaz e as técnicas de análise matemática também estão bem desenvolvidas. Para vibração não linear, o princípio de superposição é inválido e a técnica de análise é pouco conhecida.

Uma vez que todos os sistemas de vibração tendem a exibir não linearidade à medida que a amplitude de oscilação aumenta, é bom entender a vibração não linear ao lidar com sistemas de vibração na prática. Considerando alguns sistemas de acionamento utilizado na peneira vibratória que permitem diferentes movimentos, partindo do movimento circular livre, passando por sistemas circulares excêntricos, lineares, elípticos e de alta frequência, e por fim comparando as características e utilizações entre eles. Para estratificar as camadas de material para tornar as partículas finas mais facilmente expostas aos furos da peneira, de forma a melhor classificar ou separar os materiais necessários.

AUTOMAÇÃO

O conceito de automação utiliza a ideia de utilizar a potência elétrica ou mecânica com a finalidade de acionamento de algum tipo de máquina ou equipamento. A máquina deve possuir uma composição com algum tipo de inteligência para a execução de suas tarefas de um modo prático e eficiente trazendo consigo vantagens que agreguem na economia e segurança.

De acordo com (RIBEIRO, 2001), a Automação é um sistema que emprega processos automáticos que comandam e controlam os mecanismos para realizar o seu próprio funcionamento. Esta palavra tem origem no grego autómatos que significa mover-se por si ou que se move sozinho.

CLP – CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável, ou simplesmente CLP, é usado para denominar aparelhos digitais que comandam de forma automática a execução de funções específicas por maquinário industrial, sem a necessidade de comandos humanos diretos. Pode ser definido como um dispositivo de estado sólido, um computador industrial capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização e contagem). Além de realizar operações lógicas aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de Sistemas Automatizados.

CPU e MEMÓRIA

Para tarefas de automação, a CPU de um CLP deve ser escolhida de acordo com a demanda de processamento lógico, que varia com a complexidade do maquinário. Com o apoio de um bom sistema de memória, o equipamento é capaz de armazenar, analisar e processar informações para definir de forma autônoma a melhor forma de gerir todos os aparelhos conectados.

SISTEMA INPUT / OUTPUT

O CLP precisa de entradas e saídas suficientes para conectar todos os equipamentos no chão de fábrica. Só assim é possível tirar o máximo da tecnologia e implementar uma comunicação M2M realmente centralizada.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Ao contrário de um PC de mesa ou um notebook, o CLP geralmente precisa funcionar 24 horas por dia e qualquer interrupção pode significar prejuízos na produção. Por isso, a alimentação do equipamento é muito importante e possui sistemas redundantes para evitar qualquer dano causado por instabilidade de corrente. Ao contrário dos computadores comuns, o CLP é feito para trabalhar em áreas industriais, sujeito a poeira e outros agentes que seriam muito nocivos a equipamentos eletrônicos não preparados para isso.

LÓGICA

O termo lógica é geralmente associado ao conceito de binário, o que significa que há apenas um de dois estados possíveis, como liga-desliga, aceso-apagado, alto-baixo, verdadeiro-falso, presente-ausente, maior-menor, igual-Diferente ou 1-0. O termo lógica se refere a um sistema que obedece a um conjunto fixo de regras e sempre apresenta o mesmo conjunto de saídas para o mesmo conjunto de entradas, embora essas respostas possam ser modificadas por certas condições internas, como a saída de um estado do temporizador ou contador. A lógica sempre se aplica à combinação de E (AND), OU (OR), NÃO (NOT), e nunca se aplica a TALVEZ. (RIBEIRO, 2001)

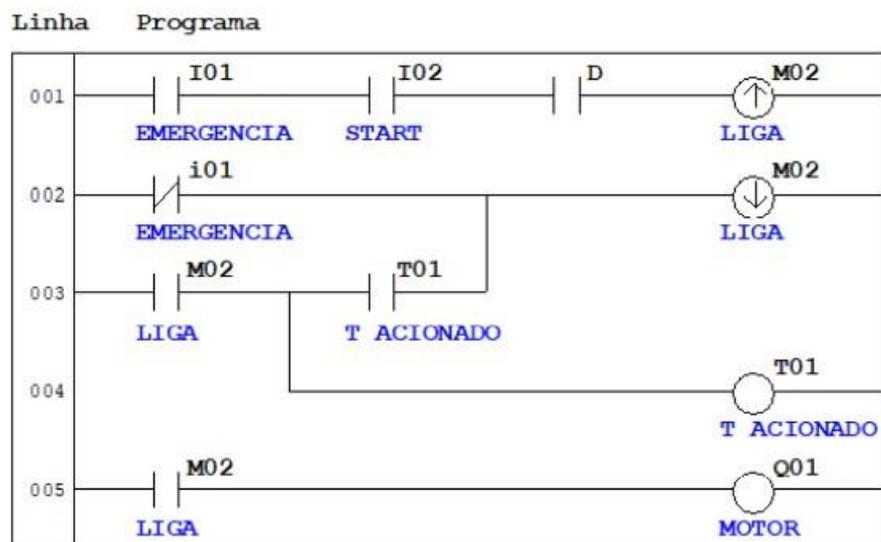


Figura 2: Layout de programação no controlador lógico programável – CLP Fonte: O autor

NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTO

Entende-se que a Norma Regulamentadora 12 – Segurança do Trabalho em Máquinas e Equipamentos define os princípios fundamentais, referências técnicas,

medidas de proteção para garantir a integridade física dos trabalhadores, a saúde, estabelecendo os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto, utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda na sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras.

MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta do estudo teórico está vinculada aos trabalhos que antecederam este e possuem um objetivo similar, ou seja, a mesma linha de trabalho quando se aborda a otimização de um processo com a contribuição da engenharia.

Conforme a procedência da pesquisa, as informações contempladas em projetos similares geram uma ideia de avanço com base na proposta inicial, ou seja, tendo como base, as experiências relatadas em diversas abordagens já realizadas com relação ao tema e, tendo uma visão de vários ângulos da problematização quando tratase do desenvolvimento e execução em campo da peneira vibratória para separação de sólidos.

PROPRIEDADE MECÂNICA DOS MATERIAIS E DE FABRICAÇÃO

A definição do comportamento mecânico dos materiais está ligada entre a carga e uma força externa que será aplicada sobre esse material. Sendo assim, o mesmo deve responder positivamente a estas forças. Podemos considerar algumas propriedades importantes dos materiais, elasticidade, plasticidade, dureza, resiliência, ductibilidade, tenacidade, entre outros, todos ligados a capacidade de resistência.

Os motores possuem velocidade fixa, trabalhando em uma frequência contínua, até que utilize conjuntos formados por polias e correias que são responsáveis por modificar e adaptar a velocidade original do motor para atender às necessidades de cada máquina. Esse processo é possível graças aos diversos tipos de combinações de polias e correias, que modificam a relação de transmissão de velocidade entre o motor e as outras partes da máquina. A velocidade fornecida por um conjunto transmissor depende da relação entre os diâmetros das polias. Polias de diâmetros idênticos transmitem para a máquina a mesma velocidade (mesma RPM) fornecida pelo motor.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Com base na execução do projeto desenvolvido, os resultados obtidos, confirmam as teses e propostas defendidas no princípio deste trabalho, que por sua vez, defende a otimização do tempo em relação a produção e a diminuição da exposição ergonômica por parte do operador que manusear a peneira elétrica para a etapa de separação de sólidos.

Dado o problema inicial, o objeto de estudo estava relacionado ao rendimento durante a atividade de peneiramento de areia em uma construção civil. Posteriormente, o reflexo na exposição ergonômica, sofreria uma grande queda em relação ao tempo em que o operador estaria exposto, om base nas operações convencionais.

A análise realizada procedeu de acordo com a proposta inicial, ou seja, observando e extraindo uma média do tempo utilizado durante a atividade de peneiramento de areia de forma convencional, ou seja, manual sem auxílio de algum equipamento.

Com base no estudo realizado temos a seguintes configurações:

$$\text{Peneiramento convencional: } \frac{0,756 \text{ m}^3}{60 \text{ min}} = \mathbf{0,0126 \text{ m}^3/\text{min}}$$

$$\frac{2,2 \text{ m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Peneiramento Automatizado: } \frac{2,2 \text{ m}^3}{60 \text{ min}} = \mathbf{0,0366 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Totalizados em uma hora de trabalho, temos:

$$\mathbf{m^3 \quad 0,0126 /min \times 60 = 0,756m^3/h}$$

$$\mathbf{m^3 \quad 0,0366 /min \times 60 = 2,196m^3/h}$$

De acordo com os dados obtidos por testes e médias extraídas durante as atividades, é notório o benefício com base nos números apresentados para obtenção de rendimento e diminuição de exposição ergonômica por parte do operador que realiza a atividade de peneiramento, sua aplicação é viável, pois os resultados acima obtidos, refletem em 2,9 vezes o rendimento com relação ao procedimento convencional.

A atividade automatizada gera uma grande diferença em termos de rendimento, além de não contar com paradas para descanso, caso que acontece com a etapa convencional quando o colaborador realiza a atividade.



Figura 3: Peneira elétrica para separação de sólidos finalizada Fonte: Os autores, 2021.

CONCLUSÃO

O projeto proposto, defende as teses de otimização e minimização de exposição ergonômica em uma atividade manual convencional do setor da construção civil. A atividade que se tornou o objeto de estudo foi o peneiramento de areia, ou seja, separação de sólidos. Etapa essa, fundamental para as atividades de construção civil. Impacta diretamente no cronograma de execução da obra, qualidade do produto final e tempo de intervenção de colaboradores em atividades convencionais.

Tratando-se de colaboradores, a interface que é realizada entre o homem e o equipamento, neste caso, a peneira manual, gera um índice de exposição à atividade e, posteriormente fomentando exposições ergonômicas por parte do realizador da atividade.

Considerando essa exposição em conjunto com a possibilidade de otimização da atividade em termos de rendimento, foi abordado com um conceito melhorar o rendimento nessa etapa da construção e diminuir o tempo de exposição do executor da atividade, tanto em peneiramento convencional, quanto em postura que gera exposição ergonômica e acarreta danos à longo prazo.

Foi considerada a viabilidade de aplicação dessa metodologia em grande escala, já que pela mobilização que é necessária do equipamento, em atividades de curta

durabilidade ou de um fluxo mínimo, ou seja, pequenas construções, adequações ou até mesmo reparos, não viabiliza o uso da peneira.

Sua capacidade de peneiramento permite que o cronograma da atividade sofra alterações em termos de entrega, de acordo com os respectivos prazos iniciais solicitados. Dado o problema, cabe ao construtor avaliar a demanda dessa atividade e o fluxo em que ela será realizada, utilizar esses dados em confronto com o cronograma de entrega da obra e posteriormente recorrer ao recurso do peneiramento automático.

Considera-se viável a sua aplicação dentro de requisitos como otimização de tempo e maior integridade por parte dos executores da atividade.

REFERÊNCIAS

BAUER F. Materiais de construção. 5º Ed. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2000.

BUDYNAS R. G., NISBETT J. K., Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica. 8. Ed. São Paulo. AMGH Editora Ltda, 2011.

CIAMPI, J. C. S.. Estudo de Condições de Trabalho em Laboratório de Soldagem de uma Instituição de Ensino Profissionalizante. 2013. 92 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

COUTO C. C., A indústria 4.0 e a automação de protótipo de peneira vibratória. 2020 39f. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

CHARLES, HIBBELER R. Resistência dos Materiais, 7º edição. São Paulo. Editora Pearson, 2010.

FRANCISCO, António. Motores Elétricos. 3º Ed Lisboa. ETEP, 2008.

FRANCHI, Claiton. M. Acionamentos elétricos. 3º Ed. Érica Ltda, 2008.

IIDA, I. Ergonomia: Projeto e Produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

IIZUKA, E. K. Análise de tensões em Peneiras Vibratórias através de Modelagem Numérica Utilizando o Método dos Elementos Finitos e Experimentalmente por Extensometria, 2006. UNICAMP

JBACKES J. C., GARDINI L. F., Desenvolvimento de um projeto de peneira vibratória para utilização em uma bancada de teste. 2018 8f. Artigo - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Santa Catarina, 2018.

LARA, Luiz Alcides Mesquita. Materiais de construção. Ouro preto – MG: IFMG,2013. 214 p. (Artigo)

LUZ A. B., SAMPAIO J. A., FRANÇA S. C. A., Tratamento de Minérios. 5 Ed. Rio de Janeiro. CETEM.CTM,2010. 85 LUZ J. A. M., CARVALHO S. C., Modelamento matemático de peneiramento vibratório (Parte 1): dimensionamento clássico. 2005 4f.

Artigo - Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2005.

MELCONIAN S., Elementos De maquinas. 9ª Ed. rev. São Paulo. Érica,2012.

MENDES, R.. Máquinas e acidentes de trabalho. Brasília: MTE/SIT; MPAS, 2001. 86 p. 13 v.

MILHOMEM F. O., Modelagem de Desaguamento em Peneira, 2013. Universidade Federal de Ouro Preto.

NEVES, A. R. P. D. Desenvolvimento de uma Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos [dissertação]. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2008

NORTON R. L., Projetos De Maquinas: Uma Abordagem Integrada 4ª Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

PETRUZELLA, FRANK. D. Motores elétricos e acionamentos. 1º Ed. Porto Alegre. AMGH Editora Ltda, 2013.

SILVA R. M., BARBOSA V. P., MENEZES A. L., ATAÍDE C. H. e GEDRAITE R., Estudo Experimental acerca da influência da vibração sobre o teor de umidade residual em material sólido granular utilizando protótipo de peneira vibratória. 2017 7f. Artigo - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SÉRGIO L. S., MURILO O. L., MAX M. D. S., Indústria 4.0 Fundamentos, perspectivas e aplicações 1º Ed. São Paulo. ERICA Editora Ltda, 2018. ZOCCHIO, A.; PEDRO, L. C. F.. Segurança em trabalhos com maquinaria. São Paulo: LTr, 2002. 76.

REFERÊNCIAS DIGITAIS

Acesso em: 25 de agosto de 2021.

ZANCAN, Marcos Daniel. Controladores Programáveis. Colégio Técnico de Santa Maria. Rio Grande do Sul, jan. de 2011. Disponível em:

https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/17_controladores_programaveis.pdf