

Engenharia Civil UM

desde 1995



Os Editores:

José Barroso de Aguiar

Sandra Cunha

Número:

61

2022

e-ISSN 2795-5982
ISSN 0873-1152



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Civil



Editores

José Luís Barroso de Aguiar, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Sandra Cunha, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Conselho Editorial

Aires Camões, Universidade do Minho, Portugal

Álvaro Cunha, Universidade do Porto, Portugal

Anabela Paiva, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal

António Tadeu, Universidade de Coimbra, Portugal

António Correia, Universidade do Minho, Portugal

António Baptista, Oregon Health & Science University, USA

António Pais Antunes, Universidade de Coimbra, Portugal

António Madaleno, Universidade Agostinho Neto, Angola

António Matos, Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique

Antônio Silva, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Carlito Junior, Universidade de São Paulo, Brasil

Cristina Alvarez, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Daniel Oliveira, Universidade do Minho, Portugal

Eduardo Julio, Universidade de Lisboa, Portugal

Eliane Viviani, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Enio Figueiredo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Fernando Branco, Universidade de Lisboa, Portugal

Fernando Veloso Gomes, Universidade do Porto, Portugal

Fernando Pacheco Torgal, Universidade do Minho, Portugal

Flávio Silva, Pontfícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Flávio Cunto, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Francisco Martins, Universidade do Minho, Portugal

Glicério Trichês, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Guilherme Parsekian, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Guillermo Etse, National University of Tucumán, Argentina

Gustavo Ayala, National Autonomous University of México, México

Hélder Sousa, Universidade do Minho, Portugal

Holmer Savastano Jr, Universidade de São Paulo, Brasil

Ignacio Perez, Universidad de La Coruña, Espanha

Jaume Avellaneda, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

Joan Casas, Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha

João Castro Gomes, Universidade da Beira Interior, Portugal

Joaquim Barros, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Brito, Universidade de Lisboa, Portugal

Jorge Pais, Universidade do Minho, Portugal

Jorge Soares, Universidade Federal do Ceará, Brasil

Jose Adam, Universitat Politècnica de València, Espanha

José Teixeira, Universidade do Minho, Portugal

José Vieira, Universidade do Minho, Portugal

José Valente, Universidade do Porto, Portugal

José Marques, Universidade de Coimbra, Portugal

José Matos, Universidade de Lisboa, Portugal

José Mendes, Universidade do Minho, Portugal

José Catarino, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

José Luís Pinho, Universidade do Minho, Portugal

Juan Marriaga, Universidad Nacional de Colombia, Colômbia

Khosrow Ghavami, Pontfícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Lígia Silva, Universidade do Minho, Portugal

Luis Loria-Salazar, Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Luís Lopes, Universidade do Minho, Portugal

Luís Simões da Silva, Universidade de Coimbra, Portugal

Luís Picado Santos, Universidade de Lisboa, Portugal

Maisa Tobias, Universidade Federal do Pará, Brasil

Manuel Matos Fernandes, Universidade do Porto, Portugal
Marcial Blondet, Pontificia Universidad Católica del Perú, Peru
Márcio Farias, Universidade de Brasília, Brasil
Maria Almeida, Universidade do Minho, Portugal
Maria Bortolucci, Universidade Federal de São Carlos, Brasil
Maria Antunes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal
Maria Jacques, Universidade de Brasília, Brasil
Marta Pagola, Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Miguel Angel del Val, Universidad Politécnica de Madrid, Espanha
Naim Haie, Universidade do Minho, Portugal
Newsha Ajami, University of Stanford, USA
Normando Perazzo, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Paulo Lourenço, Universidade do Minho, Portugal
Paulo Vila Real, Universidade de Aveiro, Portugal
Resende Nsambu, Universidade Agostinho Neto, Angola
Ricardo Fakury, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Rodrigo Alvarado, Universidad del Bío-Bío, Chile
Rui Ramos, Universidade do Minho, Portugal
Said Jalali, Universidade do Minho, Portugal
Tan Yigitcanlar, University of Queensland, Australia
Teresa Barbosa, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
Vasco Freitas, Universidade do Porto, Portugal
Vladimir Benincasa, Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Produção Editorial

Assistente Editorial: Juliana Araújo Alves, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal
Apoio Editorial: Vítor Costa, Centro de Território, Ambiente e Construção, Universidade do Minho, Portugal

Design da Capa: Vítor Costa

URL: <https://revistas.uminho.pt/>

E-mail: revistaengenhariacivil@civil.uminho.pt

Centro de Território, Ambiente e Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho
Campus de Azurém
4800-058 Guimarães - Portugal

© Autores / Centro de Território, Ambiente e Construção



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

e-ISSN: 2795-5982 | **ISSN:** 0873-1152

A Engenharia Civil UM é financiada por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto UIDB/04047/2020 (financiamento base) e UIDP/04047/2020 (financiamento programático).



Artigos publicados

Propriedades físicas e mecânicas de compósitos de cimento reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)

A.M. Weber, A. Matoski, L. Cechin, R.B. Tokarski

6

Criação de componente de fôrma industrializada de pilar através de uma plataforma BIM

L.B. Sales, I.L. Salomão, E.C.R. Ponte e L.A. Rodrigues

18

Concretos com Agregados Residuais de Construção e Demolição e Pozolanas

C.C. Santos e G.C. Isaia

30

Comportamento mecânico e de durabilidade de concretos produzidos com efluente industrial tratado e bruto

A. Zaleski, B. Marangoni e S.C. Vanzetto

44

Análise do centro de custo de um edifício de alto padrão: desafios e proposições

V.C. Fassioni, L.M.N. Mendes e H.V.R. Santos

55

Propriedades físicas e mecânicas de compósitos de cimento reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)

Physical and mechanical properties of cement composites reinforced with curauá fiber (*Ananas erectifolius*)

A.M. Weber^{a†}, A. Matoski^a, L. Cechin^a, R.B. Tokarski^a

^a Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

[†] Autor para correspondência: alessandramoniqueweber@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo é a caracterização de compósitos cimentícios com reforço de fibras longas de curauá. Estes compósitos são constituídos de matriz cimentícia composta por cimento CP V-ARI, areia, água e superplastificante. A substituição de materiais como o cimento por reforços de materiais naturais como a fibra de curauá se tornam objetos de pesquisa por reduzirem o custo, serem biodegradáveis, gerarem baixa energia em sua produção e possuírem propriedades como baixa densidade e capacidade de isolamento térmico e acústico. Para a produção dos compósitos laminados, foi determinada a influência da fração volumétrica de fibras no compósito em teores de adição de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. Como metodologia moldou-se o compósito em cinco camadas, intercalando três camadas de matriz cimentícia e duas camadas de reforço de fibra de curauá. Os ensaios avaliaram o comportamento físico e mecânico dos compósitos em diferentes dias (7, 28 e 90 dias). Observou-se que o teor de fibra de curauá de 10%, com essa metodologia, apresentou resultados compatíveis à referência com relação à resistência à flexão aos 90 dias, sendo indicado dessa forma a cura dos painéis por 90 dias para aplicação. E a redução na massa específica dos painéis foi possível, de forma significativa, com as adições acima de 10% de fibra de curauá.

ABSTRACT

The objective of this study is the characterization of cementitious composites with reinforcement of long fibers of curauá. These composites consist of a cement matrix composed of CP V-ARI cement, sand, water and superplasticizer. The replacement of materials such as cement with reinforcements of natural materials such as curauá fiber become objects of research because they reduce the cost, are biodegradable, generate low energy in their production and have properties such as low density and thermal and acoustic isolation capacity. For the production of laminated composites, the influence of the volumetric fraction of fibers in the composite was determined at addition levels of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. As a methodology, the composite was molded in five layers, interspersing three layers of cement matrix and two layers of curauá fiber reinforcement. The tests evaluated the physical and mechanical behavior of the composites on different days (7, 28 and 90 days). It was observed that the curauá fiber content of 10%, with this methodology, presented results compatible with the reference in relation to the flexural strength at 90 days, thus indicating the curing of the panels for 90 days for application. And the reduction in the specific mass of the panels was possible, in a significant way, with the additions above 10% of curauá fiber.

Palavras-chave:

Cement composites;
Laminados; Fibras
naturais.

Keywords:

Cement composites;
Laminates; Natural
fibers.

Introdução

A atual apreensão com as adversidades ambientais tem desencadeado diversas pesquisas e, portanto, o surgimento de novos materiais pensando na racionalização de matérias-primas. No setor da construção civil, as pesquisas abrangem o aproveitamento de diversos tipos de resíduos, materiais complementares, com o objetivo de maximizar as propriedades do produto, promover a sustentabilidade e reduzir custos. Com o desenvolvimento de novos compósitos cimentícios reforçados, o produto final pode ser utilizado como telhas planas ou onduladas, divisórias internas, revestimentos externos, entre outros, desde que atendam às especificações das normas. Como reforço do compósito podem ser utilizadas fibras ou partículas dos mais diversos materiais, sendo o aço, fibra de carbono, fibra de vidro, entre outros os mais utilizados na construção civil.

Devido à demanda de novas tecnologias que visam suprir a falta de materiais que possuam propriedades combinadas, o mercado de compósitos é um setor em ascensão. Os materiais compósitos apresentam potencial por conseguirem resistência elevada e rigidez, mas com o diferencial de baixa massa específica, ao ser feita a comparação com estruturas convencionais [1].

De acordo com Tian et al. [2] a matriz cimentícia utilizada em compósitos é constituída basicamente de cimento Portland e água podendo conter agregados finos, superplastificantes e aditivos. Os aditivos indicados para o uso em pastas cimentícias reforçadas com fibras naturais ou artificiais são: superplastificantes, aceleradores de pega e protetores de corrosão [3].

Além da demanda tecnológica, a apreensão atual com as adversidades ambientais desencadearam diversas pesquisas. De acordo com Essabir et al. [4] as empresas estão cada vez mais voltadas para o cuidado com o meio ambiente e o desenvolvimento de produtos sustentáveis, e os consumidores estão se conscientizando com relação aos produtos de fontes renováveis [5]. A utilização de fibras naturais são atrativas por serem renováveis, visto que atualmente é crescente a preocupação com a degradação ambiental decorrente dos processos industriais. Ressalta-se que a adição de fibras vegetais como reforço pode colaborar com aspectos mecânicos do compósito, como a ductilidade [6].

Entre os materiais ecológicos atualmente há um destaque para o uso de fibras provenientes do setor florestal ou agrícola, pois possuem vantagens quando comparadas as fibras sintéticas e industriais (carbono, vidro e aramida) [7,8,9]. Entre as vantagens as fibras naturais usualmente apresentam baixa densidade, bom isolamento e redução de custo [10]. Ainda, as fibras sintéticas utilizadas em compósitos estão perdendo espaço para as fibras naturais devido à escassez da matéria-prima originária do petróleo [9]. Dessa forma, as fibras naturais são uma alternativa ao uso de fibras sintéticas, promovendo benefícios ambientais e econômicos [11].

A fibra natural utilizada no estudo é proveniente da planta curauá (*Ananas erectifolius*) (Figura 1) da família das bromeliáceas, característica da região Norte e Centro-Oeste do Brasil. As folhas da planta são coletadas de forma manual para serem levadas ao processo de extração em maquinário triturador.



Figura 1 - Planta de curauá à esquerda (Soltan et al., 2017).

Segundo Achour et al. [7] e Peças et al. [5] a preocupação quando se trabalha com fibras e materiais cimentícios é quanto a sua aderência, sendo este comportamento beneficiado através de tratamentos que removam materiais amorfos na fibra, resultando em uma superfície externa limpa e áspera. A utilização do tratamento da fibra com água quente mais a utilização de cloreto de cálcio resultou nas melhores propriedades físicas e mecânicas em painéis de cimento reforçados com a fibra kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (fibra natural de origem africana), quando este foi comparado com painéis apenas com o tratamento de água quente ou apenas com o uso de cloreto de cálcio [12].

Em estudos, foi possível melhorar a aderência de compósitos utilizando bambu mosso e fibra de curauá tratados com imersão em água quente, conseguindo boa compatibilidade entre o cimento e as respectivas fibras [13,14]. Conforme Zukowski et al. [15] o tratamento com água quente da fibra de curauá melhorou as propriedades mecânicas do compósito cimentício. Outros pesquisadores [16,17,18,19] obtiveram melhora nas propriedades mecânicas de compósitos com fibras naturais pela adição de cloreto de cálcio à mistura.

Diferentes métodos podem ser empregados para aumentar a aderência do cimento com a fibra natural, sendo o método considerado mais eficaz a associação de pré-tratamento da fibra natural com o uso de acelerador de pega na mistura cimentícia [20].

Considerando esses aspectos, o objetivo do presente estudo foi avaliar a utilização da fibra vegetal de curauá (*Ananas erectifolius*) como reforço em compósitos cimentícios laminados e analisar o desempenho físico e mecânico em diferentes dias de cura.

2. Materiais e Métodos

O cimento utilizado na matriz fibrocimento é o cimento Portland CP V-ARI de alta resistência inicial em conformidade com a norma brasileira NBR 5733 [21] e NBR 5737 [22]. A areia utilizada é classificada como areia média e sua massa específica medida foi de 2,63 g/cm³, com partícula máxima de 1,18 mm. A água utilizada foi da rede pública. O aditivo superplastificante foi o MC-PowerFlow 3100 do tipo PCE (polímeros policarboxilatos), devido a este apresentar fluidez e alcançar elevadas resistências [23]. O teor de superplastificante adotado foi de 3% em relação à massa de cimento. Foi utilizado o acelerador de pega cloreto de cálcio em teores de 4% da massa de cimento com fim de reduzir a alcalinidade (melhorando a compatibilidade entre a fibra e a matriz cimentícia) e elevar a resistência.

As fibras de curauá estavam disponíveis em fibras longas de aproximadamente

600 mm e embaraçadas (Figura 2). As fibras passaram por processo de beneficiamento manual antes de serem utilizadas, sendo lavadas por imersão em água à 80 °C durante 40 minutos para eliminar qualquer resíduo. Em seguida as fibras foram secadas em estufa à 40 °C. Após o processo foram desembaraçadas com escova de cerda de aço e então cortadas manualmente e separadas. Os cortes foram de aproximadamente 450 mm, baseados no tamanho do painel.

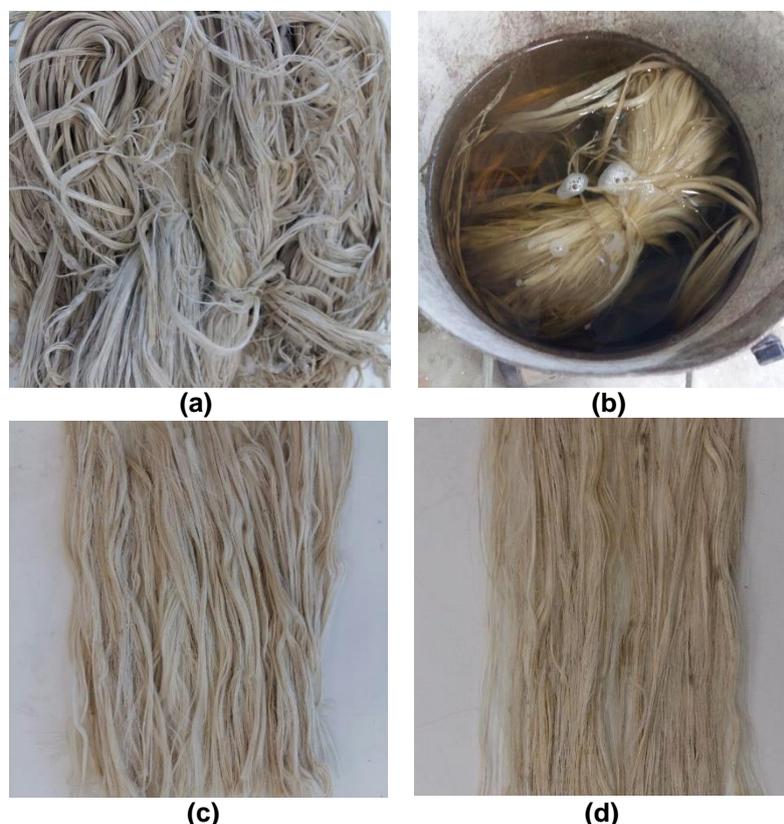


Figura 2 - Processo de beneficiamento da fibra de curauá: (a) fibras como foram recebidas; (b) fibras em imersão em água quente; (c) fibras após processo de preparação; (d) fibras cortadas e penteadas para o uso como reforço.

As formulações utilizadas na produção dos compósitos basearam-se em estudos anteriores de Lima et al. [24] e Melo Filho et al. [25]. As quantidades de materiais de reforço para cada formulação estão indicadas na Tabela 1. Os compósitos foram moldados com diferentes frações volumétricas de fibras, sendo essas: 0, 5, 10, 15 e 20%. A porção de fibras foi distribuída em duas camadas distintas nos compósitos.

Tabela 1 - Delineamento experimental dos compósitos laminados.

Formulação	Traço (cimento:areia)	Fator água/cimento	Volume de fibras (%)
P0	1:1	0,40	0
P5	1:1	0,40	5
P10	1:1	0,40	10
P15	1:1	0,40	15
P20	1:1	0,40	20

As misturas foram produzidas em um misturador mecânico de bancada com capacidade de 5 L, com duas velocidades. Foram misturados os materiais secos, primeiro

o cimento e em seguida areia por 2 minutos até sua completa homogeneização. O superplastificante e o cloreto de cálcio foram diluídos em água e lançados no misturador lentamente, ocorrendo então a mistura dos materiais durante mais 2 minutos, sendo incorporado o material retido no misturador e misturado novamente por 2 minutos.

Para garantir a espessura planejada das placas de fibrocimento foi realizado o cálculo do volume da placa e com o peso específico da mistura fresca pode-se calcular a massa de cada camada utilizada. O laminado produzido é composto por cinco camadas intercaladas entre a argamassa e as fibras, sendo as fibras dispostas em sentido unidirecional.

Para a produção do laminado foram fabricadas formas de alumínio no tamanho de 450 x 450 mm, com um fechamento que não permitisse a perda do material. Para a moldagem do laminado foi adicionada a argamassa em massa equivalente a camada, e a mesma regularizada com uma espátula e então adicionado a primeira camada de fibras manualmente (Figura 3). Após as fibras, uma nova camada de argamassa foi adicionada seguindo os mesmos passos até a quinta e última camada. Por fim foi realizada a vibração da forma em uma mesa vibratória pelo período de 1 minuto.

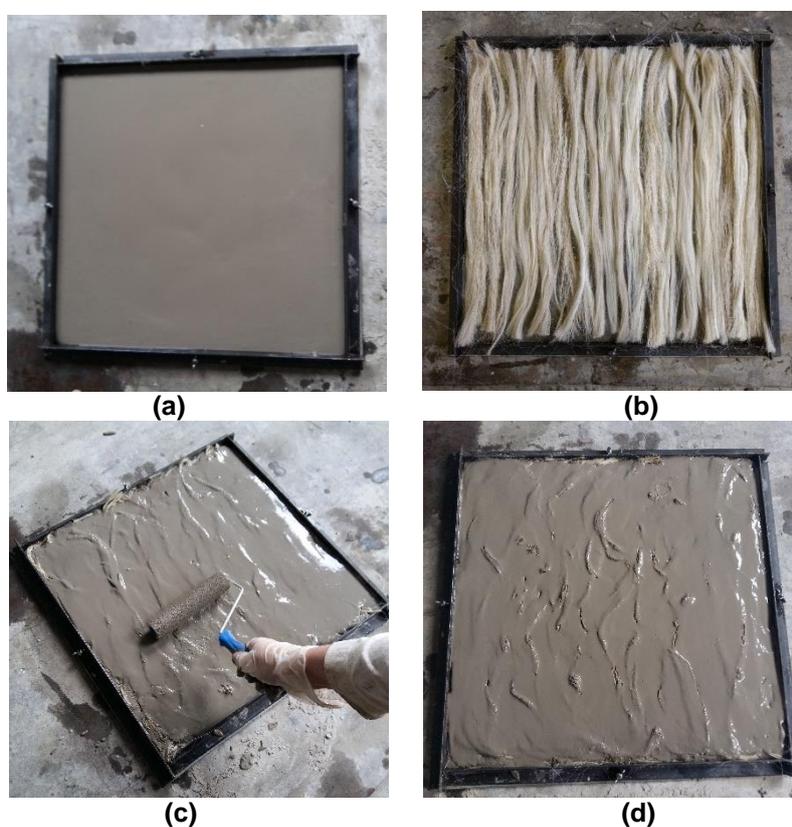


Figura 3 - Produção dos compósitos laminados: (a) primeira camada da matriz; (b) primeira camada de fibra de curauá sobre a matriz; (c) homogeneização da segunda camada da matriz com ajuda de um rolo; (d) moldagem finalizada pronta para vibração.

A caracterização física do compósito foi realizada de acordo com as especificações da ASTM C 948 [26] através de ensaios de absorção de água, densidade e porosidade aparente. Foram testados cinco corpos de prova para cada formulação.

Para as propriedades mecânicas foram realizados ensaios de flexão em 4 pontos, obtendo a resistência a flexão utilizando através da teoria clássica de flexão. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada formulação, seguindo os procedimentos

descritos na RILEM TRF 49 [27]. A velocidade de deslocamento foi de 3 mm/min. Os corpos de prova apresentavam dimensões de 400 x 80 mm (comprimento x largura) e as forças foram aplicadas nos terços do vão, que foi igual a 300 mm.

Tanto os ensaios de caracterização física como mecânica foram realizados nas idades de 7, 28 e 90 dias com objetivo de estudar a evolução das propriedades em função do tempo.

A fim de verificar se existiam diferenças significativas foi realizada análise da variância através de comparação de médias do teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de densidade, absorção de água, porosidade aparente e resistência à flexão dos compósitos com 7, 28 e 90 dias de cura.

A menor densidade aos 90 dias é dada pelo painel P20 (20% de adição de fibra de curauá), com valor médio de 1,71. De acordo com o Teste de Tukey tem-se que aos 90 dias entre P0 e P5 e entre P15 e P20 não há diferenças significativas. Sendo assim, apenas P10 (10% de adição de fibra de curauá) apresenta diferenças significativas de todos os painéis.

Os painéis apresentam redução na densidade conforme é acrescido o teor de volume de fibras de curauá. Isto se deve pela fibra de curauá apresentar menor densidade (1,2 g/cm³) quando comparada a matriz cimentícia, Ferreira et al. [28] utilizou matriz cimentícia com densidade de 2,16 g/cm³. Dessa forma, quanto maior a quantidade de incorporação de fibras, menor a densidade do material, como esperado e já confirmado por outros autores como Colorado e Zapata [29] e Patel e Jain [30].

Tabela 2 - Valores médios das propriedades físicas e mecânicas obtidas dos compósitos laminados com 7, 28 e 90 dias de idade.

Formulação	ps1 (g/cm ³)	Cvar2 (%)	ABS3 (%)	Cvar2 (%)	Pap4 (%)	Cvar2 (%)	σ5 (MPa)	Cvar2 (%)
7 dias								
P0	1,94A	1,33	12,04D	3,53	23,36D	3,18	12,71A	10,15
P5	1,91A	1,29	13,46CD	3,33	25,67CD	3,06	8,61B	25,88
P10	1,76B	2,44	15,83C	6,88	27,81C	3,91	10,41AB	19,92
P15	1,61C	2,80	19,55B	8,44	31,43B	5,92	5,01C	42,02
P20	1,47D	3,51	25,90A	11,58	38,00A	9,13	3,78C	33,19
28 dias								
P0	1,92A	0,35	13,31B	2,24	25,61B	1,97	14,33A	9,16
P5	1,89A	0,85	14,38B	4,97	27,20B	4,50	14,10A	27,13
P10	1,83B	0,37	14,19B	2,48	25,97B	2,51	9,24BC	20,16
P15	1,66C	5,31	19,06A	11,26	31,45A	6,93	10,79AB	21,13
P20	1,64C	3,98	19,32A	13,88	31,63A	11,19	4,71C	40,55
90 dias								
P0	2,01A	0,25	10,25B	1,14	20,62B	1,03	13,36AB	18,68
P5	2,00A	0,79	10,27B	2,68	20,50B	1,99	14,61AB	12,82
P10	1,90B	1,92	12,63A	6,98	23,94A	5,20	16,15A	33,14
P15	1,74C	1,79	16,21A	4,88	28,20A	3,78	9,53BC	23,94
P20	1,71C	5,57	16,79A	24,00	28,59A	17,56	5,64C	16,10

¹ Densidade

² Coeficiente de variação

³ Absorção de água

⁴ Porosidade aparente

⁵ Tensão de primeira fissura

* Valores seguidos pela mesma letra dentro da mesma coluna, para a mesma idade, não se diferenciam estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De 7 para 90 dias em todos os casos ocorre o aumento da densidade, fato que ocorre devido à hidratação contínua do cimento. Os valores de absorção de água e de porosidade aparente aumentam conforme o aumento de volume de fibras no compósito; isso se deve devidos às propriedades hidrofílicas da fibra natural [31].

O painel referência (P0) apresenta valor médio inferior de porosidade e absorção de água e superior de densidade quando comparados com os painéis com adição de fibra de curauá. Justifica-se esse comportamento pelas reações do cimento (silicato tricálcico e do silicato dicálcico com a água), que resultam em cristais que preenchem a pasta e a tornam mais impermeável, mas com a incorporação de fibra vegetal, esta pode interromper o fechamento dos cristais na pasta e torná-la mais porosa e menos densa.

A absorção de água e porosidade aparente aumentam conforme o aumento de volume de fibras no compósito, segundo Marvila et al. [32]. esse comportamento é esperado ao se adicionar fibras naturais, e pode ser amenizado com o uso de pré-tratamentos na fibra. Aos 90 dias, o painel P20 (20% de adição de fibra de curauá) apresenta a maior média de absorção de água, tendo como valor médio 16,79%, e a maior média de porosidade aparente com 28,59%. E o painel com adição de fibras P5 (5% de adição de fibra de curauá) apresenta as menores médias, aos 90 dias, de absorção de água e porosidade aparente.

Pelo Teste de Tukey tem-se que aos 90 dias de idade os compósitos P10, P15 e P20 não diferem entre si significativamente tanto para as propriedades de absorção de água como porosidade aparente. O mesmo acontece entre os compósitos P0 e P5.

A Figura 4 demonstra a relação entre os valores médios de densidade com a tensão de primeira fissura dos compósitos com adição de fibra de curauá aos 90 dias de idade.

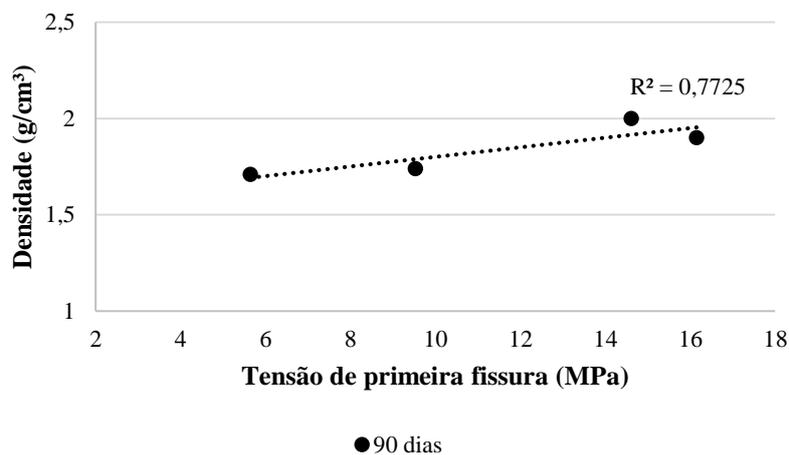


Figura 1 - Relação da densidade com a tensão de primeira fissura aos 90 dias de idade.

A densidade é inversamente proporcional à tensão de primeira fissura nos compósitos cimentícios com adição de fibra de curauá. Para essa relação o coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,77, indicando que 77% dos dados explicam o modelo determinado.

Ao avaliar a relação de tensão/densidade do compósito P0 é obtido uma relação de 7,46 MPa/g/cm³ aos 28 dias, o qual é alcançado pelo P5 com exatamente o mesmo valor. Já aos 90 dias, o compósito P0 apresenta uma relação de 6,65, compósito P5 com relação de 7,31 e P10 com relação de 8,50. Demonstrando assim, a importância de considerar a influência que a densidade do material apresenta para o desenvolvimento de produtos mais leves, com resistência equiparável ou superior ao avaliar a relação resistência/densidade.

Analisando os valores médios de tensão de primeira fissura dos compósitos, observa-se um ganho de resistência com o tempo. De 28 dias para 90 dias, há um ganho de resistência nos painéis com 10% de adição de fibra de curauá, sendo também a maior média de tensão de primeira fissura aos 90 dias. Esse ganho de tensão, de 28 para 90 dias também foi observado por Akinwande et al. [33].

Aos 90 dias a maior resistência é para o compósito P10 (10% de adição de fibra de curauá) de 16,15 MPa. Melo Filho et al. [25] com 6% de fibra de sisal alcançou aos 28 dias 18,73 MPa. Lima et al. [34] com 3% de fibra de sisal obteve tensão de primeira fissura de 10,88 MPa aos 28 dias, para a mesma idade 5% de adição de fibra de curauá resultou em uma tensão de 14,10 MPa.

O compósito P20 apresentou o menor valor de resistência com média 5,64 MPa aos 90 dias. De acordo com a análise da variância, aos 90 dias, os painéis P15 e P20 não apresentaram diferenças significativas. Assim como também os compósitos P0, P5 e P10 não apresentaram diferenças entre si aos 90 dias de idade.

Dessa forma, pode-se considerar que nessas situações a fração volumétrica limite de fibra de curauá é de 10%. Com base no diagrama de tensão x deformação (Figura 5) foi avaliado a resistência à flexão do compósito laminado com 10% de adição de fibra de curauá em comparação com o compósito referência. O compósito P10 apresentou um comportamento elástico-linear até o ponto que ocorre a primeira fissura da matriz, e então o compósito continua se deformando ocorrendo várias fissuras, demonstrando em alguns casos o aumento da tensão após a primeira fissura.

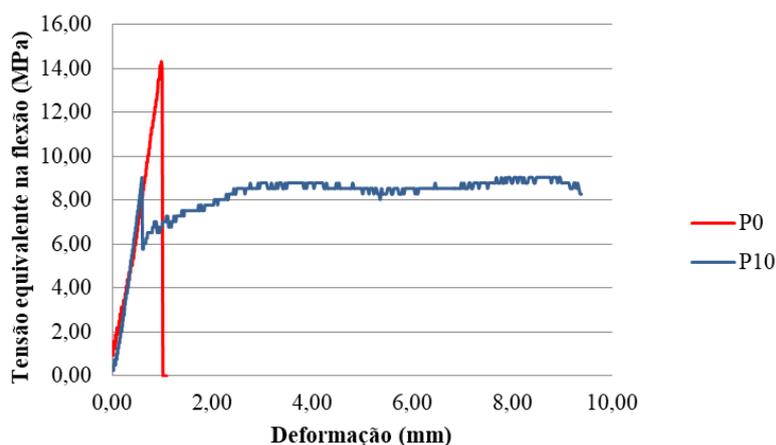


Figura 2 - Influência da adição de 10% de fibra no comportamento tensão x deformação nos compósitos sob flexão aos 28 dias de idade.

Para o compósito P0 a tensão de primeira fissura corresponde ao momento de ruptura do painel. Para o painel com adição de fibras, ao invés de ocorrer uma ruptura após a tensão de primeira fissura, ocorre uma queda de carga e o compósito continua suportando cargas, obtendo uma maior deformação. Segundo Lima et al. [34] após a

primeira fissura, a capacidade de carga é transferida para as fibras, ocorrendo um processo de tensionamento nas fibras até o momento de ruptura que acontece de forma gradual pelo arrancamento das fibras.

Os painéis cimentícios com a adição de fibra de curauá colaboram para um compósito com comportamento dúctil, com maior deformação após o aparecimento da primeira fissura, aumentando a capacidade de carga pós-fissuração. Esse resultado corrobora com o resultado de outros pesquisadores [35,36,37], que destacam o uso de fibra natural em materiais cimentícios para maior ductilidade do material.

4. Conclusão

O desenvolvimento do compósito cimentício reforçado com fibras longas de curauá acarreta relações de resistência/densidade iguais ou superiores aos compósitos sem adição de fibra de curauá. Os compósitos reforçados com 10% em volume de fibra de curauá apresentaram o melhor desempenho mecânico quando comparado as demais frações de fibra de curauá, resultando ainda em teores de absorção de água e porosidade aparente inferiores aos painéis com 15% e 20% de fibra. Como esperado, as propriedades mecânicas aumentaram em função do tempo. Todas as formulações dos painéis demonstraram redução da absorção de água e porosidade aparente com o avanço dos dias de cura. Dos resultados apresentados conclui-se que utilizando a fibra de curauá é possível obter compósitos laminados com resistências superiores às da matriz (P0) e com maior deformação na ruptura, o que caracteriza um suporte de cargas antes do colapso, que ocorre de forma lenta. É possível obter um produto com menor densidade, caracterizando assim produtos leves, o que impacta como possibilidade de redução de custos globais de construções, e ainda possui como atrativo o uso da fibra de curauá como um material ecologicamente correto, contribuindo para o desenvolvimento de materiais sustentáveis.

Referências

- [1] T. Hamouda, A.F.M. Seyam, K. Peters, Evaluation of the integrity of 3D orthogonal woven composites with embedded polymer optical fibers, *Compos. B Eng.*, 78 (2015) 79-85. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.092>.
- [2] H. Tian, Y.H. Cui, Y.X. Zhang, C. Yang, The application of general self-consistent model on mechanical behaviour of fibre-reinforced cementitious composites, *Constr. Build. Mater.*, 146 (2017) 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.045>.
- [3] A.G. Sarzalejo, B. Rossi, G. Perri, R. Winterberg, R.E.P. Aristeguieta, *Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto*, Maccaferri, São Paulo, 2008.
- [4] H. Essabir, A. Elkhaoulani, K. Benmoussa, R. Bouhfid, F.Z. Arrakhiz, A. Qaiss, Dynamic mechanical thermal behavior analysis of doum fibers reinforced polypropylene composites, *Mater. Des.*, 51 (2013) 780-788. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.092>.
- [5] P. Peças, H. Carvalho, H. Salman, M. Leite, Natural fibre composites and their applications: a review, *J. Compos. Sci.*, 2 (2018) 66. <https://doi.org/10.3390/jcs2040066>.
- [6] K.F. Hasan, P.G. Horváth, T. Alpár, Lignocellulosic fiber cement compatibility: a state of the art review, *J. Nat. Fibers*, (2021) 1-26. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1875380>.
- [7] A. Achour, F. Ghomari, N. Belayachi, Properties of cementitious mortars reinforced with natural fibers, *J Adhes Sci Technol*, 31 (2017) 1938-1962. <https://doi.org/10.1080/01694243.2017.1290572>.

- [8] R. Codispoti, D.V. Oliveira, R.S. Olivito, P.B. Lourenço, R. Figueiro, Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry, *Compos. B Eng.*, 77 (2015) 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.03.021>.
- [9] W. Liu, T. Xie, R. Qiu, M. Fan, N-methylol acrylamide grafting bamboo fibers and their composites, *Compos Sci Technol*, 117 (2015) 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2015.06.005>.
- [10] K. Wei, C. Lv, M. Chen, X. Zhou, Z. Dai, D. Shen, Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing, *Energy Build.*, 87 (2015) 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026>.
- [11] A. Karimah, M.R. Ridho, S.S. Munawar, D.S. Adi, R. Damayanti, B. Subiyanto, W. Fatriasari, A. Fudholi, A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations, *J. Mater. Res. Technol.*, 13 (2021) 2442-2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.014>.
- [12] S.O. Amiandamhen, D.N. Izekor, A.O. Balogun, Performance characteristics of treated kenaf bast fibre reinforced cement composite, *J. Indian Acad. Wood Sci.*, 13 (2016) 156-160. <https://doi.org/10.1007/s13196-016-0180-8>.
- [13] G.K. Bilcati, A. Matoski, R. Trianoski, E.C. Lengowski, Effects of pre-treatment of Curauá fibers on compatibility with Portland cements, *Rev. Mater.*, 23 (2018) 1-12. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0524>.
- [14] L. Cechin, A. Matoski, A.M. Lima, A.M. Weber, R.B. Tokarski, Effect of treatments on high initial strength portland cement and mosso bamboo compatibility, *Rev. Ing. de Construccion*, 33 (2018), 127-136. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200127>.
- [15] B. Zukowski, F. Andrade Silva, R.D. Toledo Filho, The influence of hot water washing cycles on tensile properties of curauá fiber. *Materials Research Proceedings*, 7 (2018) 373-382.
- [16] E. Aamr-Daya, T. Langlet, A. Benazzouk, M. Quéneudec, Feasibility study of lightweight cement composite containing flax by-product particles: Physico-mechanical properties, *Cem. Concr. Compos.*, 30 (2008) 957-963. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.002>.
- [17] A.E. Almeida, G.H. Tonoli, S.F.D. Santos, H. Savastano Jr, Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age, *Cem. Concr. Compos.*, 42 (2013) 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.05.001>.
- [18] E.Y.A. Okino, M.R. Souza, M.A.E. Santana, M.V.S. Alves, M.E. Sousa, D.E. Teixeira, Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood, *Cem. Concr. Compos.*, 26 (2004) 729-734. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00061-1).
- [19] J. Torkaman, A. Ashori, A.S. Momtazi, Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks, *Constr. Build. Mater.*, 50 (2014) 432-436. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.044>.
- [20] Z.A. Akasah, H. Dullah, N.M. Soh, N.A. Anak, Physical and Mechanical Properties of Empty Fruit Bunch Fibre-Cement Bonded Fibreboard for Sustainable Retrofit Building, *Int. J. Mater. Sci. Eng.*, 7 (2019) 1-9. [10.17706/ijmse.2018.6.2.56-66](https://doi.org/10.17706/ijmse.2018.6.2.56-66).
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5733:1991, Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991.
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5737:1992, Cimentos Portland resistentes a sulfatos, 1992.

- [23] T. Hirschi, F. Wombacher, Influence of different superplasticizers on UHPC, In: Proceedings of the 2nd international symposium on ultrahigh performance concrete, 5-7 de Março, Kassel, Germany, 2008.
- [24] P.R.L., Lima, R.D. Toledo Filho, J.A. Melo Filho, Compressive stress-strain behaviour of cement mortar-composites reinforced with short sisal fibre, *Mater. Res.*, 17 (2014) 38-46. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000181>.
- [25] J.A. Melo Filho, F.A. Silva, R.D. Toledo Filho, Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems, *Cem. Concr. Compos.*, 40 (2013) 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.04.003>.
- [26] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM C 948:2001, Standard test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete, 2001.
- [27] Rilem Technical Committee 49 TFR. Testing methods for fibre reinforced cement-based composites, *Mater. Struct.*, 17(1984) 441-456.
- [28] S.R. Ferreira, M. Pepe, E. Martinelli, E., F. Andrade Silva, R.D. Toledo Filho, Influence of natural fibers characteristics on the interface mechanics with cement based matrices, *Compos. B Eng.*, 140 (2018) 183-196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.016>.
- [29] H.A. Colorado, J.F. Zapata, Composites of Portland cement paste and sugarcane bagasse fibers: structure-property relation and Weibull statistics, *J. Mater. Environ. Sci.*, 10 (2019) 1162-1171.
- [30] N. Patel, J., Jain, An investigation on mechanical properties in randomly oriented short natural fiber reinforced composites, *Mater.Today: Proc.*, 37 (2020) 469-479. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.452>.
- [31] M. Péron, A. Céline, F. Jacquemin, A. Le Duigou, Hygroscopic stresses in asymmetric biocomposite laminates submitted to various relative humidity conditions, *Compos. -A: Appl. Sci. Manuf.*, 134 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105896>.
- [32] M.T. Marvila, H.A. Rocha, A.R.G. Azevedo, H.A. Colorado, J.F. Zapata, C.M.F. Vieira, Use of natural vegetable fibers in cementitious composites: Concepts and applications, *Innov. Infrastruct.Solut.*, 6 (2021) 1-24. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00551-8>.
- [33] P.R.L. Lima, R.D. Toledo Filho, R. Neumann, J.A.O. Barros, Efeito do [33] A. Akinwande, O.A. Balogun, V. Romanovski, H. Danso, M. Kamarou, A.O. Ademati, Mechanical performance and Taguchi optimization of kenaf fiber/cement-paperboard composite for interior application, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29 (2022) 52675-52688 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19449-8>.
- [34] P.R.L. Lima, R.D. Toledo Filho, R. Neumann, J.A.O. Barros, Efeito do envelhecimento acelerado sobre as propriedades de microconcreto reforçado com fibras longas de sisal, *Ambiente Construído*, 19 (2019) 7-20. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000100289>.
- [35] N.K. Krishna, M. Prasanth, R. Gowtham, S. Karthic, K.M. Mini, Enhancement of properties of concrete using natural fibers, *Mater. Today: Proc.*, 5 (2018) 23816–23823. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.173>.
- [36] I.P. Salgado, F.A. Silva, Flexural behavior of sandwich panels combining curauá fiber-reinforced composite layers and autoclaved aerated concrete core, *Constr. Build. Mater.*, 286 (2021) 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122890>.
- [37] G. Silva, S. Kim, B. Bertolotti, J. Nakamatsu, R. Aguilar, Optimization of a reinforced geopolymer composite using natural fibers and construction wastes, *Constr. Build. Mater.*, 258 (2020) 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119697>.

ORCID

A.M. Weber 0000-0002-0991-1842 (<https://orcid.org/0000-0002-0991-1842>)
A. Matoski 0000-0001-5503-4943 (<https://orcid.org/0000-0001-5503-4943>)
L. Cechin 0000-0002-3735-1889 (<https://orcid.org/0000-0002-3735-1889>)
R.B. Tokarski 0000-0002-3256-6362 (<https://orcid.org/0000-0002-3256-6362>)

Criação de componente de fôrma industrializada de pilar através de uma plataforma BIM

Component creation of an industrialized formwork for columns through a BIM platform

L.B. Sales^a, I.L. Salomão^{a†}, E.C.R. Ponte^a, L.A. Rodrigues^b

^a *Universidade de Fortaleza, Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, Brasil*

^b *Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes, Fortaleza, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: italosalomao@unifor.br*

RESUMO

No mercado brasileiro, são poucas as construtoras que possuem um projeto bem detalhado e preciso de fôrmas, resultando em desperdícios, falta de planejamento e atrasos. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi incorporar os preceitos da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no produto fôrma industrializada de pilar, que devido a sua complexidade, a sua representação gráfica no CAD 2D é carente de informações e requer muito tempo no seu desenvolvimento. Pode-se dizer que os benefícios mais imediatos do BIM é a maior eficiência e produtividade na documentação do projeto, que através dos parâmetros, informações do projeto são geradas de forma automática e mais precisa. O processo de modelagem priorizou o desempenho do componente em vez da sua aparência, tendo como referência alguns manuais e normas nacionais e internacionais. Antes da modelagem propriamente dita, foi realizado um planejamento da família, em seguida, utilizou-se um programa paramétrico, para que se pudesse inserir as famílias aninhadas, parâmetros, regras e vínculos no editor de famílias. O projeto em BIM se mostrou eficaz quanto a sua automatização e geração de quantitativos no projeto, porém, por ser ainda um produto novo no mercado brasileiro, carente quanto a atribuição de informações para planejamento 4D, para manutenção e para logística.

ABSTRACT

In the Brazilian industry, few construction companies have very detailed and accurate formwork projects, resulting in waste, lack of planning, and delays. Thereupon, the objective of this paper was to incorporate the precepts of Building Information Modeling (BIM) in the industrialized column formwork product, that, because of its complexity, the graphic representation in 2D CAD lacks information and requires a lot of time in its development. It can be said that the most immediate benefits of BIM are the greater efficiency and productivity in the project documentation, which through the parameters, project information is generated automatically and more accurately. The modeling process prioritized the component's performance over its appearance, regarding some national and international manuals and standards. Before the actual modeling, family planning was carried out, then a parametric program was used, so that the nested families, parameters, rules, and links could be inserted into the family editor. The BIM project proved to be effective in terms of its automation and generation of quantitative in the project, however, as it is still a new product in the Brazilian industry, lacking in the attribution of information for 4D planning, maintenance, and logistics.

Palavras-chave:

BIM; Objeto BIM;
Cofragem de pilares
industrializados;
Modelagem
paramétrica.

Keywords:

BIM; BIM object;
Industrialized
column formwork;
Parametric
modeling.

1. Introdução

A Modelagem da Informação da Construção ou Building Information Modeling (BIM) vem sendo percebida pela indústria da construção civil como um facilitador para a integração avançada dos processos de projeto e das partes interessadas, trazendo um novo patamar tecnológico e de produtividade. “Quando implementado de maneira apropriada, BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrados, que resulta em construções de melhor qualidade, com custo e prazo de execução reduzidos” [1]. O processo básico de modelagem em aplicativos BIM é realizado através da seleção de componentes em bibliotecas (internas do aplicativo, importadas ou criadas pelo próprio usuário). Estes simulam, computacionalmente, a geometria, materiais, dimensões, características e quaisquer outros parâmetros de um objeto construído ou a construir.

O presente trabalho aborda a modelagem da informação da construção de um tipo de produto envolvido no processo construtivo de uma estrutura de concreto armado. O produto escolhido foi a forma de pilar modularizado. Já a ferramenta BIM escolhida para ser aplicada neste estudo foi o Revit, da AutoDesk, por ser o atual líder no mercado no segmento de edificações no Brasil [2].

A qualidade de um projeto em BIM depende da qualidade dos objetos BIM, porém, muitos destes são modelados apresentando erros, carência de informações e causando instabilidade na plataforma. Dessa forma, “esses objetos precisam ser de qualidade específica, e conectar com objetos genéricos e especificações técnicas associadas que ajudam no plano de trabalho digital” [3].

O uso pretendido da família no projeto determina a extensão do componente, pois, de forma geral, quanto maior a complexidade do projeto, maior o tamanho do arquivo e menor o desempenho do computador, a escolha da performance dos componentes em vez da sua aparência é um excelente critério de modelagem [4]. Diante disso, antes de iniciar a modelagem, de acordo com o manual da BIMStore [5] é preciso responder algumas perguntas em relação ao produto para evitar problemas futuros: o componente é um produto genérico ou um produto manufaturado específico? Qual o propósito e o uso da família? Que tipos de parâmetros a família precisa? A família precisa de um elemento hospedeiro? Qual o Nível de Desenvolvimento (ND) do objeto?

Logo, é preciso balancear a quantidade de detalhes e de informações de um componente com o seu objetivo e com o tipo e tamanho do projeto em que será inserido.

Clauss [6] recomenda que o tamanho ideal do arquivo do componente seja menor que 1000kbyte¹. Além disso, a taxonomia² e a convenção de nomes e unidade são aspectos fundamentais para a padronização digital [4].

Neste respectivo trabalho, seguiu-se algumas recomendações da BIMStore [5] para convenção de nomes de arquivos, dentre elas:

- Criar nomes únicos e que identifique o produto no mundo real;
- Se possível, não incluir a categoria da família no nome do arquivo;
- Usar letras maiúsculas no início da palavra;
- Manter o nome do arquivo o menor possível;
- Ao acrescentar informações no nome, considerar a ordem em que as descrições são listadas;
- Usar *CamelCase*³ ou caractere sublinhado (_) para separar palavras.

O controle de qualidade é um dos aspectos mais importantes do desenvolvimento dos componentes BIM, que, por se tratarem de uma representação digital de um produto real, devem ser completos e consistentes, respeitando as tolerâncias de uma construção, além de garantirem o desempenho da plataforma quando inseridos no modelo.

¹ Byte: Unidade de informação digital equivalente a oito bits.

² Taxonomia: Estudo científica responsável por determinar a classificação sistemática de diferentes coisas em categorias.

³ CamelCase: Prática de escrever palavras compostas ou frases, onde cada palavra é iniciada com maiúsculas e unidas sem espaços.

- Qualidade do Gráfico: Dimensões, pontos de inserção, relações com outros objetos BIM e as representações gráficas;
- Qualidade da Informação: Informações, relações paramétricas e vínculos ou regras comportamentais do componente;
- Qualidade na Montagem Final: Os diferentes tipos da família e o desempenho da plataforma BIM;
- Qualidade da Implementação: Testar o componente BIM em um projeto, reavaliando a aparência, suas limitações e desempenho, e a sua capacidade de ser implementada em projetos futuros.

Desenvolvida em 2017, a fôrma de pilar do respectivo trabalho consiste em painéis modulares de alumínio e plástico que conectam entre si por meio de tirantes “T” ou garras de aço, tanto lateralmente como transversalmente, possibilitando a montagem de inúmeras dimensões, de forma a atender a demanda de pilares retangulares em projetos estruturais, Figura 1.

A estruturação dos painéis, que compõem a fôrma consiste em uma grade de suporte de alumínio de 65 x 244 cm, composta de Perfis “L”, Perfil “Macho” e Perfil “Fêmea” conectados por meio de parafusos, que recebem quatro placas, conhecidas como plasterits.

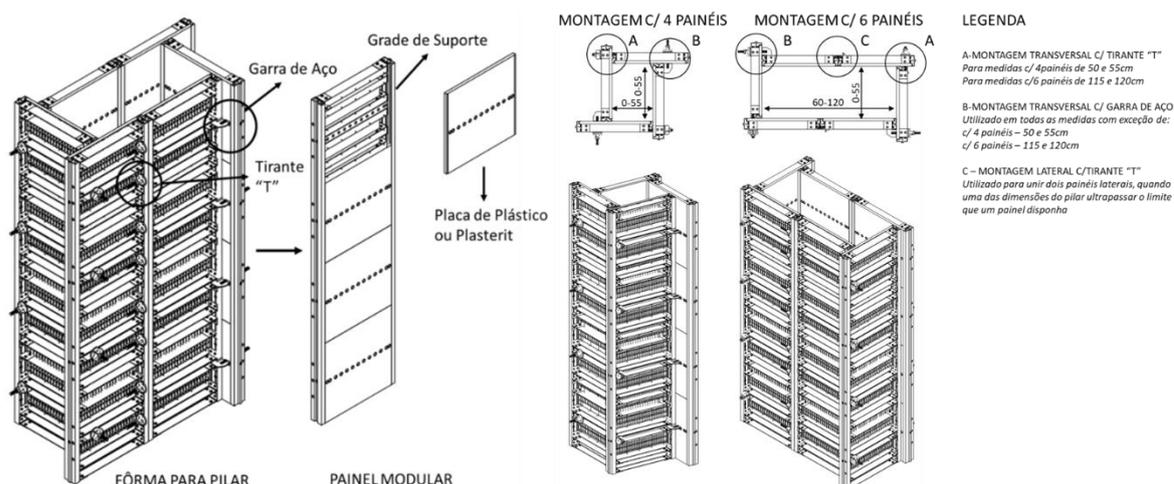


Figura 1 - Fôrma para Pilar Industrializada

Cada plasterit possui furos centrais espaçados a cada 5 cm que servem de passagem aos tirantes “T” ou garras de aço, que conectam outro painel transversalmente, formando as medidas do pilar, ou para aumentar a estabilidade do sistema montado, transpassando uma barra de ancoragem ao outro painel paralelo. Quando uma das dimensões da peça estrutural de concreto ultrapassar o limite que um painel disponha, será realizado o encaixe lateral entre os perfis “Macho” e “Fêmea”, juntamente com o auxílio de um tirante “T”, que transpassa os dois perfis. Ambos tipos de encaixe são apertados por uma porca metálica.

2. Metodologia

A fôrma utilizada no presente trabalho é um produto manufaturado, constituído de painéis modulares de alumínio e plástico de dimensões fixas, conseqüentemente, sua modelagem não necessita de parâmetros editáveis de dimensão, e sim de parâmetros Booleanos (sim/não) para ativar ou desativar propriedades gráficas dos componentes de acordo com a dimensão do pilar, e parâmetros compartilhados de número combinadas com fórmulas, que controlam os parâmetros Booleanos e retornam dados utilizados nos quantitativos.

Como o Revit não possui a categoria de fôrma e esta, quando modelada, será alocada em um pilar de estrutura ou de arquitetura, o template⁴ escolhido será o de modelo genérico, não dependendo de hospedeiro específico e sendo inserido em qualquer lugar do projeto.

O desenho da fôrma de pilar, Figura 2, foi modelado com ND 400 no software Inventor da AutoDesk [7], possuindo características de propriedades intelectual da empresa e detalhes de fabricação, sendo preciso fazer algumas modificações antes da exportação para o Revit, de forma que suas propriedades e geometrias sejam reconhecidas.

A dimensão do pilar é formada através das diferentes possibilidades de montagens dos painéis com aprumadores, sendo estes os objetos a serem simplificados e adaptados para o Revit. Em seguida, parâmetros, regras e vínculos serão acrescentados para formar um objeto 3D adaptativo que simule as diversas combinações para formar as medidas dos pilares.

Os tirantes “T”, garras de aço, porcas e barras de ancoragem, por serem elementos de pequena dimensão, não serão modelados para montagem da fôrma de pilar, pois podem sobrecarregar a família. Além disso, apenas a quantificação desses elementos são informações relevantes para o projeto, obtida por meio de parâmetros compartilhados de número e fórmulas.

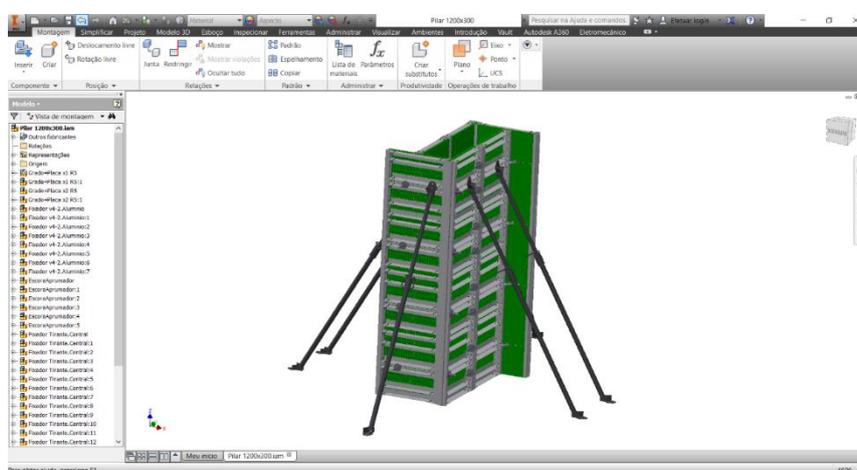


Figura 2 - Montagem de 120x30cm da fôrma de pilar modelada no Inventor

O desenho do painel e do aprumador são formados pela montagem de outros elementos, perfis “L”, plasterits, flauta, etc, constituindo arquivos de montagem de extensão IAM (Inventor Assembly File) precisando ser convertidos em arquivo IPT (Inventor Part File), representação do desenho por apenas um componente, pois essa extensão, a partir do Inventor 2014, possui uma ferramenta de exportação em RVT (extensão do Revit).

O nível de detalhe do painel e do aprumador, ND 400, possui alguns elementos como parafusos, chanfros, filetes, pequenas peças, detalhes e furos que são informações de propriedade intelectual e irrelevantes para o projeto de fôrmas, devendo ser ocultados ou simplificados. Para isso, criou-se um novo nível detalhe, ND 350, selecionando-se os elementos necessários que serão vinculados a este, e que serão convertidos em arquivo IPT, através do comando “Criar peça simplificada”.

Com os desenhos do painel e do aprumador convertidos em IPT é preciso verificar se todos os sólidos serão reconhecidos no Revit utilizando o comando “Verificar operações no Revit”. Percebeu-se que nenhum elemento será compatível, pois esta ferramenta não suporta chanfros, filetes e geometrias complexas, Figura 3. Em contrapartida, o relatório emitido sugere utilizar a ferramenta “Reconhecer operações do Revit”, que remodela o desenho com geometrias compatíveis, retirando todos os vazios, furos, nervuras das placas plásticas.

⁴ Templates: Arquivo com configurações pré-definidas para um novo projeto.

Resumo

Sucesso	Aviso	Falha
0	0	1

Detalhes

+/-	Nome	Tipo	Status
[-]	Grade+Placa x1 R5.iam	Não suportado	Falha

Gravidade	Mensagem
Falha	O tipo de recurso não é compatível com arquivos da família Revit. Dicas:É possível inserir o ambiente Reconhecimento de operações BIM para representar o modelo com as operações reconhecidas pelo Revit

Figura 3 - Relatório de verificações das operações do Revit

Após a verificação de compatibilidade, utilizou-se o comando “Exportar componentes de construção”, possibilitando exportar as propriedades geométricas, vistas 2D, conectores, parâmetros e outras propriedades do desenho em arquivo RVT, ADSK ou IFC, preencher propriedades do modelo, definir orientação do desenho e especificar a categoria OmniClass [8], entretanto, somente a categoria produtos do sistema OmniClass é classificada no Revit, enquanto a fôrma de pilar, por ser uma estrutura temporária que é utilizada para os processos que ocorrem durante o ciclo de vida de um empreendimento se enquadraria na categoria de ferramentas, diante disso, o desenho foi exportado como modelo genérico, sem classificação OmniClass.

O manual da BIMStore [6] recomenda que sejam criadas subcategorias para os diferentes tipos de geometrias ou sólidos de uma família, para atribuir as diferentes espessuras de linhas, cores e materiais do desenho no projeto.

O ideal é atribuir subcategorias para cada peça do painel da forma, placa plástica e grade de alumínio, porém, a importação de um desenho do Inventor possui o problema de ser representado como um elemento único, não sendo possível caracterizar diferentes subcategorias para os diferentes sólidos. Conseqüentemente, o painel e o apurador no Revit serão tratados como um único sólido, de mesma subcategoria, propriedade e material. Diante disso, criou-se uma subcategoria denominada “FormaPilar_Painel” que representa todo o painel modelado, figura 4, e “FormaPilar_Apurador” para o apurador.

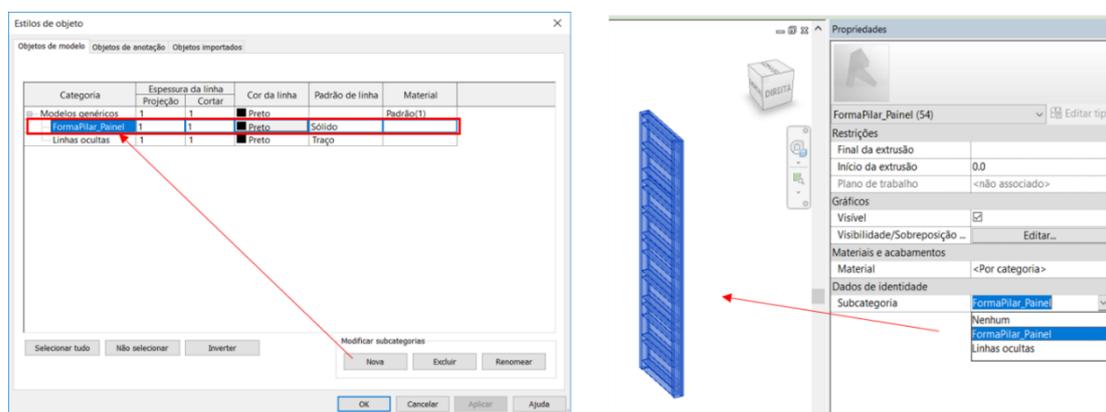


Figura 4 - Criação de subcategoria para o painel

Além disso, o material e a aparência dos desenhos não foram extraídos. Tendo em vista que as propriedades físicas dos materiais para a criação do objeto BIM deste trabalho são irrelevantes, e que um material pode ser aplicado através de um parâmetro ou de uma categoria e subcategoria no Revit, mas que o painel e o apurador importados são representados como um único sólido, de mesma categoria e subcategoria, decidiu-se utilizar o comando “Pintura” para deixar os desenhos parecidos com o produto real.

Devido ao painel e ao apurador não precisarem de parâmetros que alterem as suas propriedades geométricas, foi redefinido apenas o ponto de origem, planos de referências e cotas que definem suas geometrias, Figuras 5, para a criação da família fôrma de pilar.

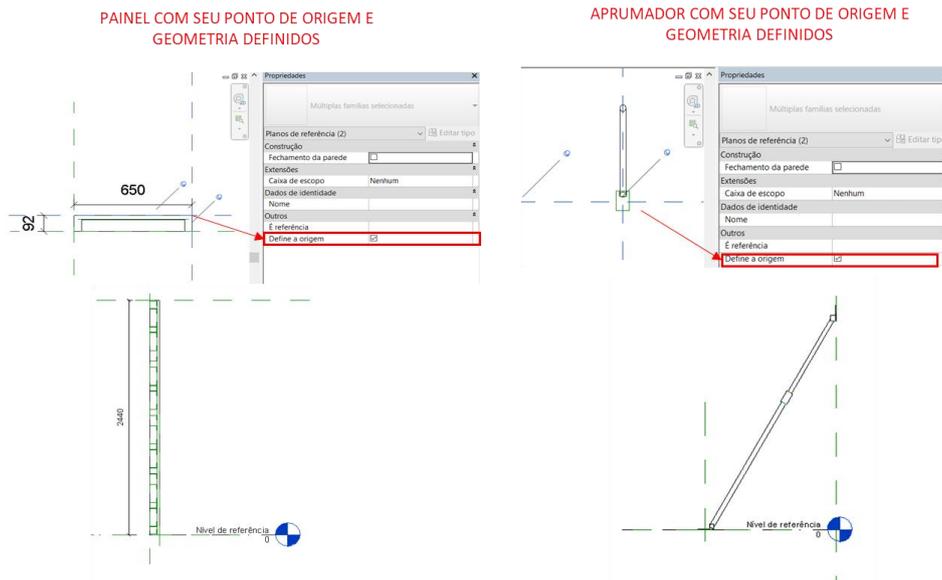


Figura 5 - Definição do ponto de origem e geometria do painel e do aprumador a partir dos planos de referência

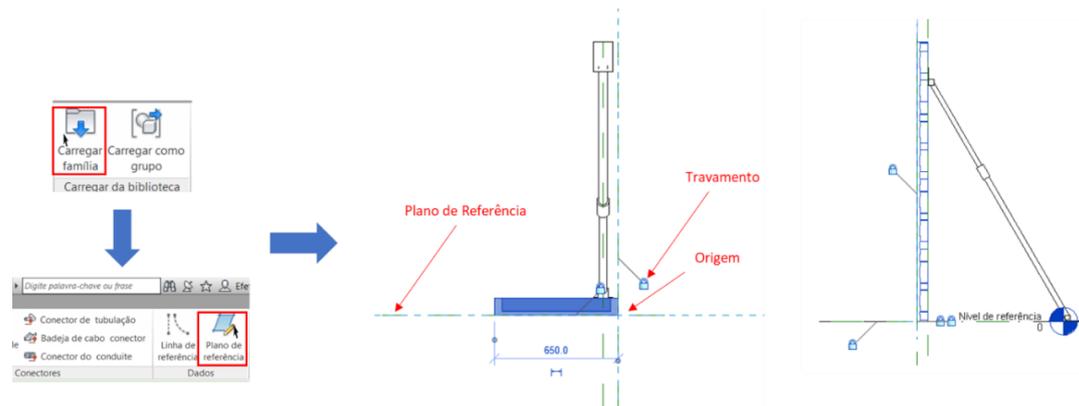


Figura 6 - Definição dos planos de referência e travamentos do painel e aprumador

Tendo em vista que a montagem da fôrma de pilar se deve através das combinações dos painéis, executou-se o comando “Matriz” do painel e do aprumador inseridos inicialmente, para simular o encaixe lateral dos painéis, e para a menor dimensão, foi inserido um novo painel e aprumador transversalmente, definindo, em seguida, novos planos de referência e travamentos, quando necessários, conforme ilustrado na Figura 7.

Em seguida, repetiu-se a inserção de novos painéis e aprumadores, a execução do comando “Matriz”, a criação de novos planos de referência e dos travamentos para fazer o fechamento da fôrma de pilar.

Após a inserção de todos os planos de referências e das famílias que fazem parte da montagem da fôrma de pilar, foram colocadas cotas para criar as relações paramétricas. Para a família fôrma de pilar deste trabalho, por ser um objeto BIM que será utilizado em diversos projetos e por necessitar que suas propriedades sejam registradas para quantificação, foram criados parâmetros compartilhados que serão salvos em um arquivo de texto externo. Nas cotas, foram atribuídos parâmetros compartilhados de instância, Figura 8, fazendo com que as dimensões dos pilares sejam listadas nas tabelas de quantificação e, por ser de instância, o objeto BIM pode ser inserido com diferentes dimensões no projeto.

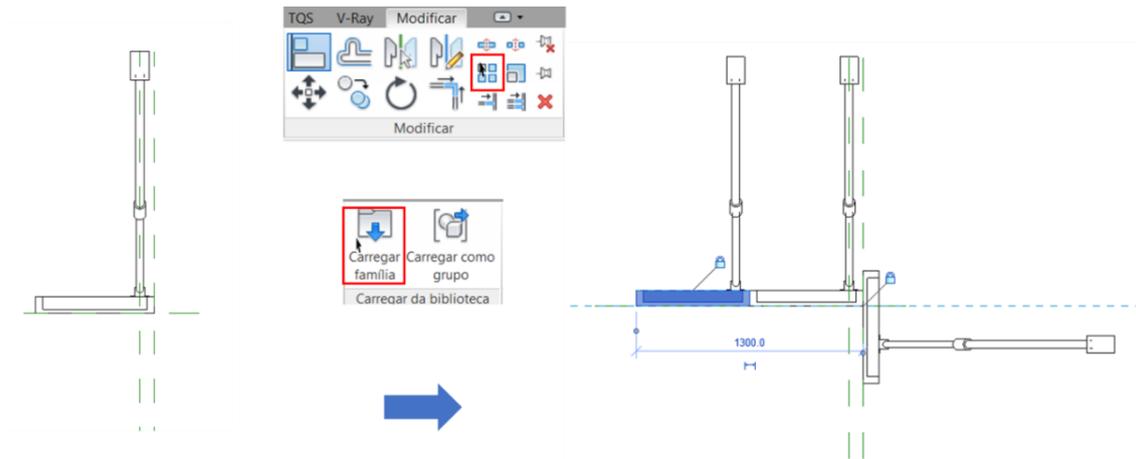


Figura 7 - Criação da maior dimensão e menor dimensão da fôrma de pilar

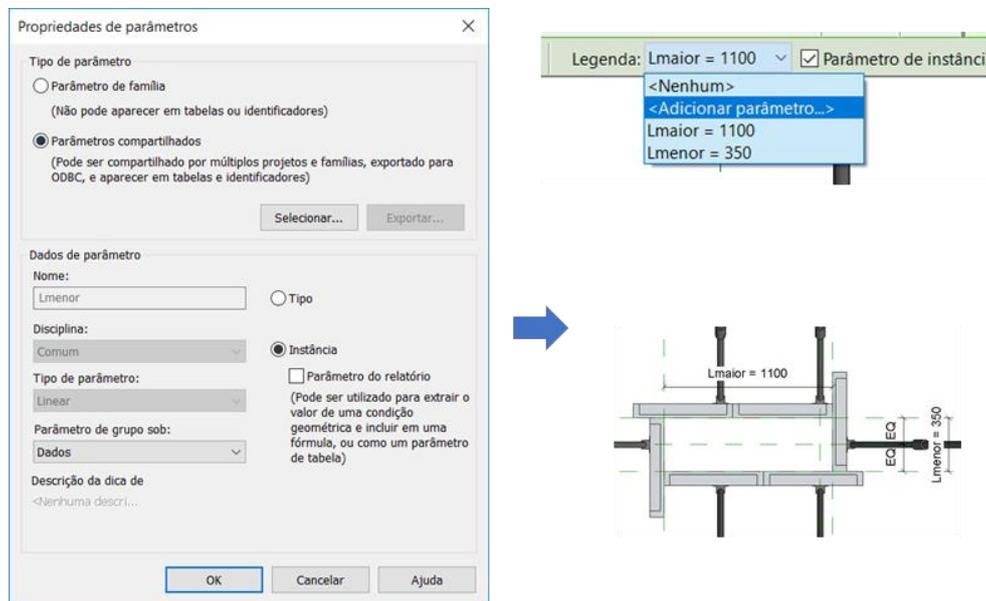


Figura 8 - Atribuição de parâmetros nas legendas das cotas

Após a inserção dos parâmetros referentes às dimensões do pilar, foram criados parâmetros de família, que não serão listados em tabelas, para as matrizes criadas para a maior dimensão do pilar, Figura 9.

Pelo fato do painel ter um tamanho limitado, podendo atender até 55 centímetros, foram criados parâmetros de instância com fórmulas que ativam o comando “Matriz” de acordo com a dimensão do pilar. Caso a maior dimensão ultrapasse 55 centímetros, o parâmetro ativa outro painel lateral com aprumador, fazendo com que atenda à dimensão solicitada.

Porém, levando em conta que a maior dimensão do pilar não pode exceder a cinco vezes a menor dimensão, de acordo com a NBR6118:2014 [9], senão é considerado pilar-parede, e que a menor dimensão do pilar será constituída por apenas um painel que atende 55 centímetros, a maior dimensão do pilar não poderá ultrapassar 275 centímetros. Diante disso, a fórmula que das matrizes dos painéis e aprumadores ativará até cinco painéis, que atende até o comprimento de 315cm.

Entretanto, o comando “Matriz” só pode ter um valor inteiro de dois ou superior, assim, criou-se fórmulas condicionais que mantenham um parâmetro de matriz de no mínimo dois, mesmo que o valor calculado seja um ou zero. Ou seja, mesmo se o pilar tiver um comprimento menor que 55 centímetros, aparecerão dois painéis. Devido a essa limitação do Revit, é preciso

atribuir parâmetros booleanos de instância com formulações condicionais às matrizes criadas para tornar o conjunto visível somente quando a maior dimensão do pilar for maior que 55 centímetros. Em seguida, é preciso inserir novos componentes dos painéis e aprumadores na maior dimensão do pilar, sobrepondo os componentes das matrizes, travando a geometria e inserindo novos planos de referência, quando necessário, com parâmetros booleanos de instância com formulações condicionais para tornar os novos componentes inseridos visíveis somente quando a dimensão do pilar for menor que 55 centímetros.

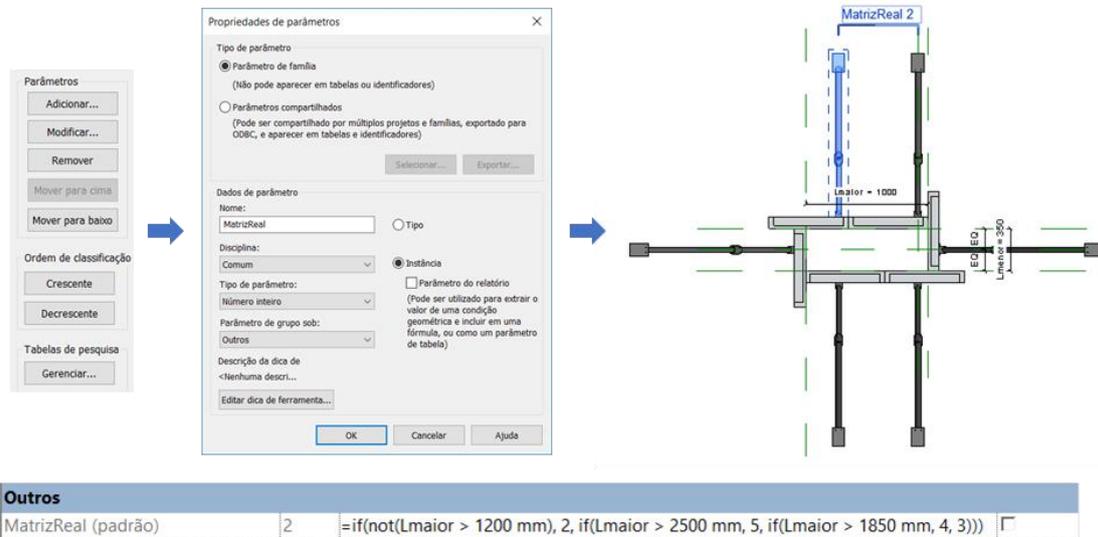


Figura 9 - Parâmetro de instância para as matrizes

Além disso, na construção de um empreendimento, muitos pilares são de canto ou de borda, e dependendo do tipo de aprumador a ser utilizado, por decisão do engenheiro, executam-se as fôrmas de pilar com aprumadores somente em algumas faces da fôrma a ser concretada. Diante disso, é preciso criar parâmetros de instância booleanos nos aprumadores da família fôrma de pilar que podem ser ativados ou desativados de acordo com o projeto, por meio de parâmetros de número e formulações condicionais para que seja possível a criação de parâmetros e fórmulas que quantifiquem esse material, conforme ilustrado na Figura 10.

A fôrma de pilar em estudo consegue fazer qualquer tipo de pilar quadrilátero com medidas múltiplas de 5cm. Porém, aqui não foi possível implementar alguma condicional que impeça que a família faça medidas não atendidas pela fôrma de pilar. Em contrapartida, criou-se uma família de anotação, com suas propriedades gráficas ativadas ou desativadas por meio de parâmetro booleano de instância, que mostra as medidas de instância da família fôrma de pilar no projeto, permitindo que o projetista identifique rapidamente se o pilar do projeto pode ser construído com a fôrma de pilar ou não, Figura 11.

Para concluir a modelagem da fôrma de pilar, falta atribuir os parâmetros compartilhados de número com formulações para a quantificação dos componentes. Há a possibilidade de quantificar os painéis e os aprumadores sem criar fórmulas ou parâmetros de número, bastando ativar o parâmetro “compartilhado” da família, porém, esse método apenas indica a quantidade total do elemento no projeto e não lista as porcas, garras de aço, tirantes “T” e barras de ancoragem que também devem ser quantificados, pelo fato de não terem sido modelados.

Para facilitar a seleção dos parâmetros que serão listados nas tabelas de quantificação, nos parâmetros compartilhados de quantificação foram colocados prefixos “Imp”, que representam a sigla da empresa fornecedora da fôrma de pilar, figura 12.

Tipos de famílias

Nome: _____

Parâmetro	Valor	Fórmula
Gráficos		
1 (padrão)	<input type="checkbox"/>	=not(Lmaior > 550 mm)
Aprumador01 (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= [Aprumador01 (S=1/ N=0)] = 1
Aprumador02 (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= [Aprumador02 (S=1/ N=0)] = 1
Aprumador03 (padrão)	<input type="checkbox"/>	= and(not(Lmaior > 550 mm), [Aprumador03 (S=1/ N=0)] = 1)
Aprumador04 (padrão)	<input type="checkbox"/>	= and(not(Lmaior > 550 mm), [Aprumador04 (S=1/ N=0)] = 1)
MatrizAprumador03 (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= and(Lmaior > 550 mm, [Aprumador03 (S=1/ N=0)] = 1)
MatrizAprumador04 (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= and(Lmaior > 550 mm, [Aprumador04 (S=1/ N=0)] = 1)
Matriz (padrão)	<input checked="" type="checkbox"/>	= Lmaior > 550 mm
Dados		
Lmaior (padrão)	1000.0	=
Lmenor (padrão)	350.0	=
Visibilidade		
Aprumador01 (S=1/ N=0) (padrão)	1	=
Aprumador02 (S=1/ N=0) (padrão)	1	=
Aprumador03 (S=1/ N=0) (padrão)	1	=
Aprumador04 (S=1/ N=0) (padrão)	1	=
Outros		
MatrizReal (padrão)	2	= if(not(Lmaior > 1200 mm), 2, if(Lmaior > 2500 mm, 5, if(Lmaio
Dados de identidade		

Parâmetros booleanos para ativar ou desativar propriedades gráficas dos aprumadores pelas fórmulas condicionantes

Parâmetros de instância editáveis
 1: Ativa a propriedade gráfica
 2: Desativa a propriedade gráfica

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	1
Aprumador03 (S=1/ N=0)	1
Aprumador04 (S=1/ N=0)	1

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	0
Aprumador03 (S=1/ N=0)	1
Aprumador04 (S=1/ N=0)	1

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	0
Aprumador03 (S=1/ N=0)	0
Aprumador04 (S=1/ N=0)	1

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	0
Aprumador03 (S=1/ N=0)	0
Aprumador04 (S=1/ N=0)	0

Figura 10 - Parâmetros booleanos e fórmulas condicionais para desativar ou ativar propriedades gráficas dos aprumadores

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	0
Aprumador03 (S=1/ N=0)	0
Aprumador04 (S=1/ N=0)	0
LegendaDimensão	<input checked="" type="checkbox"/>

Múltiplos de 5cm

Visibilidade	
Aprumador01 (S=1/ N=0)	0
Aprumador02 (S=1/ N=0)	0
Aprumador03 (S=1/ N=0)	0
Aprumador04 (S=1/ N=0)	0
LegendaDimensão	<input type="checkbox"/>

Parâmetro de visibilidade da anotação desativada

Medida não atendida pela fôrma de pilar

Figura 11 - Anotação na família fôrma de pilar e parâmetro booleano que ativa ou desativa sua propriedade gráfica

Parâmetros numéricos com fórmulas condicionais para quantificação dos elementos

Dados		
Lmenor (padrão)	350.0	=
Lmaior (padrão)	1000.0	=
Imp_Painel (padrão)	6	=if(not(Lmaior > 2500 mm), if(Lmaior > 1850 mm, 10, if(Lmaior > 1200 mm, 8, if(not(Lmaior > 550 mm), 4, 6))), 12)
Imp_GarraDeAço (padrão)	16	=16 - Imp_TiranteT + if(Lmaior > 2500 mm, 32, if(Lmaior > 1850 mm, 24, if(Lmaior > 1200 mm, 16, if(Lmaior > 550 mm, 8, 0))))
Imp_TiranteT (padrão)	8	=if(Lmaior > 2500 mm, 32, if(Lmaior > 1850 mm, 24, if(Lmaior > 1200 mm, 16, if(Lmaior > 550 mm, 8, 0)))) + if(or(Lmenor = 500 mm, Lmaior > 2500 mm), 16, 0)
Imp_BarraDeAncoragem (padrão)	8	=if(Lmaior > 2500 mm, 20, if(Lmaior > 1850 mm, 16, if(Lmaior > 1200 mm, 12, if(Lmaior > 550 mm, 8, 0))))
Imp_Porca (padrão)	32	=Imp_GarraDeAço + Imp_TiranteT + Imp_BarraDeAncoragem
Imp_Aprumador (padrão)	6	=if([Aprumador01 (S=1/ N=0)] = 1, 1, 0) + if([Aprumador02 (S=1/ N=0)] = 1, 1, 0) + if([Aprumador03 (S=1/ N=0)] = 1, if(Lmaior >

Figura 12 - Parâmetros compartilhado de instância para quantificação dos elementos da fôrma de pilar

3. Resultados e Discussão

Tendo em vista que o objeto BIM deve possuir todas as informações importantes para um projeto e ao mesmo tempo, garantir o desempenho da plataforma BIM, verificou-se os quatro aspectos de qualidade listados por Weygant [4] em um projeto de estrutura exportado do TQS (Sistema computacional gráfico destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural) de um edifício que utilizará as fôrmas do respectivo trabalho para a sua execução.

Para a avaliação da família fôrma de pilar, testou-se o objeto BIM em um pavimento tipo do projeto de estrutura exportado. Para isso, inseriu a família fôrma de pilar nos pilares múltiplos de 5cm do pavimento teste, verificando o ponto de inserção, relação com outros elementos do projeto, suas representações gráficas, suas relações paramétricas e o seu desempenho na plataforma BIM, Figura 13. Também foi gerado uma tabela de quantitativos com os parâmetros compartilhados criados para verificar a consistência dos dados.

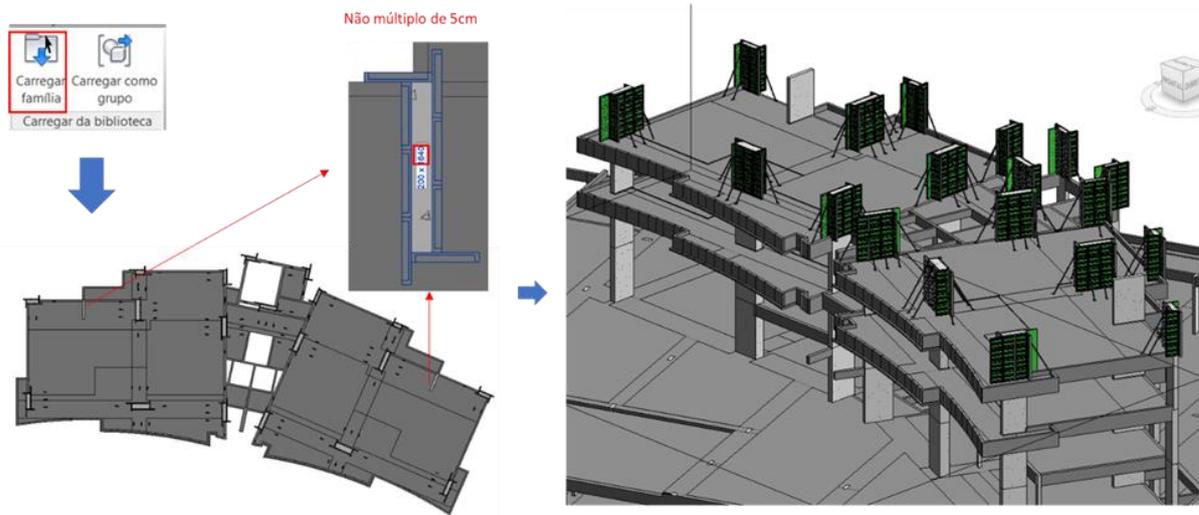


Figura 13 - Família fôrma de pilar inserido no pavimento tipo de teste

4. Considerações finais

O trabalho aqui desenvolvido, tendo em vista que o BIM vem provocando uma profunda reorganização no setor da construção em todo o mundo e que no setor de fôrmas, há o aumento da exigência do mercado em desenvolver soluções de fôrmas modulares, teve como objetivo desenvolver um componente BIM da fôrma de pilar industrializada no Revit, seguindo algumas normas nacionais e internacionais, e manuais elaborados por incentivos governamentais e por organizações não governamentais.

Antes da modelagem propriamente dita, foi realizado um planejamento da família no Revit a ser modelada, levantando algumas informações como, seu propósito, uso, parâmetros necessários, nível de detalhe e como se relacionará com os outros elementos do projeto.

A fôrma de pilar do respectivo trabalho já tinha sido modelado em um outro software CAD (Computer Aided Design), o Inventor, utilizado para prototipagem de projetos mecânicos, que por ser também da AutoDesk, possui uma boa interoperabilidade com o Revit, com um elevado nível de detalhamento, ND 400, possuindo muitas características de propriedade intelectual da empresa e detalhes irrelevantes para os projetos fornecidos aos clientes da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), assim, antes da sua exportação para a plataforma BIM, foi preciso simplificar do desenho, retirando as características de propriedade intelectual, pequenos detalhes, vazios, e verificar a compatibilidade das geometrias e propriedades do desenho com o Revit.

Após a sua importação, modelou-se a família fôrma de pilar a partir do aninhamento das famílias que compõem a montagem da fôrma de pilar, os painéis e os aprumadores, definindo planos de referências, travamentos e parâmetros com formulações condicionais que ativam ou desativam propriedades gráficas, que quantificam os elementos da família e que definem as suas dimensões de montagem.

O processo de modelagem foi desenvolvido de forma gradual, na tentativa e no erro, testando e tomando as devidas ações corretivas, verificando todas as relações paramétricas, pontos de inserção, vistas, gráficos do modelo, formulações e informações de quantificação, e procurando deixar componente BIM com o tamanho de arquivo menor que 1000kbyte, para garantir o desempenho da plataforma BIM quando inserido no modelo.

Testou-se o objeto BIM finalizado em um projeto exportado do TQS de um edifício que utilizará as fôrmas industrializadas em estudo para a sua execução, sendo possível identificar algumas limitações e pontos que poderiam ser melhorados.

Pelo fato da família fôrma de pilar possuir famílias que foram importados de outro software CAD e que as fôrmas para concreto armado não são categorizadas por padrão no Revit, não foi possível atribuir subcategorias de todos os elementos pertencentes ao objeto BIM e nem a categoria correta para a fôrma de pilar; sem uso de programação ou de algum API (Application Programming Interface), não foi possível atribuir restrições comportamentais na família fôrma de pilar para ser inserido somente quando o pilar possuir medidas múltiplas de 5cm e para evitar conflitos com outros elementos do modelo; pelo fato de o BIM ainda está em processo de estudo na empresa, não há informações suficientes para atribuir parâmetros na família para o planejamento 4D, para logística de material e de manutenção.

Porém, essas limitações identificadas estão relacionadas com fatores internos da empresa, que só serão solucionados após a implementação do BIM nos processos da firma, e pela limitação do software utilizado, que necessita de programação ou API para algumas operações mais avançadas. Diante disso, a família fôrma de pilar modelada conseguiu atender o objetivo esperado do trabalho, mostrando-se eficaz quanto a sua automatização e flexibilidade de montagem no projeto, a geração automática de quantitativos e o desempenho da família na plataforma BIM, mesmo possuindo muitos parâmetros, formulações condicionais, famílias aninhadas e geometrias complexas.

Referências

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, K. Liston, Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores, Bookman, Porto Alegre, 2014.
- [2] Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). Vol. 5, Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras, 2016.
- [3] NBS National BIM Library. NBS BIM Object Standard. 1.3 [s.i]: Riba Enterprises, 2014.
- [4] R. S. Weygant, BIM Content Development: Standard, Strategies and Best Practices, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.

- [5] BIMSTORE (UK). Bimstore bible: Revit family creation standars. 2017. <https://storage.googleapis.com/bimstore-uploads/uk/uploads/software/bimstore-bible-v15.pdf> (acessado 04 agosto 2017).
- [6] J. Clauss, Providing Manufacturer-Specific BIM Content for Revit from Inventor. Instructional Demo PD20638, 2016. Las Vegas, 2016.
- [7] AUTODESK. Revit Model Content Style Guide. 2009. [http://www.angularis.com/files/Revit Model Content Style Guide.pdf](http://www.angularis.com/files/Revit%20Model%20Content%20Style%20Guide.pdf) (acessado 04 agosto 2017).
- [8] OMNICLASS. OmniClass: Construction Classification System. <http://www.omniclass.org/> (acessado 14 agosto 2017).
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118:2014, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, 2014.

ORCID

L.B. Sales 0000-0002-1927-2917 (<https://orcid.org/0000-0002-1927-2917>)
I.L. Salomão 0000-0002-3320-577X (<https://orcid.org/0000-0002-3320-577X>)
E.C.R. Ponte 0000-0001-8296-3019 (<https://orcid.org/0000-0001-8296-3019>)
L.A. Rodrigues 0000-0001-6026-8461 (<https://orcid.org/0000-0001-6026-8461>)

Concretos com Agregados Residuais de Construção e Demolição e Pozolanas

Concrete with Construction and Demolition Residual Aggregates

C.C. Santos^{a†}, G.C. Isaia^a

^a *Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: cristianecdossantos@hotmail.com*

RESUMO

Com o crescente aumento do consumo dos recursos naturais em nível mundial, geram-se grandes preocupações em relação ao meio ambiente, tornando a sustentabilidade um assunto em destaque quanto à qualidade de vida e a sobrevivência dos seres vivos. A presente pesquisa visa analisar misturas de concreto com agregado residual de construção e demolição (RCD) através dos ensaios de resistência à compressão axial. Os concretos estudados foram moldados com substituição de dois teores de agregado residual, ou seja, substituições de 15 e 30% do agregado graúdo por RCD, o cimento também foi substituído parcialmente por dois tipos de pozolanas em misturas binárias e ternárias, em que se realizaram substituições de 25% de cimento por cinza de casca de arroz (CCA) e 25% de cinza volante (CV) para as misturas binárias, já para as ternárias os teores de substituições foram de (15+10) % (CCA+CV). Para os ensaios de resistência à compressão axial foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensão 10x20cm e curados em câmara úmida por um período de 28 dias. Através dos resultados pôde-se perceber que em relação ao traço referência (sem substituições), os concretos com pozolanas, tanto em misturas binárias como ternárias obtiveram resistência à compressão axial bem próximos da referência, já os traços moldados com substituições somente de agregados resultaram em resistência à compressão axial bastante inferiores. No entanto, concluiu-se que em relação à resistência à compressão axial é viável a utilização de RCD em concretos, porém quando da utilização de pozolanas na mistura.

ABSTRACT

With the increasing consumption of natural resources worldwide, there are great concerns about the environment, making sustainability a prominent issue regarding the quality of life and survival of living beings. This research aims to analyze concrete mixtures with construction and demolition residual aggregate (RCD) through axial compressive strength tests. The concretes studied were molded with substitution of two contents of residual aggregate, ie substitutions of 15 and 30% of the coarse aggregate by RCD, the cement was also partially replaced by two pozzolans in binary and ternary mixtures, in which they were made. substitutions of 25% of cement by rice husk ash (CCA) and 25% of fly ash (CV) for binary mixtures, while for ternary substitutions levels were (15 + 10)% (CCA + CV). For the tests of resistance to axial compression were molded cylindrical specimens of dimension 10x20cm and cured in a humid chamber for a period of 28 days. Through the results it could be seen that in relation to the reference trait (without substitutions), the pozzolan concretes, in both binary and ternary mixtures, obtained resistance to axial compression very close to the reference, whereas the molded traces with substitutions of aggregates only resulted in much lower axial compressive strength. However, it was concluded

Palavras-chave:

Concreto; Material
pozolânico;
Resistência à
compressão axial.

Keywords:

Concrete; Pozzolanic
material; Resistance
to axial
compression.

that in relation to the axial compressive strength the use of RCD in concrete is feasible, but when using pozzolans in the mixture.

1. Introdução

Governos de todo o mundo têm lutado para equilibrar o crescimento econômico com seus efeitos negativos sobre o meio ambiente, tanto nas regiões desenvolvidas quanto nas em desenvolvimento [1]. No entanto, a população mundial está com previsão de atingir 70% do total de pessoas residindo em centros urbanos até 2050 [2], processo que requer um volume maior de obras nas cidades para atender à demanda. Portanto, o progresso da economia e da sociedade de uma nação tem relação próxima com a indústria da construção, mas também eleva a quantidade de recursos naturais consumidos por essa indústria, destacando-se neste cenário o grande consumo de cimento, agregados naturais e, conseqüentemente, de concreto. Este ciclo de crescimento resultará em problemas ambientais, tais como, o aquecimento global, poluição do ar, da água e dos solos, destruição de ecossistemas e esgotamento de recursos naturais.

Em 2021, cada tonelada de cimento era produzida com emissões 18% menores do que três décadas antes [3]. Neste período, porém, a demanda de cimento no mundo triplicou. O resultado é que, apesar dos avanços tecnológicos do setor, suas emissões continuam subindo. O relatório conjunto da Agência Internacional de Energia e do Conselho Global de Negócios para o Desenvolvimento Sustentável [4] corrobora esta informação, em que, até 2050, a produção global de cimento deve aumentar 12%, mas suas emissões crescem “somente” 4%. Além disso, com o crescente esgotamento dos agregados naturais, em grandes metrópoles os mesmos são transportados de locais cada vez mais distantes, originando gastos e poluição adicional devido ao custo do frete e exalação de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis pelos caminhões.

Então, sabendo-se das propriedades do concreto, tais como, durabilidade, segurança estrutural e boa resistência ao fogo, uma boa possibilidade que o mesmo proporciona é a substituição parcial do cimento por pozolanas, contribuindo com uma possível redução do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo produtivo do clínquer e a diminuição dos descartes indevidos. Metha e Monteiro [5] afirmam que as adições minerais melhoram as propriedades do concreto, como a microestrutura, reduzem a segregação e exsudação devido à segmentação dos canais de percolação da água e promovem o aumento de locais de nucleação para os produtos de hidratação, fazendo com que a pasta fique mais homogênea. Com isso, os grãos menores, por efeito físico, diminuem o efeito parede na zona de transição devido ao empacotamento dos poros, promovendo o aumento da resistência. Também, outra alternativa é a substituição parcial do agregado gráudo natural por agregado gráudo proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD), diminuindo a exploração e o consumo dos agregados naturais, bem como, a redução dos descartes impróprios.

Em virtude destes aspectos e visando a aplicação das pozolanas alternativas e dos resíduos de concreto em novas estruturas de concreto armado, este estudo pretende contribuir com a sociedade, além, de trazer benefícios ao meio ambiente através de conhecimentos teóricos e práticos aplicados.

1.1. Objetivos

Verificar a eficiência do concreto estrutural, através dos resultados de resistência a compressão axial, substituindo parcialmente o agregado gráudo natural por agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), bem como, a substituição parcial do cimento por dois tipos de pozolanas, cinza volante e cinza de casca de arroz (para compensar a resistência do concreto com o uso de RCD).

2. Concreto e sustentabilidade: reciclagem de resíduos

2.1. Resíduos de construção e demolição

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país, pois é responsável por mais de 10% do Produto Interno Bruto (PIB), mas por sua vez, gera consideráveis impactos ambientais, tanto pelo consumo de recursos naturais, como pela geração de resíduos [6]. Para minimizar os problemas causados pela construção civil, tem-se como alternativa a reutilização ou reciclagem dos rejeitos, que apesar desses procedimentos terem começado na Europa depois da Segunda Guerra Mundial, no Brasil ainda se encontram em atraso, mesmo com os problemas de escassez das áreas para aterros, principalmente em regiões metropolitanas.

Os resíduos gerados pela construção civil são definidos pela resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307 [7] e pela ABNT NBR 15113 [8] como resíduos provenientes de construções, reparos, reformas e demolições, consequentes de escavações de terrenos, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, tintas, colas, madeiras, compensados, gesso, forros, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, plásticos, tubulações, entre outros; que são usualmente denominados no Brasil como entulhos de obra, calça ou metralha. No entanto, os resíduos provenientes de construção e demolição (RCD) são gerados durante todo o processo de construção, e conforme Ângulo [9] são responsáveis por 50% do total de resíduos sólidos urbanos (RSU) que são produzidos pela população.

Pesquisas apontam [10,11,12,13] que existe um aumento acelerado na geração de RCD, pois com o crescimento da população necessitam-se quantidades maiores de infraestruturas [2]. Conforme a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE [14] foram coletados pelos municípios brasileiros no ano de 2020 cerca de 47 milhões de toneladas de RCD, apresentando um aumento de 5,5% em relação ao ano anterior. Com isso, a quantidade coletada foi de 221,2 kg por habitante/ano.

Para Vieira e Dal Molin [11] a utilização de agregados reciclados em concretos não afetam a sua resistência à compressão e a durabilidade, mas enfatizam a importância dos tratamentos deste material, desde o beneficiamento até o momento da utilização, fazendo com que suas propriedades sejam conhecidas e as limitações de seu uso diminuam. Diversos estudos realizados com a utilização de RCD em concretos confirmam a viabilidade de utilização deste material, mas, conforme Cabral [12] deve-se levar em consideração a relação água/materiais cimentícios (a/mc), pois este é um dos principais fatores que interferem na resistência a compressão. No entanto, de acordo com Banthia e Chan [13] as diferenças entre as propriedades dos concretos convencionais e dos concretos com a utilização de agregados reciclados é resultante de alguns fatores, como o teor de substituição deste agregado, da característica do concreto original, da natureza e nível de contaminantes, quantidade de finos e argamassa que está aderida ao agregado, entre outros fatores.

Por apresentar propriedades diferentes dos agregados naturais, os agregados provenientes de RCD possuem interferências nas propriedades dos materiais aos quais eles fazem parte, algumas delas benéficas e outras nem tanto, como por exemplo, quando adicionado ao concreto, muitas vezes reduz a resistência mecânica. No entanto, Mehta e Monteiro [5] mencionam que a redução da resistência à compressão desses concretos, pode chegar a, pelo menos, dois terços da resistência atingida pelo concreto referência, ou seja, produzido com somente agregado natural. Desta forma, Leite [15] afirma que a redução da resistência à compressão dos concretos com agregados reciclados é devida à alta porosidade desses materiais, e também pela porosidade da zona de transição.

Neste contexto, estudos realizados por Correia et al. [16] inferem que para as substituições de 100% e 22% do agregado natural pelo reciclado, obteve-se redução da resistência à compressão de 45% e 22%, respectivamente, atribuindo esses resultados as propriedades dos agregados que foram utilizados. Já nas pesquisas realizadas por Rahal [17] os concretos com substituições de 100% por agregados graúdos reciclados resultaram em uma redução da resistência à compressão de 9% em relação ao concreto referência, mas

em outra pesquisa realizada pelo mesmo autor, ele obteve uma redução bem maior, chegando a 45%.

Mesmo apresentando redução na resistência à compressão, os concretos produzidos com agregados reciclados podem ter sua resistência aumentada através de alguns procedimentos realizados durante a preparação da mistura de concreto. Entretanto, Araújo [10] aponta que a menor resistência obtida pelos concretos com RCD é consequência da sua maior porosidade em relação aos agregados convencionais, mas com a redução da relação água/materiais cimentícios (a/mc), esta resistência pode ser aumentada, pois se reduz a porosidade da pasta de cimento.

2.2. Pozolanas

Nos últimos anos a indústria da construção civil tem buscado, de maneira constante e bastante insistente, a utilização de materiais alternativos com o objetivo de atender aos requisitos para o desenvolvimento sustentável. Entre esses materiais destacam-se as pozolanas, que são definidas pela ABNT NBR 12653 [18] como materiais silicosos ou silicoaluminosos, que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Segundo Isaia, Furquim e Gastaldini [19], quando se substitui parte de cimento por adições minerais, cada tipo atua de modo distinto, de acordo com a finura, atividade química, física ou ainda quantidade na mistura, tendo em vista que esses fatores proporcionam diferentes interações com a pasta. Alterações do tipo ou teor da adição mineral e da relação água/aglomerante (a/ag), bem como, condições de cura, influem na microestrutura dessas pastas e resultam em comportamento mecânico e de durabilidade distintos, o que acaba por afetar a eficiência da microestrutura como um todo. Entre os diversos tipos de materiais pozolânicos, a cinza de volante (CV) e a cinza de casca de arroz (CCA) são alguns dos subprodutos cada vez mais estudados e utilizados nas últimas décadas, tendo como propósito tentar reduzir os impactos negativos ocasionados ao meio ambiente e ao mesmo tempo melhorar as propriedades do concreto, pois existem várias [20,5] pesquisas que apontam a viabilidade de substituir-se parcialmente o cimento por estes subprodutos agroindustriais.

A cinza volante é um subproduto proveniente da queima do carvão mineral utilizado em usinas termelétricas para geração de energia e contém altos teores de sílica e alumina. Segundo Pires [21], uma parte da cinza volante é formada pelas inclusões minerais do carvão precursor que ficam expostas após o desprendimento dos voláteis e o consumo do carbono, a uma temperatura entre 1100 e 1300 °C, e fundem formando pequenas gotículas que, por sua vez, formam gotículas maiores. Rocha Junior [22] acrescenta que a parte restante é formada a partir de componentes não combustíveis e partículas de carvão não queimado.

Segundo a ASTM C618/2012 [23], as cinzas volantes são classificadas em Classe C e Classe F. A cinza volante é um complexo material formado pela combinação de fases amorfas ou vítreas (60-90%) e fases cristalinas. Estas cinzas são compostas principalmente por silicatos (SiO_2 , 35-60%), alumina (Al_2O_3 , 10-30%), óxidos de ferro (Fe_2O_3 , 4-20%) e de cálcio (CaO , 1-35%). Quando a soma dos teores de sílica, alumina e óxido de ferro forem superiores a 70%, a cinza volante é classificada como de Classe F. Na cinza volante de Classe C esta soma precisa ser superior a 50%. Geralmente as cinzas de Classe C possuem teor de CaO maior que 20% [24].

A cinza da casca de arroz é um resíduo agroindustrial, resultante da combustão da casca de arroz, geralmente usada pelas indústrias beneficiadoras de arroz como combustível na geração de calor necessário no processo de secagem dos grãos. Mehta e Monteiro [5] citam que a CCA corresponde a 20% do volume de casca de arroz e é um material leve, com porosidade interna.

Em relação a sua composição química, Mehta e Monteiro [5] descrevem que a casca de arroz possui alto teor de sílica, composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra. A lignina e a celulose são removidas durante a queima, resultando numa estrutura celular porosa. O tamanho das partículas da CCA, juntamente com as condições

de queima, é um dos fatores que influenciam nas características pozolânicas das CCAs. A moagem é uma operação necessária, capaz de modificar as propriedades físicas da cinza da casca de arroz, tais como a superfície específica e finura.

A substituição de pozolanas por materiais constituintes do concreto, não só contribui para a redução dos impactos ambientais, como também melhora as propriedades desse novo material. Desta forma Isaia [20] menciona que as pozolanas são acrescentadas ao concreto de alto desempenho com o objetivo de alcançar uma microestrutura mais compacta e uniforme, o que resulta em um concreto com maior desempenho em relação ao concreto convencional, sem adições, no que se refere à durabilidade, desempenho e vida útil da estrutura de concreto.

Logo, a possibilidade de incorporação dessas adições no ramo da construção civil, além de proporcionar melhorias nas propriedades do concreto, contribui diretamente na diminuição da exploração de minerais não renováveis, como também na redução dos problemas causados pela forma como são tratados esses rejeitos, ocupando um papel ecologicamente correto. Para amenizar o impacto ambiental e econômico da fabricação do cimento, as adições minerais têm se mostrado uma alternativa viável e eficiente para a substituição parcial do clínquer, visto que grande parte dessas adições é formada por resíduos agroindustriais e subprodutos industriais.

3. Metodologia Experimental

Este item apresenta a metodologia aplicada para a confecção dos corpos de prova de concreto empregados na pesquisa, bem como, a caracterização dos materiais utilizados e os procedimentos para produção das misturas e amostras.

Posteriormente é apresentado o método de execução do ensaio com o objetivo de determinar o comportamento dos concretos com substituição em comparação ao concreto de referência, através do ensaio de Resistência a Compressão Axial, ABNT NBR 5739 [25], tendo em vista que, a eficiência, durabilidade e sustentabilidade das estruturas de concreto estão diretamente ligadas com a sua capacidade de resistir a cargas de compressão, não apresentando deformações exageradas ou desproporcionais. Para a moldagem dos corpos de prova baseou-se na ABNT NBR 5738 [26].

Através do processo de análise experimental, e da escolha de variáveis e condições que determinam os experimentos, observaram-se os efeitos que as mudanças causadas pelas variáveis de estudo geraram em comparação com as de referência.

3.1 Caracterização dos Materiais

Realizou-se uma análise das propriedades físicas e químicas dos materiais, tendo em vista que, conforme Mehta e Monteiro [5], antes de fazer uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes realizados metodicamente é o primeiro passo para se obter um produto que realmente tenha representatividade nos resultados.

3.1.1 Materiais Cimentícios

Utilizou-se o cimento Portland CP V-ARI da marca Itambé, nacional, conforme a norma ABNT NBR 5733 [27]. E como substituição parcial do cimento a cinza de casca de arroz (CCA) proveniente da região de Santa Maria – RS, e a cinza volante (CV), proveniente da usina termelétrica de Candiota, ambas foram moídas durante 1 hora em moinho de bolas, por serem disponíveis in natura. Na Tabela 01 estão representadas as características físicas dos materiais cimentícios, e a composição química pode ser observada na Tabela 02.

Para estes materiais foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- a) Composição química: perda ao fogo, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, S, Na₂O,

K2O e Início de pega (Associação Brasileira de Cimento Portland);

b) Massa específica absoluta, através da utilização do frasco volumétrico de Le Chatelier, (NBR NM 23, 2001);

c) Granulometria por difração a laser (ABCP);

d) Determinação da finura (NBR 11579 - 2013);

e) Determinação da água da pasta de consistência normal (NBR NM 43 - 2003);

f) Tempo de início e fim de pega utilizando o aparelho de Vicat (NBR NM 65 - 2003);

g) Resistência à compressão axial da argamassa normal a 3, 7 e 28 dias (NBR 7215-1997)

Tabela 01 - Características físicas dos materiais cimentícios

Características	Idade - dias	CPV-ARI	CCA	CV
Índice de Finura #0,075 mm (% retida)		0,02	4,97	2,11
Área específica BET (m ² /g)		5,96	18,71	3,55
Consistência normal (%)		29,1	-	-
Massa específica (g/cm ³)		3,14	2,09	2,19
Argamassa normal - Resistência à compressão axial (MPa)	3	38,1	-	-
	7	38,6	-	-
	28	50	-	-

Tabela 01 (Continuação) - Características físicas dos materiais cimentícios

Início de pega (min)		154	-	-
Fim de pega (min)		191	-	-
Dimensão média das partículas (µm)		8,5	15,54	23,84
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 10% das partículas (µm)		0,83	5,19	2,75
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas (µm)		22,38	54,14	50,03

Tabela 02 - Composição química dos materiais cimentícios

Composição química	CPV-ARI	Limites (NBR 5733/91)	CCA	CV
Perda ao fogo - PF	3,08	≤ 4,5%	0,25	1,00
Dióxido de Silício total - SiO ₂	18,81	-	94,84	65,50
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃	4,75	-	0,39	25,89
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃	2,68	-	0,54	3,15
Óxido de Cálcio total - CaO	60,88	-	1,32	0,34
Óxido de Magnésio - MgO	5,22	≤ 6,5%	0,40	1,53
Anidrido sulfúrico - SO ₃	2,28	≤ 4,5%	0,01	-
Óxido de sódio - Na ₂ O	0,18	-	0,11	0,21
Óxido de Potássio - K ₂ O	0,89	-	1,45	1,98
Resíduo insolúvel - RI	1,19	≤ 1,0%	-	-
Anidrido Carbônico - CO ₂	2,27	≤ 3,0%	-	-

Já as Figuras 01 e 02 apresentam as Difrações de Raios 'X' da CV e da CCA, respectivamente. Percebe-se um maior grau de amorfismo na CCA, tendo em vista o menor aparecimento de picos cristalinos, assim, tendo maior reatividade que a CV, conseqüentemente interferindo positivamente com maior na resistência à compressão do concreto. A CV se classifica como Classe C, conforme classificação apresentada no item 2.

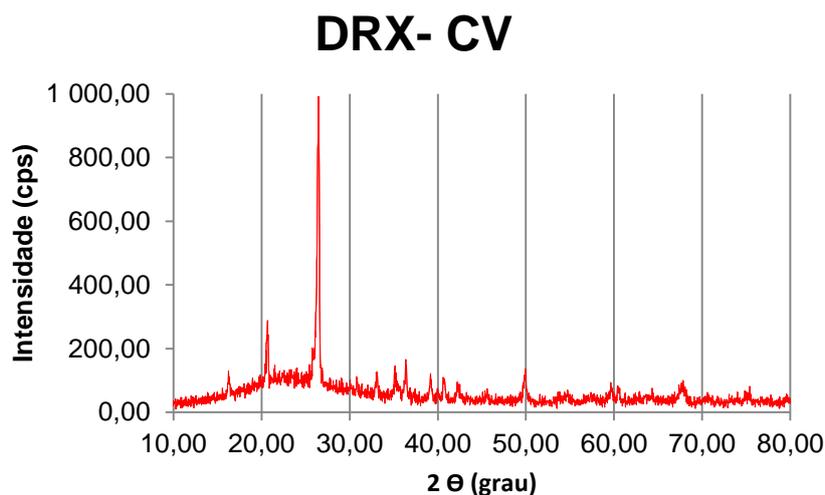


Figura 01 - Difração de Raios X da Cinza Volante

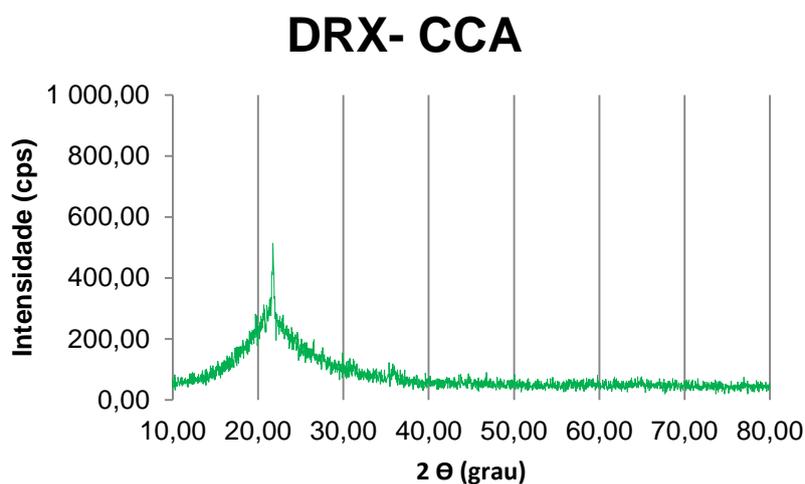


Figura 02 - Difração de Raios X da Cinza de Casca de Arroz

3.1.2 Agregados

Foram utilizados agregados graúdos e miúdos. Como agregado graúdo, brita com fração retida entre as peneiras 19 e 4,8mm, proveniente da cidade de Itaara – RS e como substituição parcial deste agregado utilizou-se resíduos de construção e demolição (RCD), provenientes da empresa GR2 de Santa Maria – RS. Como agregado miúdo foi empregado a areia com granulometria entre 4,8 e 0,15mm do rio Vacacaí de Santa Maria – RS.

Na Tabela 03 e na Figura 03 estão apresentadas as características físicas dos agregados (areia, brita e RCD).

Os ensaios realizados para caracterização desses materiais estão apresentados a seguir:

- a) Massa específica e aparente do agregado miúdo (NM 52:2009);
- b) Massa específica e aparente do agregado graúdo e absorção de água (NM 53:2009);
- c) Massa unitária e do volume de vazios de agregados (NM 45:2006);
- d) Índice de forma do agregado graúdo (NBR 7809:2008);
- e) Composição granulométrica (NM 248:2003);

Tabela 03 - Caracterização física dos agregados

Características Físicas	Areia	Brita	RCD
Massa específica (g/cm ³)	2,65	2,49	1,98
Massa unitária, (g/cm ³)	1,57	1,36	1,02
Módulo de finura	2,19	6,96	6,35
D. máx. característico (mm)	2,36	19	19
Absorção do agregado (%)	0,33	2,18	9,52
Índice de forma	-	1,59	3,24



Figura 03 - Agregados (areia, brita e RCD)

3.1.3 Aditivo

Com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade do concreto utilizou-se aditivo hiperplastificante MasterGlenium54. Os dados técnicos estão apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 - Característica do aditivo redutor de água

Característica do aditivo	Hiperplastificante
Densidade (g.cm-3)	1,10
pH	6
Percentual de sólidos (%)	40
Base química	Éter Policarboxílico
Aspecto	Líquido branco turvo

Fonte: BASF [28]

3.1.4 Água

Para a moldagem dos corpos de prova utilizou-se água potável proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal de Santa Maria.

3.2 Dosagem

O estudo da dosagem do concreto foi realizado de acordo com o método proposto por Helene e Terzian [29]. Devido à diminuição da resistência obtida pelos traços com substituição de 15 e 30% de RCD, em massa, empregou-se pozolanas para compensar esta queda, substituindo-se 25% de cimento, em massa pela CCA e CV em misturas binárias, e (15+10)% (CCA+CV) nas misturas ternárias.

O abatimento do tronco de cone especificado foi de 100 ± 20 mm, e para melhorar a consistência do concreto utilizou-se aditivo redutor de água. O teor de água/ materiais secos foi estabelecido em H (kg/kg) = 8,22% e argamassa seca α (kg/kg) = 0,5, em que esses dados foram fixados para todos os traços de concreto e para cada relação água/materiais cimentícios (a/mc),

na Tabela 05 estão apresentados os traços de concreto estudados.

Tabela 05 - Misturas de concreto estudadas

Composição do traço	a/mc	Traço unitário (c:cca:cv:a:b:rcd)	Aditivo %	Abatimento (cm)
Referência	0,35	1: 1,13: 2,13	0,16	9
	0,475	1: 1,89: 2,89	0,10	9
	0,65	1: 2,95: 3,95	-	8
RCD 15%	0,35	1: 1,13 : 1,81: 0,32	0,10	9
	0,475	1: 1,89: 2,46: 0,43	0,15	12
	0,65	1: 2,95: 3,36: 0,59	-	12
RCD 30%	0,35	1: 1,13: 1,49: 0,64	0,10	9
	0,475	1: 1,89: 2,02: 0,87	-	10
	0,65	1: 2,95: 2,77: 1,19	-	12
RCD 15% CCA 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,02: 1,81: 0,32	0,40	11
	0,475	0,75: 0,25: 1,78: 2,46: 0,43	0,20	8
	0,65	0,75: 0,25: 2,85: 3,36: 0,59	0,20	8
RCD 30% CCA 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,02: 1,49: 0,64	0,40	10
	0,475	0,75: 0,25: 1,78: 2,02: 0,87	0,38	10
	0,65	0,75: 0,25: 2,85: 2,77: 1,19	0,25	8
RCD 15% CV 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,04: 1,81: 0,32	0,18	9
	0,475	0,75: 0,25: 1,80: 2,46: 0,43	0,20	8
	0,65	0,75: 0,25: 2,86: 3,36: 0,59	0,15	11
RCD 30% CV 25%	0,35	0,75: 0,25: 1,04: 1,49: 0,64	0,22	9
	0,475	0,75: 0,25: 1,80: 2,02: 0,87	0,10	11
	0,65	0,75: 0,25: 2,86: 2,77: 1,19	0,10	9
RCD 15% CCA+CV (15%+10%)	0,35	0,75: 0,15: 0,10: 1,03: 1,81: 0,32	0,30	8
	0,475	0,75: 0,15: 0,10: 1,79: 2,46: 0,43	0,30	9
	0,65	0,75: 0,15: 0,10: 2,85: 3,36: 0,59	0,25	11
RCD 30% CCA+CV (15%+10%)	0,35	0,75: 0,15: 0,10: 1,03: 1,49: 0,64	0,40	10
	0,475	0,75: 0,15: 0,10: 1,79: 2,02: 0,87	0,26	10
	0,65	0,75: 0,15: 0,10: 2,85: 2,77: 1,19	0,22	9

3.3 Pré – Molhagem

A mistura dos RCD com os demais materiais componentes do concreto se deu com superfície saturada seca (SSS), devido a sua alta capacidade de absorção de água, ou seja, os RCD'S permaneciam submersos em água durante 24 horas antes da mistura para a produção do concreto.

3.4 Procedimentos Experimentais

3.4.1 Resistência à Compressão Axial

Os ensaios de resistência à compressão axial obedeceram a ABNT NBR 5738 [25] e ABNT NBR 5739 [24], moldagem e cura dos corpos de prova e ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico, respectivamente. A cura ocorreu em câmara úmida.

As fôrmas utilizadas para moldagem dos corpos de prova foram metálicas, com dimensões de 10 x 20 cm. Foram ensaiados 04 corpos de prova para cada traço na idade de 28 dias, devido a pesquisa estar inserida em um “Projeto Guarda-Chuva” não houve tempo suficiente para que se ensaiasse aos 91 dias de idade do concreto.

4. Resultados e Discussão

Os resultados para o ensaio de Resistência à Compressão Axial (média) para as diferentes substituições e relações água/materiais cimentícios (a/mc) são apresentados na Figura 04, a qual apresenta o gráfico dos resultados para substituição de 15% e 30% do agregado graúdo natural pelo RCD, bem como, para as misturas binárias e ternárias.

Como esperado, observa-se que todas as misturas apresentam maior resistência à compressão axial para as menores relações água/materiais cimentícios (a/mc), fato que se deve ao aumento da compacidade, do grau de hidratação e refinamento dos poros. Piasta e Zarzycki (2017) estudaram três relações água/cimento (a/c) 0,25, 0,30 e 0,35, e concluíram que aumentando a relação a/c a resistência à compressão do concreto reduziu em 8% e 13,9% para a/c 0,25-0,30 e a/c 0,30-0,35, respectivamente. No estudo de Girardi [30], com quatro relações a/c diferentes (0,41, 0,51, 0,68 e 1,02), traço em massa de 1:5 e idade de 28 dias do concreto, obteve reduções de resistências com o aumento das relações a/c em 25,75%, 22,80% e 30,46%, respectivamente. Nunes [31] obteve em seus resultados, quando analisou a influência da relação a/c na resistência dos concretos para a idade de 28 dias, um decréscimo de resistência de 44% quando aumentou a relação a/c de 0,4 para 0,6.

Também se percebe que os melhores resultados foram obtidos pelas amostras sem substituições de agregado graúdo natural (referência) pelo agregado residual, verificando-se que as maiores diferenças em relação à amostra de referência ocorrem quando se utilizou a relação a/mc de 0,35, e ao passo que se aumentou as relações a/mc, a influência da substituição dos agregados graúdos na resistência a compressão axial passou a ser um fator secundário.

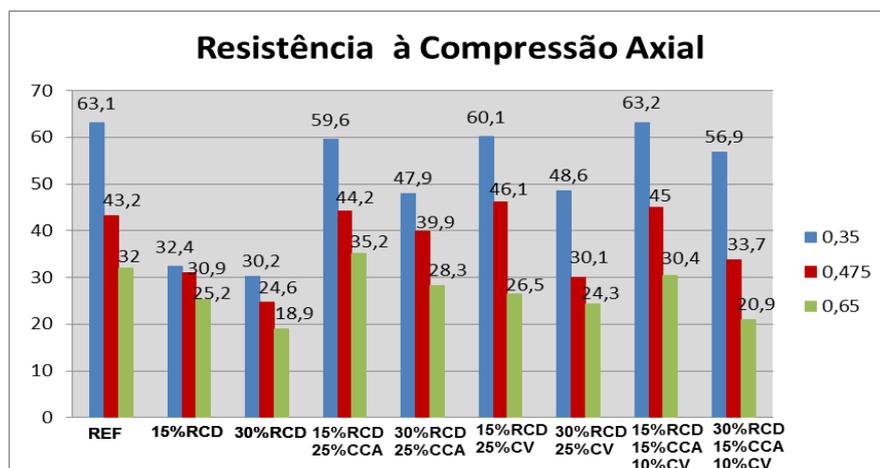


Figura 04 - Resistência à Compressão Axial de todas as misturas estudadas

Quando se substituiu 15% e 30% de agregado graúdo natural por RCD com relação a/mc 0,35 houve diminuição da resistência de 48,7% e 52,1%, respectivamente. Já para a relação a/mc 0,475 a diminuição de resistência foi menor, sendo 28,5% e 43,1% para as substituições de 15% e 30%, respectivamente. E as misturas com relação a/mc 0,65 tiveram queda de resistência à compressão de 21,5% para 15% de substituição de RCD e 41,1% para as substituições de 30% de RCD. Leite [14] afirma que a maior porosidade e menor resistência mecânica apresentada pelo agregado reciclado quando comparado ao agregado natural propiciam essa diminuição da resistência mecânica do concreto.

Constatando-se desta forma que quanto maior a porcentagem de substituição de agregados graúdos naturais pelos residuais, maiores serão as perdas de resistência, pois, as propriedades físicas do RCD têm uma considerável influência nas propriedades mecânicas do

concreto, considerando-se que haja a substituição parcial ou total do agregado graúdo natural pelo agregado artificial. As duas principais características influenciadas por estas substituições são a resistência à compressão axial e o módulo de elasticidade, principalmente, devido à alta porosidade dos agregados, e conseqüentemente alta absorção de água dos mesmos, portanto, do concreto como um todo, além, de baixas massas unitárias e específicas [32]. Esses mesmos autores verificaram que a substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de maior resistência, origina concretos de resistência mais elevada e a substituição de agregados de menor resistência, geram concretos de pequena resistência, sendo assim, o uso de agregado graúdo, oriundo de concreto reciclado com resistência igual a 50 MPa, resultará num concreto com resistência a compressão comparável ao confeccionado com agregado graúdo natural. Conclui-se assim, que quando o agregado graúdo natural (matriz) for de maior resistência que o RCD, ocorrerão reduções na resistência do concreto, porém, se a matriz for menos resistente que o RCD, o concreto não sofrerá perdas de resistência e até mesmo poderá obter aumentos significativos na mesma em decorrência da resistência individual do agregado reciclado de concreto, tendo em vista que, o concreto se romperá no constituinte mais fraco, independente dele ser a matriz ou não. Neste estudo não se mediu a resistência à compressão do RCD, somente é de conhecimento a resistência à compressão do agregado graúdo (174,9 MPa), no entanto, pelos resultados sabe-se que a resistência do agregado reciclado fica abaixo deste valor.

Comparando-se as misturas com substituições de RCD e com RCD+CCA, percebe-se que as misturas com cinza de casca de arroz (CCA) resultaram em melhores resistências, tanto com substituições de 15% como de 30% de RCD, em todas as relações a/mc. Verificou-se que quando se substituiu 15% de RCD e 25% de CCA o aumento de resistência em relação às misturas com somente substituição de agregados resultou em 83,9%, 43% e 39,7% para as relações a/mc 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente. Da mesma forma, quando substituiu-se 30% de RCD e 25% de CCA observou-se um aumento da resistência, mas não tanto quanto na substituição com 15%RCD+25%CCA, esse aumento foi de 58,6%, 15,3% e 49,7% para as relações a/mc 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente.

Também se estudaram misturas com substituições de cimento por 25% de cinza volante, notando-se que ocorreu um processo semelhante com as amostras em que utilizou-se substituições do cimento por 25% de cinza de casca de arroz. Atingiram-se resistências à compressão axial semelhantes sem diferenças significativas, independente das relações a/mc, apesar de uma possível menor reatividade da CV em relação à CCA, devido ao grau de amorfismo verificado nas difrações de raios 'X' apresentadas na caracterização dos materiais. Kou e Poon [33] afirmam que o aumento da resistência em concretos com agregado reciclado e adição pozolânica se dá pela melhora da microestrutura na zona intersticial, aumentando a ligação entre o novo ligante e os agregados. Da mesma forma, Li et al. [34] apontam que a zona de interface entre o agregado reciclado e a nova pasta de cimento, pode ser melhorada, aumentando sua densidade com a utilização de materiais pozolânicos no entorno dos agregados reciclados, melhorando também a trabalhabilidade do concreto e aumentando a resistência à compressão e flexão.

Por meio desses resultados percebe-se que a substituição de pozolanas acabou compensando a diminuição de resistência ocasionada pela substituição do agregado graúdo natural pelo agregado residual, tendo em vista que as resistências chegam bem próximas dos traços de referência. Nesse contexto, a CCA e a CV entram como elementos que promovem modificações na microestrutura do concreto, proporcionando o refinamento dos poros, uma maior compacidade na interface pasta/agregado (devido às partículas finas nessas adições) e pela formação de C-S-H secundário através do consumo de CH pelo efeito pozolânico.

Logo, a finura das pozolanas, apresentadas na Tabela 01 através da Área Específica BET (m^2/g) e demais dados pertinentes, é a característica física mais importante a ser levada em consideração, pois, para que a mesma desenvolva compostos cimentantes através do efeito pozolânico, deverá apresentar uma finura maior que as partículas de cimento. Por isso, Mehta e Monteiro [5] relatam que as adições minerais promovem efeitos favoráveis ao concreto, principalmente pelo fato de causar uma redução considerável na porosidade das pastas e refinar os grãos de hidróxido de cálcio. A redução de porosidade proporcionada pela alteração da microestrutura ocasiona um aumento da compacidade e, conseqüentemente, dificulta o ingresso de agentes agressivos ao interior do concreto.

Ainda se estudaram misturas ternárias com substituição do cimento nos teores de 15% por CCA+ 10% por CV, em relação às misturas com substituição do agregado graúdo natural por agregado residual (15% e 30% de RCD). Evidenciou-se que assim como nas misturas binárias, houve aumento de resistência em comparação com as misturas em que foi substituído somente o agregado. Esse aumento de resistência foi de 95,1%, 45,6% e 20,6% para as misturas com 15% de RCD + pozolanas e relação a/mc de 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente. Já para as misturas com 30% de RCD + pozolanas, as resistências alcançadas não foram tão altas, sendo o aumento de 88,4%, 37% e 10,6% para as relações a/mc de 0,35, 0,475 e 0,65, respectivamente.

De acordo com Isaia [35], quando se utiliza uma pozolana menos reativa como a cinza volante (ou filer), junto com outra (s) mais reativa (s) como a sílica ativa ou cinza de casca de arroz, existe uma sinergia entre elas, devida ao efeito pozolânico (reatividade química) e efeito físico (nucleação de novos locais de hidratação ou obstrução de poros), resultando um acréscimo para o desempenho da variável estudada, do que a simples soma aritmética das misturas binárias em relação às ternárias. Zunino e Lopez [36] apresentam os efeitos físicos e químicos de misturas de CCA com pozolana natural, a partir do uso de fileres calcários inertes, em que os resultados de resistência apresentaram acréscimo de 78% devido ao efeito químico e 22% de efeito físico.

Então, de maneira geral, através da Figura 04 verifica-se que a mistura ternária com 15% de RCD foi a que obteve melhor resultado para todas as relações a/mc em relação ao traço de referência, podendo ser considerada a melhor alternativa entre as demais quanto à resistência à compressão axial. Pode ser observado também que utilizando 30% de RCD tanto nas misturas binárias como nas ternárias ocorre uma diminuição da resistência comparando-se com as misturas com 15% de RCD, sendo esta queda mais acentuada para a relação água materiais cimentícios (a/mc) 0,35.

5. Considerações Finais

Após analisar os resultados das amostras estudadas, pode-se perceber que as misturas com substituições apenas de agregados graúdos pelos residuais apresentaram diminuição da resistência à compressão para todas as relações água/materiais cimentícios (a/mc) em relação à mistura referência. No entanto, quando se substituiu parcialmente o cimento em misturas binárias e ternárias observou-se um aumento considerável da resistência à compressão axial, com alguns valores superiores aos de referência e outros bastante próximos.

Foi possível verificar que as misturas ternárias com 15% de agregados residuais resultaram em melhores resistências em relação à mistura referência. Em que observando-se as mesmas misturas, mas com aumento da porcentagem de substituição de RCD de 15% para 30%, ocorreu uma diminuição dessa resistência, fato que já era evidenciado devido as propriedades deste tipo de agregado influenciarem nas características do concreto.

Portanto, concluiu-se que é viável a utilização de agregados reciclados e pozolanas em misturas de concreto mediante estudos prévios dos materiais a serem utilizados, bem como dos traços de concreto a serem produzidos, trazendo desta forma benefícios não somente em relação às propriedades do mesmo, mas principalmente pela redução do consumo de cimento Portland através das substituições, que conseqüentemente contribuem para a redução dos impactos ambientais causados pelo setor da construção civil.

Referências

- [1] M. Lewis, P. Conaty, The resilience imperative: cooperative transitions to a steady-state economy, New Society, Gabriola Island, 2012.
- [2] United Nations Environment Programme (UNEP). Annual Report. Parkinsonism & Related Disorders, 21 (5), 2015.
- [3] H. Pollitt, Analysis: Going carbon neutral by 2060 'will make China richer'. Carbon Brief. <https://www.carbonbrief.org/analysis-going-carbon-neutral-by-2060-will-make-china-richer/> 2021.

- [4] WBCSD. World Business Council for Sustainable Development, Recommendations align with new policy guidelines on EV charging in India. 2022.
- [5] P.K. Mehta, P.J.M. Monteiro, Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais, segunda ed, Ed. Nicole Pagan Hasparyk, São Paulo, 2014.
- [6] J.M. Pablos, E.P. Sichiari, Study to reuse an industrial solid waste generated by foundry sands, *Mater. Sci. Eng.*, 4 (2010) 16-25.
- [7] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA n° 307/2002. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>, 2002 (acessado 18 junho 2016).
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15113:2004, Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes–Aterros–Diretrizes para projeto, implantação e operação, 2004.
- [9] S.C. Ângulo, Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento. Tese de Ph.D, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2005.
- [10] R.C.C. Araújo, Avaliação experimental de concretos sustentáveis utilizando resíduo de construção e demolição como agregado graúdo, resíduo de mármore como agregado miúdo e com adição de fibra sintética. Tese de Ph.D., UFV, Viçosa, Brasil, 2015.
- [11] G.L. Vieira, D.C.C. Dal Molin, Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Ambiente Construído* 4 (2004) 47-63.
- [12] A.E.B. Cabral, V. Schalch, D.C.C. Dal Molin, J.L.D. Ribeiro. Mechanical Properties Modeling of Recycled Aggregate Concrete. *Constr. Build. Mater.* 24 (2010) 421-430.
- [13] N. Banthia, C. Chan, Use of recycled aggregate in plain and fiber reinforced shotcrete. *Concr. Int.* 22 (2000) 41-45.
- [14] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. Cap. 3. 2021. <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2021.pdf> (acessado 08 julho 2022).
- [15] M.B. Leite, Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese de Ph.D., UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2001.
- [16] J.R. Correia, J. Brito, A.S. Pereira, Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates. *Mater. Struct.* 39 (2006) 169-177. <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9014-7>.
- [17] K. Rahal, Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. *Build. Environ.*, 42 (2007) 407-415.
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 12653:2015, Materiais pozolânicos — Requisitos, 2015.
- [19] G.C. Isaia, P. Furquim, A.L. Gastaldini, Análise estatística de variáveis influentes na microestrutura e durabilidade de concretos com adições minerais, *Ambiente Construído*, 9 (2009) 07-23.
- [20] G.C. Isaia, Efeito de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho: Um Estudo com Vistas à Corrosão da Armadura. Tese de Ph.D., USP, São Paulo, SP, Brasil, 1995.
- [21] M. Pires, Caracterização do carvão de Candiota e de suas cinzas visando a avaliação do impacto ambiental e a síntese de zeólitas - relatório final, FAPERGS, Barcelona, 2002.
- [22] C.A.F. Rocha Junior, Caracterização física, química e mineralógica de cinza leve de caldeira e sua utilização na síntese de zeólitas e aplicação do material zeolítico na adsorção de Cu+2 e Cd+2, Dissertação de M.Sc., UFPA, Belém, PA, Brasil, 2011.
- [23] ASTM International. ASTM C618:2012. Standard Specification for Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, 2012.
- [24] American Concrete Institute (ACI). ACI 232.2R:1996, Manual of Concrete Practice. Use of Fly Ash in Concrete, 1996.
- [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5739: - Concreto - Ensaio de 2007, Compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2007.

- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5738:2016, Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, 2016.
- [27] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5733:1991, Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991
- [28] BASF Report. Economic, environmental and social performance. http://www.basf.com/documents/corp/en/aboutus/publications/reports/2015/BASF_Report_2014.pdf, 2014 (acessado 12 janeiro 2017).
- [29] P.R.L. Helene, P. Terzian, Manual de dosagem e controle do concreto, Plini, São Paulo, 1992.
- [30] R. Girardi, Avaliação da influência de diferentes parâmetros de dosagem sobre o módulo de deformação do concreto de cimento Portland. Tese de Ph.D., UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2018.
- [31] F.L. Nunes, Influência da Dosagem na Carbonatação dos Concretos. Dissertação de M.Sc., USP, São Paulo, Brasil, 2005.
- [32] W.T. Sami, S.A. Akmal, Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete, *Constr. Build Mater.*, 23 (2009) 1163–1167.
- [33] S.C. Kou, C.S. Poon, Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash, *Cem. Concr. Compos.*, 37 (2013) 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.12.011>.
- [34] J. Li, H. Xiao, Y. Zhou, Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete. *Constr. Build. Mater.*, 23 (2009) 1287–1291.
- [35] G.C. Isaia, Projeto de pesquisa: Influência da nano/microestrutura de concretos com adições minerais e/ou resíduos no desempenho estrutural sob o enfoque da sustentabilidade por ACV e CCV, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- [36] F. Zunino, M. Lopez, Decoupling the physical and chemical effects of supplementary cementitious materials on strength and permeability. A multilevel approach, *Cem. Concr. Compos.*, 65 (2016) 19-28.

ORCID

C.C. Santos 0000-0002-0988-2682 (<https://orcid.org/0000-0002-0988-2682>)

G.C. Isaia 0000-0003-0653-1227 (<https://orcid.org/0000-0003-0653-1227>)

Comportamento mecânico e de durabilidade de concretos produzidos com efluente industrial tratado e bruto

Mechanical behavior and durability of concrete produced with treated and raw industrial effluent

A. Zaleski^{a†}, B. Marangoni^b, S.C. Vanzetto^b

^a *Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil*

^b *Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, Brasil*

[†] *Autor para correspondência: alessandra_zaleski@hotmail.com*

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das maiores poluidoras do meio ambiente e consumidora de recursos naturais, água doce e energia. O processo de fabricação do concreto requer uma grande quantidade de água e libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Em vista disso, uma alternativa que se mostra viável é utilizar efluentes de esgotos tratados na execução de serviços e processos na construção civil que não necessitem de uma água com padrão de qualidade elevado. Posto isto, busca-se nesta pesquisa analisar a viabilidade de reuso de efluentes de esgoto (tratado e bruto) em substituição a água de amassamento do concreto, comparando-os com a substituição de referência, a água potável. Inicialmente, realizou-se a escolha dos materiais empregados para o trabalho, bem como a dosagem experimental e a moldagem dos corpos de prova. Após, avaliou-se as propriedades dos concretos por meio dos ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial, Resistência à Tração por Compressão Diametral, Módulo de Elasticidade e Absorção de Água. Através dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos e de durabilidade, pode-se concluir que é possível utilizar efluente de esgoto para produção de concreto sem influenciar na qualidade do mesmo, no entanto, deve haver um tratamento adequado e estar de acordo com as normas técnicas NBR 15900-1/2009 e NM 137/1997.

ABSTRACT

The construction industry is one of the biggest polluters of the environment and a consumer of natural resources, fresh water, and energy. The concrete manufacturing process requires a large amount of water and releases large amounts of CO₂ into the atmosphere. In view of this, an alternative that proves to be viable is to use treated sewage effluents in the execution of services and processes in civil construction that do not require water with a high-quality standard. Having said that, this research seeks to analyze the feasibility of reusing sewage effluents (treated and raw) to replace concrete kneading water, comparing them with the reference replacement, drinking water. Initially, the choice of materials used for the work was carried out, as well as the experimental dosage and molding of the specimens. Afterwards, the properties of the concrete were evaluated through tests of Uniaxial Compression Strength, Diametral Compression Tensile Strength, Modulus of Elasticity and Water Absorption. Through the results obtained in the mechanical and durability tests, it can be concluded that it is possible to use sewage effluent to produce concrete without influencing its quality, however, there must be an adequate treatment and be in accordance with the NBR technical standards 15900-1/2009 and NM 137/1997.

Palavras-chave:

Concreto; Efluentes de esgoto; Ensaio mecânicos e de durabilidade.

Keywords:

Concrete; sewage effluents; Mechanical and durability tests.

1. Introdução

A indústria da construção civil é uma das maiores poluidoras do meio ambiente e consumidora de recursos naturais, água doce e energia. O processo de fabricação do concreto requer uma grande quantidade de água e libera grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. Limitar o uso de recursos não renováveis e minimizar as emissões de gases de efeito estufa são duas formas vitais para alcançar um desenvolvimento mais sustentável [1].

A limitação dos recursos hídricos em todo o mundo destacou a importância da recuperação da água. O uso de água recuperada como alternativa à água doce pode ser uma maneira eficaz de economizar recursos hídricos.

Neste contexto, o uso de efluente proveniente de esgoto tratado, em substituição à água no preparo do concreto, revela-se como uma possibilidade de reuso para fins industriais que não exijam uma água com padrão de qualidade elevado. Porém é necessário que haja uma certificação que essa alternativa é viável sob alguns aspectos de padrões de segurança nas edificações, especificamente deve atender os requisitos de água para amassamento do concreto segundo a NBR15900-1/2009 [2].

Sendo assim, este trabalho busca analisar a possibilidade de utilização de diferentes efluentes de esgoto (tratado pelo sistema de lagoa facultativa e bruto), para substituição na água de amassamento do concreto, visando inertizar o efluente potencialmente poluidor, além disso, beneficiar a construção civil agregando valor a utilização de componentes mais sustentáveis, abrangendo os aspectos econômicos, ambientais e sociais.

2. Metodologia

2.1. Programa Experimental

Na Figura 1, apresentam-se todas as etapas que foram realizadas no programa experimental, para tornar possível o objetivo deste trabalho.

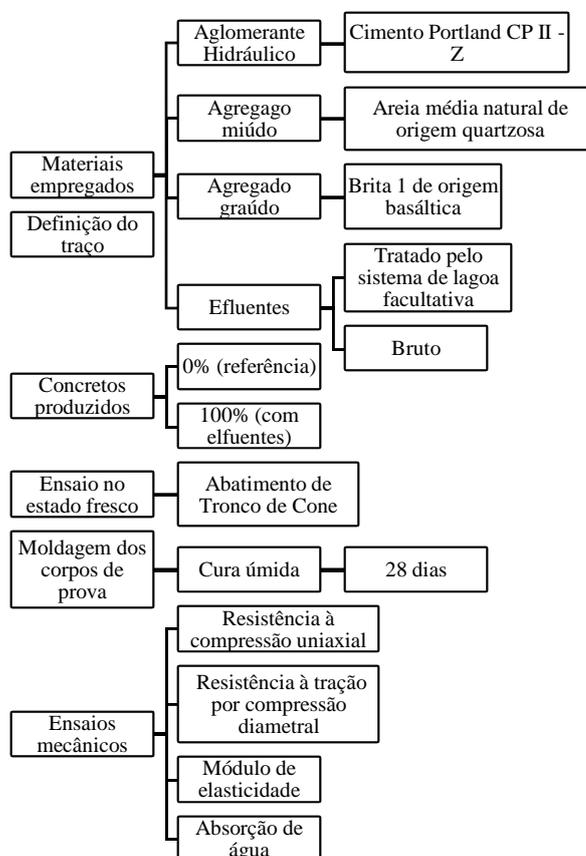


Figura 1 – Programa experimental

A seguir na Tabela 1, os ensaios que foram feitos, as respectivas normas seguidas e as quantidades de corpos de prova.

Tabela 1 - Ensaios e normativas.

Propriedades	NBR	N° CP'S		
		Referência	Efluente Tratado	Efluente Bruto
Resistência à compressão uniaxial	5739/2007	4	4	4
Resistência à tração por compressão diametral	7222/2011	4	4	4
Módulo de elasticidade	8522/2003	4	4	4
Absorção de água	9779/2012	4	4	4

2.2. Efluentes

Para a elaboração deste trabalho, utilizaram-se efluentes de esgoto industrial em dois estados: tratado pelo sistema de lagoa facultativa, cujo mecanismo de limpeza do efluente ocorreu em três zonas: anaeróbica, aeróbica e facultativa; e bruto (sem tratamento). Ambos em substituição total na água de amassamento do concreto. Os efluentes foram coletados na Estação de Tratamento de Esgotos (ETEs) da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus I, Erechim/RS. Na Figura 2, pode-se observar a diferença de cor entre a água potável e os efluentes coletados.

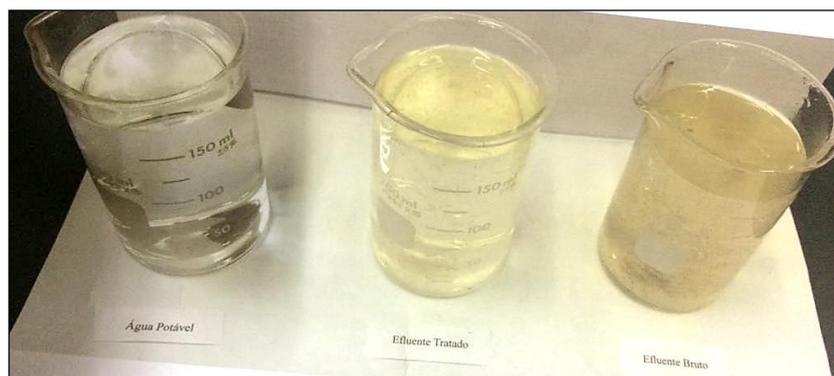


Figura 1 - Água potável, efluente tratado e efluente bruto.

Após a coleta dos efluentes na ETEs, os mesmos foram submetidos à caracterização físico-química em laboratório. Os resultados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios físico-químicos

Ensaio	Efluente Tratado	Efluente Bruto
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,3 x 10 ¹	> 1,6 x 10 ⁴
Cloretos (mg/L)	11,44	6,89
D.B.O (5 dias) (mg/L)	104,33	364,0
D.Q.O (mg/L)	231,62	461,21
Dureza Total (mg/L)	20,81	18,07
pH	5,46	6,98
Sulfatos (mg/L)	158,99	5,65
Sólidos Suspensos (mg/L)	72,0	170,0
Surfactantes (mg/L)	2,92	4,92

Segundo a NBR 15900-1 [3], que determina os requisitos da água para amassamento do concreto, a água para uso em concreto deve estar em conformidade com tais exigências:

- O teor de cloreto na água não deve exceder o limite de 4500 mg/L (para concreto simples). Onde neste trabalho (Tabela 2) se obteve 11,44 mg/L para o efluente tratado e 6,90 mg/L para o efluente bruto;
- Os ácidos devem satisfazer a condição de $\text{pH} \geq 5$. O efluente tratado atingiu um pH de 5,46 e o efluente bruto 6,98;
- O teor de sulfato não deve ultrapassar 2000 mg/L, logo, para o efluente tratado obteve-se 158,99 mg/L e para o efluente bruto 5,65 mg/L.

Conforme se observa na Tabela 2, os efluentes apresentam sólidos suspensos em suas composições nos valores de 72 e 170 mg/L, para o Efluente Tratado e Efluente Bruto, respectivamente. Segundo a NM 137 [4] – que especifica as características para a água destinada à preparação de argamassa e concreto de cimento Portland – o limite máximo de sólidos suspensos deve ser de 5000 mg/L, onde os resultados respeitaram o limite estabelecido em norma. Porém, faz-se necessário salientar que a água potável pode possuir quase nada ou até mesmo nada de sólido suspensos em sua constituição.

Ainda, a norma [3] estabelece que deve haver uma inspeção preliminar da água destinada ao amassamento de concreto. Não devendo apresentar mais do que traços visíveis de óleos e gorduras, espumas de detergentes devem desaparecer em 2 min, a cor deve ser comparada com a água potável devendo ser amarelo claro a incolor e a água deve ser inodora [3].

O parâmetro de Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O) foi utilizado para conhecer a concentração da carga orgânica existente nos efluentes. A D.B.O envolve a quantidade de oxigênio dissolvido usado pelos microrganismos para oxidação bioquímica da matéria orgânica. Consequentemente, o efluente bruto que não passou por tratamento, teve uma carga orgânica maior (364,0 mg/L) que o efluente tratado (104,33 mg/L).

Já a Demanda Química de Oxigênio (D.Q.O) foi usada para medir a quantidade de oxigênio equivalente para a oxidação química da matéria orgânica, por meio de um agente oxidante em meio ácido. Devido ao efluente bruto ter uma carga orgânica maior, gastou uma maior quantidade de oxigênio (461,21 mg/L) para realizar a oxidação da matéria orgânica do que o efluente tratado (231,62 mg/L).

Para avaliar as características biológicas dos efluentes, realizou-se o ensaio de coliformes totais, onde foi possível observar a quantidade de microrganismos que compõem os efluentes. Ficando evidente que o efluente tratado apresentou uma quantidade de coliformes totais significativamente menor (redução de 99,92%) que o efluente bruto, o qual não passou pelo sistema de lagoa facultativa.

Com base nas análises realizadas e inspeção preliminar dos efluentes, os mesmos obedeceram aos respectivos requisitos e ficaram aptos para serem usados na produção dos concretos.

2.3. Dosagem experimental

Usou-se o método de dosagem do IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian [5], por ser o mais utilizado em obras de engenharia para concretos convencionais. Os parâmetros utilizados foram à obtenção no estado fresco de um abatimento de tronco de cone de 100 ± 20 mm, segundo a NBR NM 67/1998 [6].

Conforme o método, produziram-se concretos com traços de 1:3,5 (traço rico), 1:5 (traço intermediário) e 1:6,5 (traço pobre), realizando ajustes até atingir um teor de argamassa ideal (α), capaz de proporcionar a melhor trabalhabilidade e coesão, bem como, um bom envolvimento dos agregados nas misturas e respeitando o abatimento estabelecido. Assim, encontrou-se um teor de argamassa ideal (α) de 52%. Após, obteve-se a resistência média do concreto construindo o Diagrama de Dosagem para o Cimento Portland, o qual é composto por quatro eixos: a tensão de dosagem do concreto aos 28 dias (F_c), a relação água/cimento (a/c), o traço unitário (m) e o consumo de cimento (C_c).

A partir do Diagrama de Dosagem alcançado e da relação fixa na resistência de 25 MPa, pode-se definir o traço de concreto para este trabalho. Obtendo os resultados mostrados na Tabela

3.

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizadas fôrmas cilíndricas de 10x20 cm, sendo essas metálicas, que visam à redução de perdas da pasta de cimento e da variabilidade dimensional. Após moldados e devidamente vibrados em mesa vibratória, os corpos de prova foram identificados, perfazendo um total de 48 corpos de prova. Após 24 horas, os mesmos puderam ser desmoldados e posteriormente dispostos em câmara úmida até completar a idade de cura de 28 dias para a realização dos ensaios mecânicos e de durabilidade.

Tabela 3 - Traço definido pela dosagem experimental

Relação a/c	M	Consumo de cimento (Kg/m ³)	α	Traço unitário			Quantidade de material (Kg)				
				C	A	P	C	A	P	Água (Kg)	Aditivo (%)
0,52	5	371,53	0,52	1	2,12	2,88	10,27	21,78	29,58	5,34	0,1

M – teor de materiais secos (M=A+P); A – areia; C – cimento; P – pedra.

2.4. Métodos de ensaios

Para o ensaio de resistência à compressão uniaxial, seguiu-se a NBR 5739/2007 [7], que prescreve um método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi baseado na NBR 7222/2011 [8], que designa o ensaio para obtenção de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassas e concretos.

Para o módulo de elasticidade, utilizou-se a NBR 8522/2008 [9], a qual preceitua a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos sob carregamento estático, à compressão axial simples, utilizando uma prensa hidráulica.

No ensaio de absorção de água no concreto, obedeceu-se a NBR 9779/2012 [10], a qual determina o ensaio para a absorção de água por capilaridade de argamassas e concretos endurecidos. A seguir na Figura 3, os ensaios mecânicos e de durabilidade realizados.



Figura 2 - Ensaios mecânicos e de durabilidade.

a - Resistência à compressão uniaxial; b - Resistência à tração por compressão diametral; c - Módulo de elasticidade; d - absorção de água.

Para maior confiabilidade nos dados, foi realizado um tratamento estatístico nos resultados desta pesquisa, por meio de aplicação do método de análise de variância simples (One Way ANOVA). Esta análise é proposta com significância estatística com 95% de confiança, usando o software STATISTICA 8.0, o qual buscou avaliar se os fatores de controle causam efeitos significativos na variável de resposta medida.

A fim de analisar se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes, utilizou-se o teste de Tukey, que é um teste de comparação de média que consiste na construção de intervalos de confiança para todos os pares de médias de tal forma que o conjunto de todos os intervalos tenha um determinado grau de confiança.

3. Resultados e Discussões

3.1. Resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial é a característica utilizada para relacionar a capacidade de um elemento em resistir a esforços, sem entrar em colapso. As médias da resistência à compressão foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Os resultados se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão uniaxial aos 28 dias.

Substituições	Resistência à compressão uniaxial média (MPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Água Potável	24,21	3,68	0,89
Efluente Tratado	21,41	5,85	1,25
Efluente Bruto	19,80	0,25	0,05

De acordo com a Tabela 4, pode-se perceber que as resistências à compressão uniaxial média nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 11,56% e 18,21%, quando comparados com a Água Potável.

O mesmo comportamento pode ser observado no estudo de Asadollahfardi et al. [11], onde a resistência à compressão aos 21 dias de amostras de concreto produzido com efluente doméstico tratado por lagoa de aeração, com 300 kg/m³ e 350 kg/m³ de cimento, foram de 10,11% e 11,7% menores do que amostras de concreto com água potável. Por meio da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura, observaram que os concretos produzidos com águas residuais apresentaram maiores quantidades de elementos como sódio, cloro e enxofre do que os concretos com água potável, fator esse que contribuiu com o menor desempenho mecânico nessas amostras.

Raza et al. [12] analisaram amostras de concreto feitas com cinco tipos diferentes de efluentes, onde a água potável foi totalmente substituída por efluente, incluindo efluente doméstico, efluente de fábrica de fertilizantes, efluente de fábrica têxtil, efluente de fábrica de açúcar e efluente de estação de serviço. Com exceção do concreto produzido com efluente de fábrica têxtil, todos os concretos produzidos com os demais efluentes apresentaram resistências à compressão inferiores ao concreto de água potável, aos 28 dias. A mistura que apresentou a menor resistência foi a com efluente doméstico, 32% menor que a mistura de referência (água potável). Essa diminuição na resistência foi atribuída a um grande número de compostos orgânicos e sulfato no efluente doméstico, que reagem com os componentes do cimento e, assim, diminuem a resistência do concreto eventualmente.

Na Figura 4, verificam-se os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos.

Observa-se no gráfico da Figura 4, que houve um decréscimo na resistência à compressão uniaxial do Efluente Tratado e do Efluente Bruto, com 21,41 MPa e 19,8 MPa, quando comparados com a Água Potável que obteve 24,21 MPa.

Por meio da análise do teste de Tukey – que avalia a diferença significativa entre duas médias de tratamento, mostrando se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes e atestando que um teor pode ser substituído por outro sem perder suas características –, faz-se possível observar que a resistência à compressão do concreto com Efluente Tratado é estatisticamente igual aos valores de resistência dos concretos com Efluente Bruto e Água Potável. Porém quando se analisa estatisticamente o concreto com Efluente Bruto em comparação ao com Água Potável, percebe-se que a queda na resistência se fez significativa, interferindo nessa propriedade do concreto.

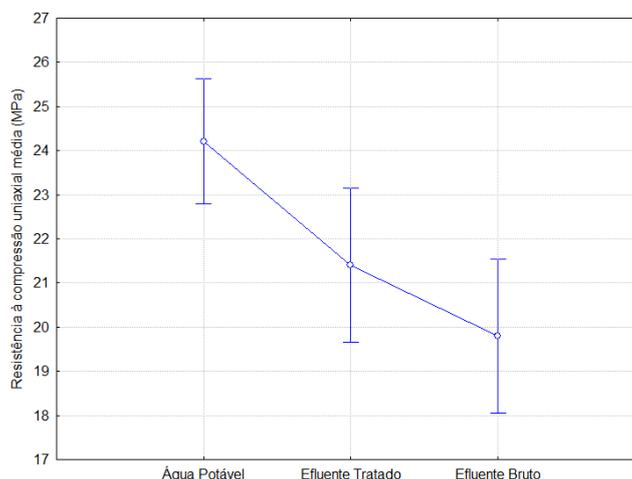


Figura 3 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável na compressão uniaxial dos concretos.

3.2. Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral é usado para obter de forma indireta a resistência à tração do material. Essa propriedade mecânica permite estimar a carga à qual ocorre fissuração em uma estrutura. As médias da resistência à tração foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Os resultados obtidos se encontram a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Substituições	Resistência à tração por compressão diametral média (MPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Água Potável	3,00	3,56	0,11
Efluente Tratado	2,71	2,25	0,06
Efluente Bruto	2,37	0,60	0,01

Conforme a tabela 5 percebe-se que as resistências à tração por compressão diametral média nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 9,67% e 21,0%, quando comparados à Água Potável.

A figura 5 apresenta os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a resistência à tração por compressão diametral dos concretos.

Analisa-se no gráfico da Figura 5, que houve um decréscimo na resistência à tração por compressão diametral entre a água potável, com 3,00 MPa e as substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, com 2,71 MPa e 2,37 MPa, respectivamente.

Por meio do teste de Tukey, é plausível afirmar que os valores médios dos concretos com Água Potável, Efluente Tratado e Efluente Bruto são significativamente diferentes entre si.

As possíveis causas que podem ter gerado perdas nas resistências à tração por compressão diametral dos concretos com efluentes, podem ter sido pelo teor de sólidos dissolvidos, sólidos

suspensos e ainda, a presença de matéria orgânica que não foi totalmente estabilizada pelo oxigênio molecular.

Além disto, acredita-se que seria necessária uma maior idade de cura para avaliar os efeitos dos efluentes perante a resistência. Raza et al. [12] avaliaram as amostras de concreto com efluentes ao longo do tempo de 7, 28 e 90 dias. Onde para todas as amostras ocorreram ganhos na resistência à tração conforme aumento da idade de cura. Para o concreto produzido com efluente de fábrica têxtil a resistência foi de 2,14 MPa em 7 dias, 2,49 MPa em 28 dias e 3,04 MPa em 90 dias. Ghrair et al. [13], também obtiveram reduções nas resistências dos concretos com efluentes (tratado e bruto) em comparação ao concreto com água potável, porém observaram um desenvolvimento lento e contínuo das resistências por até 200 dias. A evolução na resistência para o efluente tratado foi de aproximadamente 28% de 28 a 200 dias e para o bruto foi de 30,3%, respectivamente.

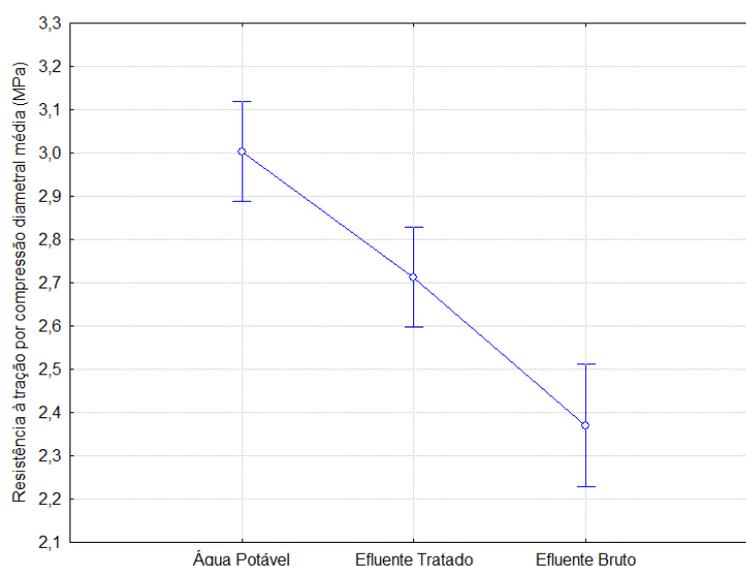


Figura 4 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável na tração por compressão diametral dos concretos.

3.3. Módulo de elasticidade

O ensaio de módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. As médias do módulo de elasticidade foram obtidas através da média aritmética e desvio padrão. Exibem-se os resultados na Tabela 6.

Tabela 6 - Médias do ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias

Substituições	Módulo de elasticidade média (GPa)	Coefficiente de variação (MPa)	Desvio Padrão (GPa)
Água Potável	35,10	8,22	2,88
Efluente Tratado	34,10	4,03	1,37
Efluente Bruto	31,27	3,20	1,00

Segundo observa-se na Tabela 6, o módulo de elasticidade médio nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto obtiveram um decréscimo de 2,84% e 10,91%, quando comparados a Água Potável.

Em seguida na Figura 6, apresentam-se os resultados da influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre o módulo de elasticidade.

Analisando o gráfico da Figura 6, percebe-se que houve um decréscimo no módulo de elasticidade das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, com 34,1 GPa e 31,27 GPa,

quando comparados com a Água Potável com 35,1 GPa. Pode-se verificar que conforme aumentou o teor de sólidos suspensos na composição dos efluentes (Tratado: 72 mg/L; Bruto: 170 mg/L), diminuíram os valores de módulo. Abushanab e Alnahhal [14], relatam que a presença de sólidos suspensos na composição da água residual de amassamento do concreto, atrasam o processo de hidratação do cimento Portland e enfraquecem a camada de zona de transição interfacial entre os agregados e a matriz de cimento, consequentemente se obtêm um concreto com propriedades de resistência e durabilidade mais baixas do que o concreto com água potável.

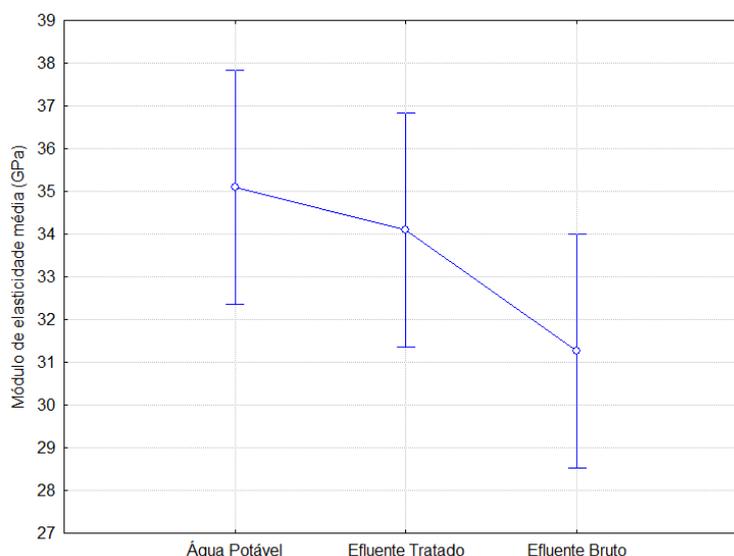


Figura 5 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto em comparação a Água Potável no módulo de elasticidade dos concretos.

Contudo, mediante análise do teste de *Tukey*, a substituição de Efluente Tratado e a de Efluente Bruto não apresentam diferenças significativas comparadas ao teor de referência, ou seja, são estatisticamente iguais entre si.

3.4. Absorção de água

O ensaio de absorção de água por capilaridade avalia a durabilidade do produto final, por meio do desvio padrão e coeficiente de variância, podem-se obter os valores médios de absorção de água (Tabela 7).

Tabela 7 - Médias do ensaio de absorção de água por capilaridade aos 28 dias.

Substituições	Absorção média de água 72h (g/cm ²)	Coefficiente de variação (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)
Água Potável	0,71	9,85	0,07
Efluente Tratado	0,79	17,72	0,14
Efluente Bruto	0,86	17,97	0,16

De acordo com a Tabela 7, pode-se perceber que a absorção de água por capilaridade média para as substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto, obtiveram acréscimos de 11,26% e 21,12%, quando comparados a Água Potável.

Por meio do método de variância simples, é possível observar na Figura 7, a influência das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos.

Observa-se no gráfico da Figura 7, que houve um acréscimo na absorção de água nas substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto com 0,79 g/cm² e 0,86 g/cm², em relação à Água Potável com 0,71 g/cm².

O aumento na absorção de água nos concretos com efluentes está diretamente relacionado com as composições físico-químicas de cada um, como a presença de matéria orgânica e cloretos. À medida que o número de cloreto aumenta e/ou há presença de uma grande quantidade de matéria orgânica, a densidade do concreto diminui, representando diminuição da resistência à compressão e tração, juntamente com um aumento da proporção de poros no concreto, ocasionando uma maior absorção de água. A água é absorvida por esses resíduos durante o processo de mistura, depois é liberada durante a concretagem, aumentando a relação água/cimento e diminuindo a densidade do concreto [12].

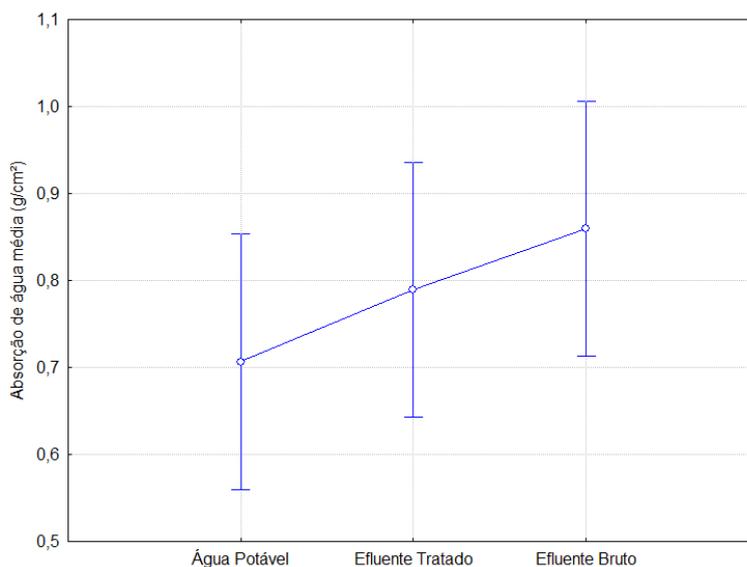


Figura 6 - Efeitos das substituições de Efluente Tratado e Efluente Bruto na absorção de água dos concretos.

Através do teste de Tukey, é possível afirmar que os valores médios dos concretos com Água Potável, Efluente Tratado e Efluente Bruto são estatisticamente iguais entre si, ou seja, esse aumento na absorção de água dos concretos com efluentes não foi significativo em comparação a Água Potável.

Esse comportamento também foi observado em outros estudos que produziram concretos com efluentes. Onde o aumento na absorção de água dos concretos produzidos com efluentes não foram significativos em comparação ao concreto de controle (água potável), não afetando a durabilidade dos concretos [11,13,12].

4. Considerações finais

Nesta pesquisa buscou-se analisar a viabilidade do uso de efluentes industriais, sendo estes, tratado e bruto em substituição total a água de amassamento para produção de concretos. Procurando uma maneira de racionalizar o uso de água e consequentemente reduzir os impactos ambientais causados pelo desperdício na construção civil.

Com base nos resultados expostos neste trabalho, os concretos com efluentes (tratado e bruto) apresentaram resultados inferiores em todas as análises realizadas se comparadas com a água potável. Porém quando é realizada a verificação estatística, os resultados do concreto com efluente tratado não mostraram diferenças significativas, ou seja, podem ser considerados estatisticamente iguais ao concreto com água potável, com exceção da propriedade de resistência à tração. Já o concreto com efluente bruto quando comparado com a água potável, apresenta diferenças significativas em suas propriedades mecânicas (resistência à compressão e à tração), porém valores estatisticamente iguais nas propriedades de durabilidade (módulo e absorção de água).

Sendo assim, pode-se afirmar que é possível obter concreto de boa qualidade utilizando efluentes de esgoto industrial no lugar de água potável. Entretanto, salienta-se a importância do

efluente passar pelos devidos tratamentos em Estações de Tratamento de Esgoto. Suas propriedades físico-químicas devem respeitar os limites estabelecidos pela NBR 15900-1/2009 [2] e NM 137/1997 [4], que prescrevem as características normativas para a água de amassamento do concreto. Por fim, ressalta-se a necessidade de mais estudos de cunho científico na área, viabilizando a utilização de efluentes de esgoto para produção de materiais cimentícios.

Referências

- [1] M. Delnavaz, A. Sahraei, A. Delnavaz, R. Farokhzad, S. Amiri, S. Bozorgmehrnia, Production of concrete using reclaimed water from a ready-mix concrete batching plant: Life cycle assessment (LCA), mechanical and durability properties, *J. Build. Eng.*, 45 (2022) 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103560>.
- [2] D.D.N. Oliveira, E.S. Almeida, L.S.P. Cardoso, J.D. Viana, Produção de blocos de concreto empregando efluente tratado por lodos ativados e por lagoas de estabilização, *Ver. Virtual Quim.*, 8 (2016) 1054-1066. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20160075>.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15900-1:2009, Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos, 2009.
- [4] Asociación Mercosur de Normalización (AMN). NM 137:1997, Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland, 1997.
- [5] P. Helene, P. Terzian, Manual de Dosagem e Controle do Concreto, PINI, São Paulo, 1992.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR NM 67:1998, Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5739:2018, Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, 2018.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7222:2011, Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico, 2011.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 8522:2017, Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão, 2017.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 9779:2012, Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade, 2012.
- [11] G. Asadollahfardi, M. Delnavaz, V. Rashnoiee, A. Fazeli, N. Gonabadi, Dataset of producing and curing concrete using domestic treated wastewater, *Data Br.*, 6 (2016) 316-325. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.12.020>.
- [12] A. Raza, U. Rafique, F. Ul Haq, Mechanical and durability behavior of recycled aggregate concrete made with different kinds of wastewater, *J. Build. Eng.*, 34 (2021) 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101950>.
- [13] A.M. Ghrair, O.A. Al-Mashaqbeh, M.K. Sarireh, N. Al-Kouz, M. Farfoura, S.B. Megdal, Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes, *Ain Shams Eng. J.* 9 (2018) 1519-1525. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.005>.
- [14] A. Abushanab; W. Alnahhal, Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA, and fly ash, *Constr. Build. Mater.*, 329 (2022) 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127118>.

ORCID

- A. Zaleski 0000-0002-4005-9950 (<https://orcid.org/0000-0002-4005-9950>)
B. Marangoni 0000-0002-0551-2297 (<https://orcid.org/0000-0002-0551-2297>)
S.C. Vanzetto 0000-0002-5942-548X (<https://orcid.org/0000-0002-5942-548X>)

Análise do centro de custo de um edifício de alto padrão: desafios e proposições

Analysis of the cost center of a high-end building: challenges and propositions

V.C. Fassioni^{a†}, L.M.N. Mendes^a, H.V.R. Santos^b

^a Pontífica Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia, Goiânia, Brasil

^b Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, Brasil

[†] Autor para correspondência: hellemvsantos@gmail.com

RESUMO

Visto que uma edificação demanda diversas atividades, contendo limites e restrições, são necessários procedimentos de planejamento e controle que considerem tais aspectos. O controle de obra é um trabalho complexo, pois é uma atividade que apresenta muitas variáveis e pertence a um ambiente dinâmico e mutável. Tendo como objetivo diagnosticar o uso da ferramenta de centro de custo, no que se refere à determinação de desafios e apresentação de proposições de soluções, foram levantados dados de um edifício de alto padrão, com ênfase nos serviços de alvenaria externa e interna e contrapiso dos pavimentos tipo mediante medição in loco dos mesmos, posteriormente realizou-se o cálculo do previsto por meio do projeto. Com os recursos disponíveis, foi possível comparar o que foi planejado, executado e orçado, além disso, foi feita a análise de como a empresa se organiza e controla seus custos, propondo melhorias técnicas. Por fim, notou-se que, apesar dos benefícios advindos do controle de custo, a empresa não faz o uso dessa ferramenta, em virtude da alocação dos insumos no sistema Integrado de Gestão Empresarial (ERP) não ser realizada de forma devida.

ABSTRACT

Since a building demands several activities, containing limits and restrictions, planning and control procedures that consider such aspects are necessary. Construction control is a complex job, as it is an activity that presents many variables and belongs to a dynamic and changing environment. With the objective of diagnosing the use of the cost center tool, with regard to the determination of challenges and presentation of proposals for solutions, data were collected from a high standard building, with emphasis on external and internal masonry services and subfloor of the pavements by measuring them in loco, later the calculation of the predicted through the project was carried out. With the available resources, it was possible to compare what was planned, executed and budgeted, in addition, an analysis was made of how the company organizes itself and controls its costs, proposing technical improvements. Finally, it was noted that, despite the benefits arising from cost control, the company does not use this tool, due to the allocation of inputs in the Integrated Business Management System (ERP) not being carried out properly.

Palavras-chave:

Centro de custo;
Controle dos
materiais; Planejado;
Executado.

Keywords:

Cost center; Material
control; Planned;
Executed.

Introdução

Importantes mudanças vêm acontecendo no cenário macroeconômico da construção civil, o que tem o levado à maximização da concorrência no setor de incorporação de edifícios, fazendo com que a lógica comercial e financeira se torne estritamente limitadas.

Para Chiavenato [1], essas constantes mudanças e instabilidades no setor financeiro da construção civil exigem novas estratégias e respostas empresariais que tenham a capacidade de garantir a competitividade e sobrevivência da empresa; sendo papel da mesma buscar novas formas de melhoria para seu desempenho, levando em consideração o mercado estritamente competitivo. Dessa forma, as estratégias empresariais melhoram e orientam as posturas e ações empresariais a fim de que os objetivos estipulados sejam alcançados e seus recursos potencializados.

Por ser uma atividade que apresenta muitas variáveis e por pertencer a um ambiente dinâmico e mutável, o controle da obra é um trabalho complexo [2].

Johnson e Kaplan [3] dizem que, apesar das mudanças na gestão da produção, inclusive da construção civil, os sistemas de controle de custos apresentam vários déficits por decorrência da forma em que vêm sendo conduzidos.

A indústria de construção civil produz por encomenda, ou seja, os serviços são executados de acordo com pedidos e especificações dos clientes, podendo ser de curta, média ou longa duração e a empresa se dimensiona e estrutura em termos de qualificação, quantidade de técnicos e operários, de processos equipamentos e ferramentas de modo diferente para cada serviço que será executado.

A obra é subdividida em fases de construção e os custos são orçados e identificados em cada uma das fases [4]. Assim, a execução desse tipo de produto exige uma conciliação dos custos sujeitos a limites e restrições. Fazendo-se necessários procedimentos de planejamento e controle que considerem tais aspectos, sendo possível somente a partir de um eficiente sistema de planejamento e programação [5].

O princípio do tipo de empresa em análise é conseguir produzir com qualidade e com um baixo custo e gerar lucros cada vez mais altos; para isso, faz-se necessário desenvolver estratégias para que o lucro seja maior que seus custos. Portanto, com a análise dos dados levantados como, por exemplo, quantitativos de materiais utilizados para a execução de determinado serviço, juntamente com a análise do centro de custo e de como os insumos estão sendo inseridos dentro do “Sistema Enterprise Resource Planning” (ERP), traduzido literalmente como “Sistema Integrado de Gestão Empresarial”, utilizado pela empresa analisada, será possível fazer o levantamento do que foi planejado e executado, sendo concebível fazer uma análise aprofundada de como a empresa tem se organizado e controlado seus custos.

Dessa forma, trabalho tem como objetivo determinar quais são os principais desafios referentes o uso do centro de custo de um edifício de alto padrão, com ênfase nos serviços de contrapiso e alvenaria interna e externa, e apresentar proposições para solucioná-los, a partir da análise de dados coletados *in loco* e comparação com os resultados levantados no projeto e no orçamento.

2. Referencial Teórico

2.1. Contabilidade de custos

A contabilidade de custos apresenta três objetivos principais: o auxiliar o controle, comparar informações e o apoiar na tomada de decisões [6]. Em um estágio inicial, aplica-se o controle com a missão de fornecer dados para a formação de custos-padrões, orçamentos e o que for necessário em previsões. Por conseguinte, compara-se o que de

fato ocorreu com as informações anteriormente definidas, seja no orçamento ou em planejamentos existentes e, na fase de decisão, são fornecidas informações relevantes que ajudam a vislumbrar as possíveis consequências que virão a curto e longo prazo, a respeito da situação da empresa [7].

Embora, em rigor, seja inadequado denominar todos os gastos de uma empresa como sendo custos, neste trabalho será feita essa generalização, a fim de facilitar o entendimento dos conceitos a serem apresentados.

2.2. Controle de custos

Para Losso e Araújo [8], o controle de custos de uma obra está diretamente relacionado com o planejamento da mesma. E, segundo Formoso [9], o planejamento é um processo gerencial, com objetivos e procedimentos, sendo eficaz quando realizado em conjunto com o controle. O controle, por sua vez, implementa as decisões que foram planejadas e avalia o desempenho da mão de obra e dos serviços [10].

Para o controle de custos e a elaboração de futuros orçamentos, é essencial para a empresa um sistema de apropriação de custos eficiente, sendo esse um conjunto de registros (de mão de obra, equipamentos, operações, materiais) juntamente com o planejamento e o orçamento, no qual, essas informações deverão ser acumuladas, organizadas, analisadas e assim feita a interpretação dos dados, para transformá-los em informações úteis [4,11].

Portanto, vale ressaltar que a presença de deficiências no planejamento e no controle acarretam fatores como baixa produtividade, atrasos, além da baixa qualidade e elevadas perdas [12,9]. Segundo Mattos [2], há estudos realizados no Brasil e no exterior que apontam esses mesmos fatores.

Gasparetto et al. [13], a partir do estudo de caso realizado em uma empresa que exerce serviços na área de construção civil, constataram que a maior dificuldade encontrada está no controle de obras, uma vez que houve o uso de instrumentos insuficientes, fazendo com que a empresa não obtivesse informações de lucro nem de desempenho da obra. Outro problema encontrado se refere ao caráter comportamental, pois empresa possuía o “tocador de obras”, ou seja, a pessoa que toma decisões rapidamente, com base na sua experiência e intuição, sem um devido planejamento.

Desse modo, é correto afirmar que, para que se alcance uma melhoria em cenários empresariais, o controle de custos é indispensável e deve ser realizado periodicamente, para que seja possível superar os vários obstáculos existentes na construção civil. Além disso, devem ser impostos alguns procedimentos, tais como: não considerar o planejamento como apenas um cronograma, realizar a análise dos desvios existentes no projeto quando comparado com o orçamento inicial, verificar se estimativas de custos ainda são válidas, analisar o risco de fugir ao orçamento e sempre corrigir possíveis falhas no planejamento [14,12].

Essas previsões financeiras podem ser de curto, médio e longo prazo. Segundo Goldman [15], boa parte das empresas elaboram a previsão financeira completa na fase de planejamento e, todo mês, geram relatórios com previsões mensais e, de períodos em períodos como de três em três meses, que seria uma previsão de médio prazo. Isso permite que o setor financeiro possa alterar suas providências, adequando-as aos resultados obtidos, para que não haja um grande desvio de gastos.

Para tanto, existe uma ferramenta chamada Análise de Valor Agregado, ou “Earned Value Management” (EVM), que começou a ser utilizada no século XIX e foi difundida nos Estados Unidos e utilizada pelo governo americano a partir dos anos de 1960, para controle de progresso de custos e tempo [14]. O vantajoso dessa metodologia é que a mesma integra o que está sendo entregue pelo projeto (escopo), na linha do tempo

(cronograma), considerando todos os recursos que foram utilizados (custos) para cumprir tal tarefa, possibilitando que se faça a medição do desempenho do projeto.

Para a engenharia civil, é relevante também que a empresa controle a produtividade de cada funcionário, levando em consideração o custo e o benefício. Com o avanço de sistemas, a tendência é que se faça esse monitoramento, comparando a expectativa com o que ele produz na prática, podendo, assim, corrigir possíveis desvios [16].

2.3. Utilização do sistema ERP e controle na medição

O processo de medição de desempenho mede e faz a coleta de dados de determinados serviços. Para Sink e Tuttle [17], a análise dos resultados colhidos em campo se faz necessária para que haja uma avaliação quanto ao desempenho, definindo, então, o processo em que são estabelecidos os padrões, especificações, requisitos, valores ou julgamentos para que se possa determinar o desempenho que satisfaça as necessidades e expectativas do cliente.

Com a necessidade de novas formas de controle quanto ao gerenciamento, principalmente dos suprimentos, surgiram os sistemas ERP's. Esses sistemas oferecem a rastreabilidade e visibilidade global da informação da empresa e de sua cadeia de suprimentos, o que possibilita ao administrador uma tomada de decisões mais eficiente [18].

O sistema ERP, através de uma única base, consegue integrar o fluxo das informações por toda a empresa, ou seja, é um sistema de melhoramento dos processos de negócios, como compras ou distribuição e produção, com informações sendo geradas em tempo real. Esse sistema é capaz de desenhar o cenário do negócio, pois possibilita a visualização completa das transações efetuadas pela empresa [18].

De acordo com Padilha e Marins [19], para utilização do sistema, é necessário obter participação ativa da alta gerência; gerir as mudanças; identificar os usuários-chave; definir um gerente-usuário; planejar e realizar treinamento; determinar os diversos papéis na implementação do sistema; adaptar o sistema à empresa e vice-versa; buscar por consultoria eficiente; assegurar a qualidade e aderir a simplificação no que diz respeito à definição de modelos, design da solução e implementação do sistema.

3. Metodologia

A opção adotada para análise do centro de custo da obra foi a realização de investigação empírica dos fenômenos dentro de seu contexto, com múltiplas fontes de evidências, através de uma abordagem interpretativa, utilizando o estudo de caso como estratégia de pesquisa.

São diversas as formas de se coletar os dados, como a utilização de documentos, questionários, entrevistas e a própria observação. Devido aos recursos disponíveis neste trabalho, as informações foram levantadas pelos funcionários por meio de registros, nos quais foram apontados quais os materiais utilizados e suas respectivas quantidades para cada pavimento. A pesquisa foi realizada em um edifício em construção com dois modelos diferentes de pavimentos tipos, com um total de 22 apartamentos de alto padrão, sendo um por andar. Apesar de alguns apresentarem diferença no layout, os pavimentos analisados são iguais.

Os dados foram coletados no período de agosto a setembro do ano de 2019, em uma obra localizada no Setor Marista, em Goiânia (GO). Fez-se a análise dos serviços de contrapiso e alvenaria interna e externa. Posteriormente, os dados de levantamento, foram organizados em uma planilha eletrônica no Microsoft Excel®.

No fim da coleta de dados, averiguou-se se no centro de custo foram previstos os quantitativos utilizados na execução, além de analisar a inserção de materiais na plataforma do sistema ERP utilizado pela empresa. Também se examinou se as considerações feitas no orçamento condiziam com a realidade.

3.1. Contrapiso

A partir dos registros realizados pelos funcionários da obra, levantou-se o número de giricas de argamassa utilizadas em cada pavimento, ressalva-se que foram analisados os pavimentos 6º, 8º e 10º tipos.

Primeiramente, dividiu-se o número de giricas de argamassa pelo rendimento de giricas/traço, encontrando o número de traços gastos em cada pavimento. Posteriormente, tendo conhecimento da proporção dos materiais utilizados no contrapiso, determinou-se a quantidade de sacos de cimento empregados em cada pavimento; além do volume de areia, que foi calculado a partir do conhecimento da capacidade da padiola, em m³, utilizada para a medição desse insumo. Com esses quantitativos e a área do pavimento, obteve-se o consumo dos materiais, por m², tornando-se possível comparar com o previsto em orçamento. Nesse processo, faz-se necessário o conhecimento da altura real das taliscas.

Para o cálculo do volume de contrapiso, foi deduzida a espessura da manta acústica utilizada nos quartos, circulação e sala de estar (Figura 1).

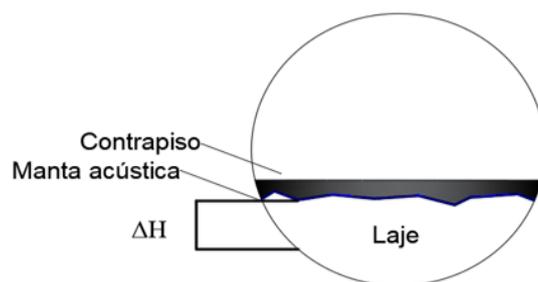


Figura 1 – Ilustração das camadas de um contrapiso.

Calculou-se, então, a variação entre os pontos levantados anteriormente, a partir da Equação 1:

$$\Delta H = H_{lev} + e - PC \quad (1)$$

Onde ΔH é diferença de altura em cm; e é a espessura da manta acústica, considerada igual a 0,5 cm nos cômodos onde existe a instalação da mesma; PC é a altura do ponto crítico da laje e H_{lev} é a altura do ponto em análise.

Com os dados das diferenças dos níveis de cada ambiente, fornecido pelo projeto arquitetônico, determinou-se as alturas das taliscas que deveriam ser executadas, sem considerar as irregularidades da laje.

As alturas das taliscas que deveriam ser executadas foram somadas às diferenças de altura (ΔH), chegando ao levantamento das taliscas reais. Seguidamente, multiplicou-se esse resultado pelas áreas de cada pavimento, determinando o volume real de argamassa gasto.

Já o volume de argamassa previsto em projeto foi calculado a partir dos níveis presentes no projeto arquitetônico multiplicados pelas suas respectivas áreas. Sendo assim, tornou-se possível comparar o volume executado com o previsto.

Além disso, para a realização de uma análise estrutural faz-se uma entrevista com o projetista, obtendo o valor da carga considerada em projeto. Para validar esse resultado, foi realizado o ensaio de densidade da argamassa utilizada para a execução do contrapiso.

Visto que não existe uma norma que estabelece a metodologia necessária para a realização do ensaio de densidade de argamassas para pisos, foi utilizada a ABNT NBR 13278:2005, que preconiza o ensaio de densidade para argamassas de paredes e tetos [20].

3.2. Alvenaria

Com os dos registros dos funcionários da obra, foram levantados quantos paletes de tijolos foram alocados em cada andar, sendo utilizados para análise os blocos cerâmicos de dimensões 19x19x29cm e os de 11,5x19x29cm e obteve-se o número de blocos por palete, determinando, assim, a quantidade de blocos utilizados do 5º aos 9º pavimentos tipo.

Posteriormente, calculou-se, pelo projeto de alvenaria, quantos blocos eram gastos por pavimento. Porém, o que foi executado na obra não seguiu as diretrizes propostas no projeto de alvenaria, pois o mesmo não ficou pronto na data prevista, ou seja, antes do início da execução do serviço em análise e, para não perder o prazo de execução, a coordenação da obra ordenou que fosse seguido o projeto arquitetônico em concomitância com o projeto estrutural. Dessa forma, fez-se necessário um outro elemento comparativo para ser utilizado como previsto, o item nomeado “Calculado” (Figura 2).



Figura 2 – Fluxograma dos itens analisados.

Para estimar o consumo de blocos por m² do item “Calculado”, mediu-se in loco a espessura de argamassa de assentamento e a vista das dimensões dos tijolos (19x29cm). Então, a partir desses dados, foi desenvolvido, no software AutoCAD®, a projeção de uma vista de alvenaria com um quadrado de 1x1m (Figura 3).

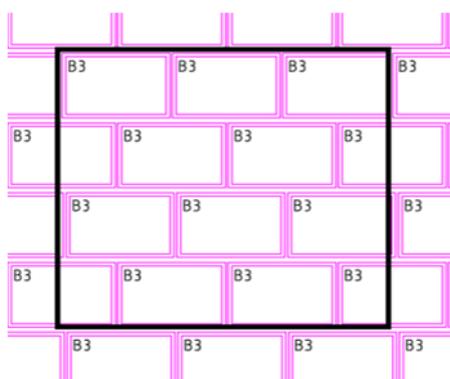


Figura 3 – Levantamento da quantidade de blocos por metro quadrado.

O consumo de blocos também foi calculado, através da Equação 2:

$$Q_t = \frac{1}{x+y} \quad (2)$$

Onde Q_t é a quantidade de tijolos em und/m²; x é a dimensão do bloco na horizontal + espessura da argamassa em m e y é a dimensão do bloco na vertical + espessura da argamassa em m.

Após essa etapa, calculou-se, in loco, as áreas de alvenaria, separando-as por cada tipo de bloco cerâmico.

No entanto, foi necessário outro comparativo (Figura 2), que foi feito a partir da média de blocos gastos nos pavimentos 6 °, 7 °, 8 ° e 9 ° e o método citado acima foi utilizado para calcular o consumo de blocos por m² de alvenaria. Em seguida, comparou-se os resultados encontrados com consumo do orçamento e o calculado (previsto).

4. Resultados e Discussão

4.1. Contrapiso

A primeira comparação foi a respeito do orçamento, no qual foi previsto a utilização de 21 kg de cimento por m², enquanto na execução utilizou-se, em média, 13 kg de cimento por m², apresentando uma variação de quase 40% em relação ao que foi orçado, já o consumo de areia mostrou uma redução de até 26,2% (Gráficos 1 e 2).

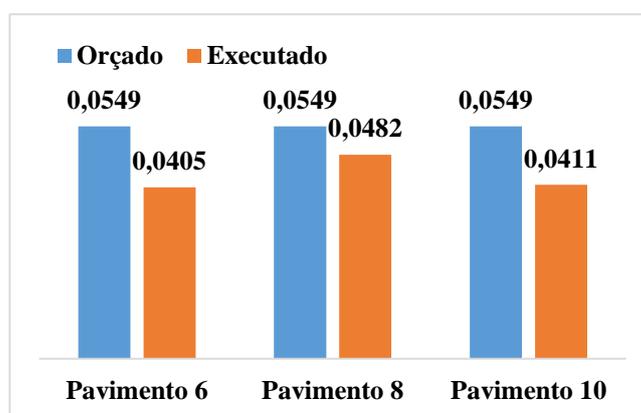


Gráfico 1 - Consumo de areia em m³/m²

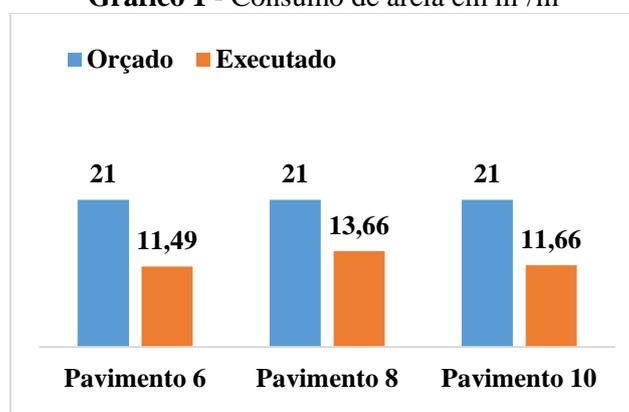


Gráfico 2 - Consumo de cimento em kg/m²

Com a redução no consumo de cimento, surgiu o questionamento se isso afetaria a qualidade do contrapiso e o orçamentista não soube responder qual traço utilizou na composição dos custos, além de ter considerado uma área 40% maior que a real e o traço executado em obra segue uma tabela padronizada pela empresa.

Essas indefinições podem acarretar em um orçamento superestimado, apresentando quantitativos de insumos que poderiam ter sido diminuídos se houvesse uma formalização adequada e uma melhor comunicação entre profissionais contratados e empresa.

Apesar dos dados encontrados não terem ultrapassado o que foi orçado, no decorrer da execução da obra, adicionou-se um insumo não previsto em orçamento, a manta acústica (Figura 4).



Figura 4 – Execução de manta acústica.

Essa adição representou um aumento de 25,2%, ao averiguar o valor estipulado no item contrapiso presente no orçamento. Além da utilização da manta acústica, para a instalação da mesma é necessário a regularização da laje, consumindo quase 100 sacos de cimento que não constavam em orçamento.

Ainda, para a regularização da laje e instalação da manta acústica, é necessário um dia a mais de mão de obra, o que gera um aumento de 22 dias trabalhados na previsão estipulada para a tarefa do contrapiso em todos os pavimentos tipo.

Nesse caso, recomenda-se que a empresa faça um estudo verificando a necessidade de instalação da manta acústica. Tal estudo é possível através da realização de ensaios preconizados pela norma ISO 140-4:1998 [21], que prevê a necessidade de inserir na laje algum elemento acústico, ou se o próprio sistema já supre o mínimo previsto na norma de Desempenho, a ABNT NBR 15575:2013 [22].

Ademais, no estudo do contrapiso, o volume de argamassa tornou-se outra preocupação. No Gráfico 3, pode-se observar que o volume de argamassa utilizado para a execução dos três pavimentos em análise ultrapassou o volume calculado pelo projeto em aproximadamente 30%, o que pode ter ocorrido pelo fato de que a laje apresentou irregularidades consideráveis.

As elevadas espessuras das taliscas levantaram o questionamento se o projeto estrutural previa essa alta carga de contrapiso, sendo que, em alguns pontos, as espessuras atingiram valores de 13 cm como visto.

De acordo com o projetista, o projeto estrutural, foi prevista uma carga de 150 kg/m² para a carga permanente, que é preconizada pela ABNT NBR 6120:2019 [23], e a carga encontrada para a argamassa utilizada em obra foi de 1.954,6 kg/m³, sendo assim, a carga média real foi de 193kg/m², cerca de 28,67% a mais que o projetado e, em pontos mais críticos, teve-se um aumento de até 69,33%.

Esse acréscimo pode acarretar manifestações patológicas na edificação, devendo ser informado ao projetista para que o mesmo analise se há a necessidade de alguma ação.

Alguma das soluções encontradas são a utilização de placas de EPS sob o contrapiso, uso de cristais de EPS como agregado, ou vermiculita expandida. Assim, ocorreria a diminuição da carga na estrutura e também o material seria aproveitado como isolante acústico, podendo-se dispensar o uso da manta acústica.

Outro ponto analisado foram os altos níveis do projeto, gerando custos excessivos com serviços que não agregam valor no edifício e sobrecarregando a estrutura. Como solução tem-se o rebaixamento da laje dos banheiros e da sacada, já que esses lugares, conforme o projeto arquitetônico, necessitam estar em nível inferior ao restante dos cômodos. Se fosse rebaixado 2,5 cm nos banheiros e 2 cm na varanda, geraria uma diminuição de 43% do volume de contrapiso se comparado ao volume calculado pelos níveis atuais do projeto arquitetônico.

Já a altura dos desníveis presentes em projeto, que são de 1,5 cm, atendendo a acessibilidade, requerem, pela ABNT NBR 9050:2004 [24], um tratamento especial. Quando o desnível for superior a 0,5 cm, esse deve ser tratado como rampa, conforme a Figura 5. No entanto, se os desníveis dos andares diminuíssem de 1,5cm para 0,5cm, haveria uma redução de até 10% do volume de contrapiso em relação ao calculado pelo projeto, além da economia no orçamento em relação ao item soleira.

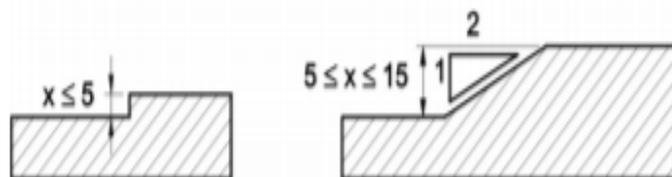


Figura 5 - Detalhamento de desníveis (ABNT NBR 9050:2004).

4.2. Alvenaria

O projeto arquitetônico previu quatro dimensões diferentes de blocos cerâmicos para a edificação. Foram utilizados, nas alvenarias dos pavimentos tipos, blocos cerâmicos nas dimensões, em centímetros, de 11,5x19x29, 19x19x29, 14x19x29 e 09x19x29. Porém, a quantidade utilizada dos blocos de 14x19x29 e 09x19x29 cm, representa apenas 5% do total previsto em projeto. Por isto foram analisados apenas os blocos de 19x19x29 e 11,5x19x29 cm.

Através da projeção de 1 m² e da utilização da Equação 3, foram encontrados os respectivos quantitativos de blocos por metro quadrado de alvenaria: 17 e 16,42. O valor adotado foi o de 17 unidades por m² para os dois tipos de blocos cerâmicos em análise (Tabela 1). A área de alvenaria medida in loco foi de 195,44m² para o bloco 11,5x19x29cm e de 122,46m² para o bloco 19x19x29cm.

Tabela 1 – Consumo de blocos por m² de alvenaria

Dimensões (cm)	Consumo und/m ²			
	Registrado	Média (execut.)	Calculado (previsto)	Orçado
19x19x29	15	19	17	18
11,5x19x29	16	20	17	18

Por meio da média executada, por pavimento, dos tijolos utilizados para a execução do pacote de serviço em destaque, encontrou-se um valor de 20 und/m² do bloco cerâmico de 11,5x19x29 cm e de 19 und/m² para o bloco de 19x19x29 cm (Tabela1).

Com as informações de consumo de blocos cerâmicos por m² de alvenaria (Tabela 1), comparou-se o calculado (previsto) com o a média executada por pavimento e encontrou-se uma perda de até 13% do material por andar, ou seja, cerca de três blocos são desperdiçados para a execução de um metro quadrado de alvenaria.

Horngren, Foster e Datar [10] dizem que o orçamento tem o objetivo de planejar, coordenar e ajudar na implementação do plano de controle e, devido a isso, sua análise foi adotada como uma das metodologias. Em orçamento, foram consideradas 18 unidades de bloco por metro quadrado, valor abaixo da média executada e, por outro lado, tem-se uma área 50% maior que a medida in loco, o que dá um total de 11.448 blocos por pavimento, sendo que o gasto foi de 6.234 blocos cerâmicos.

Desse modo, foi possível verificar que a quantidade de blocos está dentro do previsto em orçamento. Porém, o valor de desperdício considerado pelo orçamentista foi bem elevado em relação ao real, podendo ser otimizado para futuros orçamentos, visto que essa perda também engloba um aumento no volume de argamassa e mão de obra.

4.3. Registros dos funcionários

O autor Nalon [25] traz alguns passos que ditam o sistema de controle de uma obra: o acompanhamento diário da execução de serviço; apropriação de dados; comparação dos parâmetros previstos com o executado. No entanto, em razão das dificuldades e falhas encontradas em relação aos registros dos funcionários, constatou-se que os mesmos não foram treinados para anotarem a alocação dos materiais e que não existe um método a ser seguido e, conseqüentemente, a apropriação dos insumos é feita de modo errôneo, gerando lacunas na análise do previsto com o executado.

Além de ter que realizar uma adequação para que se consiga aplicar o controle dos materiais, sugere-se que seja feito um caderno de registros de lições aprendidas, assim todos os profissionais que gerem as obras teriam acesso aos erros cometidos anteriormente e tomariam melhores decisões.

4.4. Sistema Integrado de Gestão Empresarial (Enterprise Resource Planning – ERP)

A empresa em estudo utiliza um sistema da plataforma ERP, em que de suas funções é a locação dos insumos em seus respectivos serviços e, dentro desse sistema, pode ser realizada a inserção de materiais solicitados pela obra. Contudo, essa inserção não é realizada da forma devida, uma vez que, na obra, não é realizado o controle dos materiais.

Os autores Chopra e Meindi [18] afirmam esses sistemas oferecem a rastreabilidade e visibilidade global da informação da empresa e de sua cadeia de suprimentos, o que possibilita ao administrador uma tomada de decisões mais eficiente. Contudo, para que haja um melhor controle da obra, é de extrema importância que a plataforma venha a ser utilizada de maneira correta e eficiente.

4. Considerações Finais

É notório que o volume de argamassa utilizado para o contrapiso excedeu o que foi previsto pelo cálculo do projeto arquitetônico e, após análise, verificou-se que a carga considerada no projeto estrutural foi inferior a executada, podendo gerar manifestações patológicas devido aos vícios construtivos. Para evitar tais transtornos, algumas das soluções seriam mudanças no projeto arquitetônico, através da diminuição dos níveis e desníveis, com o rebaixamento da laje e/ou uso de agregado leve na confecção da argamassa.

Outro ponto analisado foi o consumo de materiais abaixo do que orçado, o que, por um lado, é vantajoso por ter um custo abaixo do previsto; mas, por outro, é

preocupante devido à qualidade do orçamento. Como exemplo de falhas encontradas no mesmo, tem-se: áreas excessivas em relação ao projeto, traço não correspondente ao que a empresa executa e a consideração de desperdício alto quando comparado com a realidade da empresa.

Ademais, a empresa demonstrou não realizar o controle nem a inserção correta dos materiais no sistema ERP, o que foi possível detectar pela análise desse sistema, uma vez que os funcionários não são treinados para registrarem as alocações dos insumos. Essa ausência no controle pode acarretar fatores como baixa produtividade, atrasos, baixa qualidade e elevadas perdas.

É necessário extinguir a presença de déficits advindos da falta de planejamento e controle, isto é, seria ideal que a empresa não iniciasse a construção de um empreendimento sem ter todos os projetos complementares em mãos e que executasse o controle dos materiais com a utilização do sistema ERP, realizando a interpretação dos dados e transformando-os em informações úteis.

Por meio deste trabalho, foi possível averiguar que há grande dificuldade na obtenção de dados para o controle de custos, mesmo que o controle traga inúmeros benefícios e a empresa terá informações, não só a respeito da situação do orçamento, mas com as quais será capaz de avaliar outros pontos, tais como: análise de projetos, buscando possíveis melhorias em itens que não agregam valor; modificações em busca de benfeitorias no projeto arquitetônico e estrutural; análise de sobrecarga na estrutura e conhecimento dos quantitativos de desperdício de materiais, que devem ser reparados em futuros orçamentos.

Referências

- [1] I. Chiavenato, Administração de empresas: uma abordagem contingencial, terceira ed., McGraw-Hill, São Paulo, 1982.
- [2] A.D. Mattos, Planejamento e controle de obras, primeira ed., Pini, São Paulo, 2010.
- [3] H.T. Johnson, R.S. Kaplan, Contabilidade Gerencial: a restauração da relevância da contabilidade nas empresas, Campus, Rio de Janeiro, 1993.
- [4] G.S.G. Leone, Custos: planejamento, implementação e controle, primeira ed., Editora FGV, Rio de Janeiro, 1982.
- [5] N.M.C. Araújo, G.R.O. Meira, O papel do planejamento, interligado a um controle gerencial, nas pequenas empresas de construção civil, in: XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, Brasil, 1997.
- [6] G.S.G. Leone, Custos: um enfoque administrativo, 14. ed. Editora FGV, Rio de Janeiro, 2001.
- [7] E. Martins, Contabilidade de custos, oitava. ed., Atlas, São Paulo, 2001.
- [8] I.R. Losso, H.N. Araújo, Aplicação do Método da Linha de Balanço: Estudo de Caso, In: Anais do VI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Rio de Janeiro, 1995.
- [9] T.C. Formoso, Planejamento e controle da produção em empresas de construção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- [10] C.T. Horngren, G. Foster, S.M. Datar, Contabilidade de custos, nona ed., LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2000.
- [11] J.H. Perez Jr., J. H. Controladoria de Gestão, segunda ed., Atlas, São Paulo, 1997.
- [12] R.M. Magalhães, L.C.B.M. Brasil, R.M.B. Albergaria, Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro, Gest. Prod., 25 (2018) 44-55. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2079-15>.

- [13] V. Gasparetto, R. Prodócimo, D. Schnorrenberger, Instrumentos de planejamento e controle de obras em uma empresa prestadora de serviços ao setor da construção civil, in: Anais do XVII Congresso Brasileiro de Custos, Belo Horizonte, Brasil, 2010.
- [14] C. Barbosa, F. Abdollahyan, P.R.D. Vilela, O.C. Longo, Gerenciamento de custos em projetos, primeira ed., Editora FGV, Rio de Janeiro, 2007.
- [15] P. Goldman, Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira, quarta ed., Pini, São Paulo, 2004.
- [16] J.J. Santos, Análise de custos, quarta ed., Atlas, São Paulo, 2005.
- [17] D.S. Sink, T.C. Tuttle, Planejamento e medição para performance. Qualitymark, Rio de Janeiro, 1993.
- [18] S. Chopra, P. Meindl, Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Estratégia, Planejamento e Operação, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2003.
- [19] T.C. Padilha, F.A. Marins, Sistemas ERP: características, custos e tendências, Prod., 15 (2005) 102-113. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132005000100009>.
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13278:2005, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, 2005.
- [21] International Organization for Standardization (ISO). ISO 140-4:1998, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms, 1998.
- [22] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15575:2013, Edificações habitacionais-Desempenho, 2013.
- [23] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6120:2019, Ações para o cálculo de estruturas de edificação, 2019.
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 9050:2015, Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, 2015.
- [25] J. A. Nalon. Introdução ao Processamento Digital de Sinais. 1ª ed. LTC. 2009.

ORCID

V.C. Fassioni 0000-0003-1877-0831 (<https://orcid.org/0000-0003-1877-0831>)

L.M.N. Mendes 0000-0003-4221-6064 (<https://orcid.org/0000-0003-4221-6064>)

H.V.R. Santos 0000-0002-4409-1480 (<https://orcid.org/0000-0002-4409-1480>)