

ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME V



Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento

5ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

5ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2023

143 f.: il

DOI: 10.37423/2023.edcl725

ISBN: 978-65-5367-330-4

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projeto 2. construção 3. melhorias I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2023.edcl725>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

CAPÍTULO 1	6
ADIÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NO DESENVOLVIMENTO DE MASSAS CERÂMICAS PARA O ARTESANATO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO – PERNAMBUCO	
Juliana Carvalho da Silva Araújo	
Germannya D’Garcia de Araújo Silva	
Tiberio Cesar Macedo Tabosa	
Ana Maria Queiroz de Andrade	
Virginia Pereira Cavalcanti	
DOI 10.37423/230507670	
CAPÍTULO 2	19
CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL: A RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SUSTENTABILIDADE	
Ricardo Luiz Perez Teixeira	
Cynthia Helena Soares Bouças Teixeira	
DOI 10.37423/230507678	
CAPÍTULO 3	39
PRODUCT ENGINEERING: DEVELOPMENT OF STAND-UP PADDLE BOARD FOR WHEELCHAIR USERS, A LOOK AT ACCESSIBILITY	
Pedro Paulo Dantas da Silva	
DOI 10.37423/230507702	
CAPÍTULO 4	55
CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS VIA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA	
David Brandão Nunes	
Munique Fante	
Laís Vieira de Souza	
Marlova Piva Kulakowski	
Francisco Manoel Wohnrath Tognoli	
DOI 10.37423/230507722	
CAPÍTULO 5	68
INFLUÊNCIA DO METACAULIM EM CONCRETO CONVENCIONAL	
David Brandão Nunes	
Rafaella Vitale	
DOI 10.37423/230507723	
CAPÍTULO 6	80
INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	
David Brandão Nunes	
Ana Verônica Gonçalves Borges	
Antônio Eduardo Bezerra Cabral	
DOI 10.37423/230507725	

CAPÍTULO 7	91
UTILIZAÇÃO DE PLACAS DE FIBRA DE COCO COMO SOLANTE TÉRMICO E ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES	
David Brandão Nunes	
João Bosco Pinheiro Dantas Filho	
George Nunes Soares	
Antonio Eduardo Bezerra Cabral	
DOI 10.37423/230507726	
 CAPÍTULO 8	 107
ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE UM DISTRITO INDUSTRIAL	
Euclides Antônio Pereira de Lima	
SORAIA MOHAMED HOMAIED	
Pablo Kalil Homaied Leal	
DOI 10.37423/230507741	
 CAPÍTULO 9	 118
CONFORTO VISUAL EM AMBIENTE DE TRABALHO: ESTUDO DE CASO EM UM LABORATÓRIO DE PESQUISA	
Diego A. Custódio	
Thayane L. Bilésimo	
Aline Schaefer da Rosa	
Enedir Ghisi	
DOI 10.37423/230507743	
 CAPÍTULO 10	 131
PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL: CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO DO METABOLISMO ESTENDIDO APLICADO À CIDADE DE CRICIÚMA, SC	
Giovana Leticia Schindler Milaneze	
Pedro Rosso	
Arnoldo Debatin Neto	
DOI 10.37423/230507749	

Capítulo 1



10.37423/230507670

ADIÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NO DESENVOLVIMENTO DE MASSAS CERÂMICAS PARA O ARTESANATO DO CABO DE SANTO AGOSTINHO – PERNAMBUCO

Juliana Carvalho da Silva Araújo

Universidade Federal de Pernambuco

Germannya D’Garcia de Araújo Silva

Universidade Federal de Pernambuco

Tiberio Cesar Macedo Tabosa

Universidade Federal de Pernambuco

Ana Maria Queiroz de Andrade

Universidade Federal de Pernambuco

Virginia Pereira Cavalcanti

Universidade Federal de Pernambuco



Resumo: Neste artigo foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de duas massas cerâmicas a base de resíduos cerâmicos industriais desenvolvidas pelos técnicos do Laboratório de Design O Imaginário da UFPE para a produção de produtos artesanais cerâmicos do Centro de Artesanato Arq. Wilson Campos Júnior. As massas desenvolvidas foram caracterizadas por análise química e por ensaios cerâmicos normatizados: Retração linear total (%); Absorção de água (%); Módulo de Ruptura à Flexão (Kgf/cm²); Perda ao fogo (%); e Cor após queima. Como principais resultados observou-se que a inserção de diferentes percentuais do resíduo industrial na argila in natura melhoraram suas propriedades físicas e atendem aos requisitos técnicos e estéticos para fabricação da cerâmica artística e utilitária do grupo ceramista apoiado pelo Programa Petrobras Desenvolvimento e Cidadania.

Palavras-chave: Reaproveitamento de material, Cerâmica Vermelha, Resíduo Industrial, Utilitários de mesa.

1 INTRODUÇÃO

A produção de cerâmica vermelha no Cabo de Santo Agostinho é uma das atividades que remonta aos tempos da colonização. Durante séculos, as olarias de propriedade dos engenhos de açúcar produziram apenas tijolos e telhas para atender, exclusivamente, às necessidades da principal atividade econômica da zona da mata sul de Pernambuco. Com o passar do tempo, as olarias começaram a confeccionaroringas, jarras, panelas, potes, alguidares e pratos de curau¹.

A extração da matéria prima para a produção das peças, a argila, sempre foi considerada uma atividade não econômica, sendo autorizada por SUAPE² por considerar o volume mensal, menos de oito toneladas/mês, apenas para a produção artesanal dos produtos. Atualmente, com o desenvolvimento econômico da região, tais jazidas estão sendo aterradas para a instalação de indústrias de grande porte. Esta situação gerou a urgente necessidade de se estabelecer alternativas para a manutenção do fornecimento de matéria prima aos ceramistas do Cabo.

Diante deste cenário, o Laboratório O Imaginário submeteu e aprovou, no ano de 2013, o projeto “Cerâmica Artesanal do Cabo de Santo Agostinho: Centro de Artesanato Arquiteto Wilson de Queiroz Campos Júnior” ao edital do Programa Petrobras Desenvolvimento e Cidadania. O Imaginário é um Laboratório de pesquisa e extensão multidisciplinar, vinculado ao Departamento de Design e de Cultura da Universidade Federal de Pernambuco composto por profissionais, professores e estudantes de diversas áreas do conhecimento, que atuam com foco no design³ como instrumento a serviço da sustentabilidade, ambiental, econômica e social. É o resultado da evolução de projetos de pesquisa e extensão, que somavam esforços para a inserção do design tanto no âmbito industrial quanto artesanal. Sua missão é oferecer soluções de design baseadas em pesquisa e que estejam comprometidas com o usuário e o desenvolvimento sustentável de processos e sistemas. (ANDRADE; CAVALCANTI, 2006)

As abordagens metodológicas utilizadas pelo Laboratório O Imaginário tanto no ambiente artesanal quanto no industrial, apontam a relação entre o design e a sustentabilidade a partir de suas especificidades. Em linhas gerais, estas abordagens utilizam a relação entre design e sustentabilidade, tal como argumenta Manzini e Vezzoli (2005), em macro dimensões: a econômica, a produtiva, a social, a ambiental e a cultural.

No âmbito industrial, as ações do laboratório objetivam fortalecer a articulação da Universidade com o setor produtivo, visando à troca de informações entre academia e empresas, ampliando as

possibilidades de atuação dos designers no Estado. Na abordagem artesanal a diretriz é firmar a atividade artesanal em Pernambuco enquanto meio de vida sustentável, através de intervenções que respeitem os valores sociais, econômicos, ambientais e culturais das comunidades produtoras de artesanato.

Inicialmente, os técnicos do Laboratório em parceria com os pesquisadores do Laboratório de Cerâmicas especiais da UFPE utilizaram o resíduo de uma fábrica de piso cerâmico como alternativa para a sustentabilidade produtiva e econômica do grupo ceramista (SILVA, 2008).

Atualmente, as pesquisas estão sendo direcionadas a utilização do resíduo da fabricação de Louças Sanitárias ROCA^{®4}, a fim de atender aos parâmetros de produção cerâmica para utilitários de mesa, conforme a Tabela 1. Todavia, existem alguns requisitos para a incorporação destes resíduos industriais, bem como os lodos das indústrias cerâmicas que devem ser levados em consideração, como o tratamento adequado deste resíduo, armazenamento e caracterização do mesmo. (ROCHA, et. al., 2008; MORELLI et. al., 2003; COSTA et. al., 2002)

Tabela 1 Propriedades físicas exigidas para massas de cerâmica artística, louça de mesa e louça sanitária.

PROPRIEDADES FÍSICAS	CERÂMICA ARTÍSTICA	LOUÇA DE MESA	LOUÇA SANITÁRIA
Temperatura de Queima	1050 OC	1180 OC	1250 OC
Absorção (%)	15 --- 19	4 --- 6	0
Módulo de Ruptura após queima (Kgf/cm ²)	200 --- 300	300 --- 500	Maior que 500
Densidade da Barbotina (g/cm ³)	1,71 – 1,73	1,72 – 1,75	1,77 – 1,80

Fonte: Adaptado de MORELLI, A.C, BALDO (2003).

Com a inserção da técnica de conformação cerâmica por colagem de barbotina, o grupo de ceramistas do Cabo está atingindo novos mercados, dentre eles, o setor gastronômico e a utilização de uma massa cerâmica adequada a tal processo é de fundamental relevância a confiabilidade do grupo no mercado.

Este artigo apresenta os primeiros resultados do Laboratório no desenvolvimento de duas massas cerâmicas adequadas à produção dos ceramistas do Cabo, a partir da inserção de percentuais do resíduo cerâmico das louças sanitárias (R2), na argila de SUAPE (S1) e matérias primas virgens para ajustes. Cumpre salientar que estudos sobre esmaltes cerâmicos, sem adição de chumbo, também veem sendo desenvolvidos em paralelo para o atender as demandas do artesanato do Cabo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Foram elaboradas, inicialmente, três composições de massa, sendo uma para modelagem no torno (ET1), sinterizada à 850 °C e as demais para colagem de barbotina (EB1 e EB2), sinterizadas a 1100 °C, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Composições das massas cerâmicas

MATÉRIAS PRIMA	ET1	EB1	EB2
Argila Cabo	50%	15%	15%
Resíduo Roca	30%	15%	30%
Feldspato	10%	50%	30%
Quartzo	10%	10%	9%
Caulim	---	10%	8%
Calcita	---	---	8%
TOTAL	100 %	100%	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada.

2.2 ANÁLISE QUÍMICA

Esse ensaio tem como finalidade identificar as composições químicas teóricas das argilas analisadas. As amostras foram trituradas na forma de pó e uma alíquota de cada amostra foi colocada em estufa para secar a 110 oC e então levada a uma mufla a 1000 oC, por 2 horas. Para cada amostra foi feita uma pérola fundida, usando tetraborato de lítio como fundente na proporção de 1:5. As amostras foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios Rigaku modelo RIX 3000, equipado com tubo de Rh, pelo método de curvas de calibração, preparadas com materiais de referência internacionais.

2.3 ENSAIOS CERÂMICOS

2.3.1 RETRAÇÃO LINEAR

Este ensaio tem a finalidade de avaliar a redução de volume do corpo de prova após a secagem e queima além de explicar indiretamente o ensaio dimensional mencionado na NBR 15099:2004. Existem dois tipos de retração: uma que ocorre antes da queima a 110 oC e outra que ocorre após a sinterização.

Para a realização do ensaio com a massa de barbotina, mede-se o comprimento inicial no molde (C1), em seguida, conforma-se o corpo de prova inserindo a massa na cavidade do molde. Depois do tempo adequado de fundição, ocorre o destacamento do material no molde. Na massa de torno, corta-se o tarugo compactado nas dimensões desejadas, neste estudo, 10 cm. Os corpos de prova foram colocados na estufa para secagem na temperatura de 110 °C durante 24 horas.



Figura. 1 – Produção dos Corpos de prova usado nos ensaios de retração, perda ao fogo e absorção.

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada

Após este tempo, e após resfriamento na temperatura ambiente, com o auxílio de um paquímetro, mede-se novamente os corpos de prova para obter o comprimento a seco (CS), Figura 1.

Em seguida, os corpos de prova foram levados ao forno para queima em temperatura de aproximadamente 850 °C, para a massa de torno, e a 1100 °C, para a massa de colagem de barbotina, por um tempo de 8 horas, Figura 2.



Figura 2 – Sinterização e procedimentos de medição dos corpos de prova

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada

Após a sinterização, o corpo de prova é medido novamente e tem-se então o comprimento queimado (CQ) do material. De posse destes valores, obtidos na experiência, podemos inserir nas equações (1), (2) e (3) para determinação da retração de secagem, de queima e total respectivamente.

$$\text{Retração de secagem (\%)} = \frac{(CI - CS) \times 100}{CI} \quad (1)$$

$$\text{Retração de queima (\%)} = \frac{(CS - CQ) \times 100}{CI} \quad (2)$$

$$\text{Retração total (\%)} = \frac{(CI - CQ) \times 100}{CI} \quad (3)$$

Onde:

CI = Comprimento inicial;

CS = Comprimento após secagem (110 oC);

CQ = comprimento após a queima (850 e 1100 oC).

2.3.2 MÓDULO DE RUPTURA À FLEXÃO

Os moldes dos corpos de prova para ensaio de Módulo de Ruptura à Flexão foram cedidos pela fábrica de Louças Sanitárias ROCA® e os corpos de prova para a massa de torno foram realizados numa extrusora a vácuo VERDES® modelo 057.

Todos os corpos de prova foram ensaiados numa máquina EMIC com célula de carga Trd 24 de 50N/cm³, utilizando o programa Tesc versão 3.04, conforme a norma ABNT NBR15310 – telha cerâmica, seguindo os parâmetros determinados para cada condição isto é, se o corpo de prova apresenta uma seção reta retangular ou circular, normatizado para ensaios de resistência à flexão de materiais cerâmicos avançados em temperatura ambiente Norma ASTM C1161, Figura 3.



Figura 3. Ensaio de Flexão em corpo de prova de secção cilíndrica

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada

Os valores encontrados foram lançados na equação 4 para materiais de seção retangular no caso da massa de torno e na equação 5 para as massas de barbotina cujos corpos de prova apresentavam seção reta circular e assim foram calculados os módulos de ruptura à flexão após sinterização 1100 °C.

$$MRF = \frac{3F_f L}{2bd^2} \quad (4)$$

Onde:

Ff: Carga necessária para ruptura em N;

L: Distância entre os pontos de suporte em cm; b: largura do corpo de prova em cm;

d: espessura do corpo de prova em cm;

$$MRF = \frac{F_f L}{3,1416 R^3} \quad (5)$$

Onde:

Ff: Carga necessária para ruptura em N;

L: Distância entre os pontos de suporte em cm; R: raio do corpo de prova



Figura 4 – Seções transversais dos corpos de prova no local da ruptura

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada

Após a ruptura de cada corpo de prova, foram medidas as dimensões das seções transversais de cada amostra, no local da ruptura e foi observado as cargas necessárias para o rompimento, Figura 4

2.3.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA (A.A.)

Este ensaio avalia a queima da peça cerâmica, através de sua porosidade, a partir da quantidade de água absorvida pela peça cerâmica após a sinterização. O corpo de prova utilizado no ensaio é o mesmo usado no ensaio de retração. Este ensaio também pode ser feito com regiões distintas do produto acabado segundo ABNT NBR 15097:2004. O corpo---de---prova é pesado para determinação da massa seca (MS), logo em seguida o material é imerso em um recipiente com água, onde se eleva a temperatura da mesma até seu ponto de ebulição, permanecendo por 2 horas. Após 2 horas de fervura, deixa---se esfriar no próprio recipiente com água por 24 horas, Figura 5.

Novamente volta-se a pesar os corpos-de-prova para determinar a massa úmida (MU). De posse destes números, determinamos então o percentual de absorção, utilizando a equação (6) a seguir:

$$\% \text{ Absorção} = \frac{(MU - MS) \times 100}{MS} \quad (6)$$

Onde:

MS = Peso do material seco;

MU = Peso do material úmido



Figura 5 – Ensaio de absorção de água em ambos os corpos de prova

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada

O valor encontrado para utensílio de mesa deve estar compreendido entre 4-6 %. Fora desse parâmetro a peça apresentará um alto índice de porosidade e com o passar do tempo o acúmulo de umidade nos poros causará expansão por umidade, podendo haver trincas.

2.3.4 COR APÓS QUEIMA

Este ensaio consiste em avaliar a tonalidade do corpo cerâmico após a etapa de sinterização à 850 oC, para massa de torno e 1100 oC, para colagem por barbotina. Quando o corpo de prova é retirado da estufa, onde permaneceu por um período de 24 horas, à 110 oC, é submetidos a queima e posteriormente é avaliado com relação a cor.

3 RESULTADOS

3.3.1 ANÁLISE QUÍMICA

Com base na quantidade de óxidos presentes (álcalis, sílica entre outros) das amostras analisadas, Tabela 3, pode-se afirmar que tanto a argila de SUAPE quanto o resíduo industrial fornecido pela

ROCA® são complementares e potencialmente capazes de servir como matéria prima para um novo composto cerâmico. Em sendo as matérias primas complementares, a inserção do R2 na massa S1 favorecerá a complementação dos álcalis Na₂O e K₂O responsáveis pela fusibilidade do material, entre outros óxidos, promovendo melhores propriedades tecnológicas ao produto final.

Outra consideração importante é que a argila de SUAPE apresenta um maior percentual de Fe₂O₃, que contribui para a coloração avermelhada da peça após a sinterização. Essa cor avermelhada é característica da cerâmica do Cabo e deve ser considerada na elaboração das formulações de massa. Todavia, para o processo de colagem de barbotina a cor do produto final precisa apresentar um tom mais claro, em função, da camada de esmalte cerâmico a ser aplicada. Essa condição favorece o uso de um percentual maior do R2 na formulação, tendo em vista que sua cor pós queima é acinzentada.

Tabela 3 - Composições químicas teóricas da argila de Suape (S1) e Resíduo Roca (R2).

DETERMINAÇÕES	AMOSTRAS MASSAS (%)	
	S1	R2
SiO ₂	56,80	52,65
Al ₂ O ₃	20,31	21,75
TiO ₂	1,75	0,40
Fe ₂ O ₃	7,01	1,92
MgO	0,78	0,63
CaO	1,18	3,76
Na ₂ O	0,36	0,71
K ₂ O	2,63	3,13
P ₂ O ₅	0,25	0,30
MnO	0,05	Traços
ZrO ₂	0,34	1,63
BaO	...	...
P.F.	8,09	11,96

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada.

3.3.2 ENSAIOS CERÂMICOS

Todos os resultados dos ensaios cerâmicos foram compilados na Tabela 4, a seguir. Todas as massas cerâmicas apresentaram densidade entre 1,65 – 1,75 g/cm³. Esses valores favorecem o processo de colagem de barbotina pois, diminui o encharcamento do molde de gesso e promove o aumento da velocidade no fluxo produção das peças. Com relação ao ensaio de retração linear, um dos dados mais importante para o processo de design, a massa de torno apresentou um maior percentual de retração na secagem (6%) que no pós queima (2%). No entanto, a retração total de 8% confere a para a massa

de torno (ET1) um baixo percentual de retração, indicando que a adição do Quartzo e do Feldspato foi eficaz na formação de fases vítreas durante a sinterização.

Já com relação as massas para colagem de barbotina, a experiência EB1 apresentou retração total (14,29%), considerada satisfatória. Porém, a retração no pós queima (8,5%) foi maior que na secagem (5,71%). A massa EB2 que contém as mesmas matérias primas da massa EB1, exceto pela adição de calcita apresentou menor variação dimensional total (6,96 %).

Quanto a resistência mecânica, a partir do ensaio de Módulo de Ruptura à Flexão, a massa ET1 apresentou melhores resultados (89,24 Kgf/cm²) quando comparado a resistência mecânica da argila de SUAPE pura (24,94 Kgf/cm²). Esse resultado comprova que a mistura um percentual de 15% do resíduo da Roca® foi satisfatória para melhoria das propriedades tecnológicas da massa, em laboratório

Tabela 4 – Resultados dos ensaios Cerâmicos

TIPO DE ENSAIO	ET1 850 (°C)	EB1 1100 (°C)	EB2 1100 (°C)
Densidade (g/cm ³)	1,65	1,75	1,75
Retração secagem (%)	6	5,71	4,29
Retração Queima (%)	2	8,50	2,68
Retração Total (%)	8	14,29	6,96
Absorção (%)	19,34	15,08	18,73
Módulo de ruptura	89,24	276,86	280,20
Cor de queima*	Alaranjado moderado	Bege	Bege

Fonte: Elaborado pelo autor, com base na pesquisa realizada.

(*) Cor definida por comparação com a Rock Color Chart, New York, 1984.

As massas EB1 e EB2 apresentaram valores de resistência mecânica próximos a especificação para utilitários de mesa, respectivamente 276,86 e 280,20 Kgf/cm². Esses parâmetros indicam a necessidade de ajustes em alguns aspectos do processo: Inicialmente, no ajuste dos materiais fundentes para favorecer a formação das fases vítreas, ou mesmo diminuir o percentual de Calcita. Em seguida, no ajuste dos parâmetros de queima entre 1150 – 1180 oC. Como os corpos de prova foram sinterizados a uma temperatura de 1100 oC, isso também pode ter contribuído para uma resistência mecânica menor.

Com relação ao ensaio de absorção, os valores ficaram bastante próximos entre as três massas desenvolvidas: ET1(19,34 %); EB1(15,08 %) e EB2 (18,73 %). Estes resultados sugerem que as massas apresentam alta porosidade necessitando de ajustes em sua composição. A calcita contida na massa EB2, embora, diminua a retração pós queima, faz com que o corpo de prova fique com uma porosidade maior.

4 CONCLUSÕES

A argila SUAPE é adequada para fabricação de tijolos manuais, prensados, furados, telhas e artefatos de decoração. Entretanto, em função da sua baixa resistência mecânica (24,94 Kgf/cm²) e, tendo como foco a produção de utilitários artesanais de mesa, foram necessários ajustes na composição da massa com matérias primas complementares. Para as peças de revolução confeccionadas em torno cerâmico, a adição de 15% do resíduo da fábrica de louça sanitária ROCA® na argila de SUAPE, além de algumas matérias primas virgens para ajustes, apresentou um ganho superior a 200% na resistência mecânica do material (89,24 Kgf/cm²), melhorando também os índices de retração e de absorção de água do novo composto.

Já com relação as massas desenvolvidas para colagem de barbotina, em função dos resultados ainda não satisfatórios, EB1 (276,86 Kgf/cm² / Absorção 15,08%) e EB2 (280,20 Kgf/cm² / Absorção 18,73%), a próxima etapa da pesquisa consistirá em ajustes na composição para melhorar a resistência mecânica e absorção do material. Acredita-se que o acréscimo de materiais fundentes como a sílica, cuja fonte principal é o quartzo pode contribuir para esse objetivo, além de aumentar a temperatura de sinterização para 1150 oC.

Contudo, os artesãos do Cabo já testaram as massas ET1 e EB2, em produtos inclusive com geometria complexa, e aprovaram seu comportamento na conformação de paredes e no processo de queima. Avaliadas como satisfatórias, as massas estão sendo utilizadas na produção de utilitários de mesa, com aplicação de esmalte cerâmico e acredita-se que a adequação e a padronização dos processos de fabricação serão fundamentais para manutenção desses bons resultados.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Ana M; CAVALCANTI, Virginia P .(Coord.). Imaginário Pernambucano: design, cultura, inclusão social e desenvolvimento sustentável. Recife: Ed. Zoludesign, 2006.

BARROSO, Eduardo: O design como ferramenta para o incremento da joalheria brasileira. Disponível na Internet por [http](http://joiabr.com.br/artigos/ebneto.html) em <http://joiabr.com.br/artigos/ebneto.html>. Acesso em xx mes 2005

COSTA, M. G.; RIBEIRO, M. J.; LABRINCHA, J. A. Reutilização in situ das lamas residuais de uma indústria cerâmica, *Cerâmica Industrial*, Vol. 7 (5), pp. 44---50, 2002.

ICSID -International Council of Societies of Industrial Design.

<http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>

MANZINI, E., VEZZOLI, C.: O desenvolvimento de produtos sustentáveis. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 2005, pp. 50 --- 55

MORELLI, A.C, BALDO, J.B. Barbotinas cerâmicas contendo rejeito de vidro soda cal para maturação em baixa temperatura; *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 8, n.3, maio/junho, 2003.

ROCHA, R.R., ZANARDO, A., MORENO, M. Estudo do comportamento reológico de barbotinas preparadas com argilas da formação Corumbataí utilizadas no polo cerâmico de Santa Gertrudes (SP). São Paulo: *Cerâmica*, n.54, p.332---337. 2008.

SILVA, Germannya D A et. al. Refugo industrial como insumo para a cerâmica artesanal: uma alternativa sustentável para o artesanato do Cabo de Santo Agostinho – Pernambuco / Brasil. In: Congresso Internacional de Pesquisa em Design. Anais do Congresso Internacional de Pesquisa em Design. São Paulo, 2008.

Capítulo 2



10.37423/230507678

CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL: A RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E SUSTENTABILIDADE

Ricardo Luiz Perez Teixeira

Cynthia Helena Soares Bouças Teixeira

*Instituto de Engenharias Integradas da
Universidade Federal de Itajubá, Itabira, MG,
Brasil
Faculdade de Ciências Econômicas da
Universidade Federal de Minas Gerais, Belo
Horizonte, MG, Brasil*



Resumo: Este estudo objetiva analisar a relação entre a produção industrial humana e a sustentabilidade, considerando os conceitos de Indústria 4.0, Manufatura, Marketing Verde e Tripé da Sustentabilidade, a fim de identificar soluções inovadoras e sustentáveis para a fabricação de bens. A metodologia adotada é a revisão bibliográfica da literatura especializada, com ênfase na sustentabilidade, discutindo-a nos aspectos sociais, ambientais e econômicos. Propõe-se uma abordagem equilibrada desses três pilares, buscando uma manufatura consciente, responsável e integrada aos interesses da sociedade e do planeta. A Indústria 4.0, a Manufatura e o Marketing Verde são apresentados como oportunidades para inovação e redução de impactos ambientais e sociais. O Tripé da Sustentabilidade destaca a importância da responsabilidade social, da preservação ambiental e da viabilidade econômica. É fundamental que todos os stakeholders envolvidos na produção industrial assumam o compromisso de adotar soluções sustentáveis e inovadoras que promovam um futuro equilibrado e próspero. Este estudo enfatiza a urgência das práticas responsáveis de manufatura, que são indispensáveis para o desenvolvimento sustentável no século XXI.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Manufatura, Marketing Verde, Produção industrial, Sustentabilidade, Tripé da Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A manufatura humana é um processo que envolve desde a concepção do produto até sua produção e distribuição, utilizando o trabalho humano (COSTA, 2019). Com o enfoque no terceiro milênio, a discussão se concentra nas tendências e desafios futuros da manufatura humana, com destaque para a importância da sustentabilidade.

Com o advento da inteligência artificial, os meios produtivos industriais passam por uma transformação significativa, com a automatização de processos e a utilização de tecnologias cada vez mais avançadas, como os trazidos pela Indústria 4.0 (SANTOS *et al.*, 2020). A manufatura humana, que envolve a participação do trabalho humano em todo o processo produtivo, pode ser otimizada com a utilização de sistemas inteligentes.

A inteligência artificial dentro dos avanços da indústria 4.0 pode ser aplicada na concepção do produto, por meio de ferramentas de design assistido por computador (CAD, CAE etc.), que auxiliam na criação de modelos virtuais, na simulação de cenários de produção e na criação de protótipos (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Além disso, a utilização de robôs industriais e sistemas de visão computacional na produção pode aumentar a eficiência e a precisão dos processos (ZHOU *et al.*, 2021).

Contudo, nesse caso é importante considerar que a adoção da inteligência artificial na manufatura humana também traz desafios em relação à segurança dos trabalhadores e à ética no uso dos dados. É necessário garantir que a automatização dos processos não coloque em risco a integridade física dos trabalhadores e que os dados coletados sejam utilizados de forma responsável e transparente (MACCARI *et al.*, 2020).

Além disso, a sustentabilidade é um tema cada vez mais relevante na manufatura humana e a inteligência artificial pode contribuir para a redução do impacto ambiental dos processos produtivos. Por exemplo, a utilização de algoritmos de otimização de energia pode reduzir o consumo de eletricidade e a emissão de gases de efeito estufa (HOU *et al.*, 2021). A adoção da inteligência artificial na manufatura humana pode trazer uma série de benefícios em termos de eficiência e sustentabilidade, especialmente quando considerada no contexto da Indústria 4.0 e do tripé da sustentabilidade.

O tripé da sustentabilidade é composto pelas dimensões econômica, social e ambiental (MMA, 2019). A adoção da inteligência artificial pode contribuir para a sustentabilidade nessas três dimensões, através da otimização do consumo de energia, da redução de resíduos e do aumento da segurança

dos trabalhadores (BORGES *et al.*, 2020). No entanto, é importante considerar que a implementação de sistemas de inteligência artificial na manufatura humana também pode trazer desafios éticos e de segurança. É preciso garantir a privacidade dos dados e evitar a discriminação, além de garantir a segurança dos trabalhadores em relação a máquinas e robôs automatizados (COSTA, 2021).

A adoção da inteligência artificial na manufatura humana pode trazer benefícios significativos em termos de eficiência, sustentabilidade e Indústria 4.0. No entanto, é preciso considerar cuidadosamente os desafios éticos e de segurança envolvidos na implementação dessas tecnologias, bem como a necessidade de promover práticas de Marketing Verde e incorporar a *Triple Bottom Line* (sociedade, meio-ambiente e lucratividade) em todas as fases da produção, para garantir a sustentabilidade a longo prazo dos processos produtivos (SILVA; SANTOS, 2021).

A pergunta norteadora do estudo é "Qual é a relação entre os conceitos da produção industrial humana e a sustentabilidade no terceiro milênio?". A metodologia utilizada na produção do texto deste blog é fundamentalmente teórica, baseada em reflexões e conceitos sobre a manufatura humana sustentável e sua aplicação no terceiro milênio. A intenção é incluir tópicos relevantes para a temática abordada, como a Indústria 4.0, o Marketing Verde, o Triple Bottom Line (TBL) e a Sustentabilidade, para fornecer uma visão mais ampla e atualizada sobre o assunto.

2. METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa adequada ao texto em questão é a revisão bibliográfica. Para atingir o objetivo de explorar a relação entre os conceitos da produção industrial humana e a sustentabilidade no terceiro milênio, o autor compilou uma série de ideias e conceitos teóricos. Para isso, baseou-se em princípios como a redução de resíduos, a conservação de recursos naturais, a redução da pegada de carbono e a promoção da equidade social, que foram obtidos por meio da revisão bibliográfica de artigos, livros e outros materiais relacionados ao tema (REIS *et al.*, 2019). A revisão bibliográfica é uma metodologia que permite a identificação e análise crítica da literatura científica e técnica existente sobre um determinado tema, sendo fundamental para a construção do conhecimento científico (GIL, 2010).

O presente estudo tem como objetivo analisar teoricamente a relação entre a manufatura humana sustentável e a sustentabilidade no terceiro milênio, com a finalidade de incentivar a adoção de práticas sustentáveis na produção industrial. A metodologia adotada baseia-se principalmente em

reflexões e conceitos relacionados à temática em questão, tais como a Indústria 4.0, o Marketing Verde, o Triple Bottom Line (TBL) e a Sustentabilidade (GONÇALVES; MACHADO, 2019).

É importante destacar que as ideias e conceitos abordados neste estudo podem ser aplicados na prática. Nesse sentido, a metodologia teórica pode ser complementada por práticas empíricas e observação de casos reais, possibilitando uma aplicação mais efetiva e adaptada à realidade de cada empresa ou organização (CRESWELL, 2014).

Em síntese, este estudo tem como propósito fomentar a manufatura humana sustentável, integrando tanto a teoria quanto a prática, e incentivando a adoção de práticas sustentáveis na produção industrial. Assim, ressalta-se que a metodologia utilizada neste estudo se baseia principalmente em reflexões e conceitos teóricos, mas que práticas empíricas e observação de casos reais podem enriquecer a análise e aprimorar as ações e decisões tomadas na prática (EISENHARDT, 1989).

2. A MANUFATURA

A manufatura, em geral, é o processo de transformar matérias-primas em produtos acabados através de diversas etapas, como projeto, produção e distribuição. A diferença entre a manufatura humana e não humana reside no fato de que a manufatura não humana é realizada principalmente por máquinas e automação, enquanto a manufatura humana é realizada por trabalhadores humanos (PATEL, 2020). A manufatura não humana é geralmente considerada mais eficiente e precisa do que a manufatura humana, uma vez que as máquinas podem realizar tarefas repetitivas com maior rapidez e consistência do que um trabalhador humano (PATEL, 2020). No entanto, a manufatura humana oferece uma vantagem em termos de flexibilidade e adaptabilidade, já que os trabalhadores humanos são capazes de ajustar o processo de produção em tempo real e tomar decisões baseadas em informações sensíveis, como a qualidade dos produtos (DAVIS; EDISON, 2021).

No que diz respeito à sustentabilidade, a manufatura humana pode ser mais sustentável em termos sociais e ambientais do que a manufatura não humana. Isso ocorre porque a manufatura não humana pode exigir um grande consumo de energia e recursos naturais para operar as máquinas, além de gerar grandes quantidades de resíduos e emissões de poluentes (LIAO *et al.*, 2021). Por outro lado, a manufatura humana pode envolver a adoção de práticas sustentáveis, como o uso de materiais reciclados e a promoção do trabalho justo e condições de trabalho seguras para os trabalhadores (KLEIN *et al.*, 2020). Além disso, a manufatura humana pode ajudar a criar empregos e apoiar a economia local, o que pode contribuir para a sustentabilidade social (DAVIS; EDISON, 2021).

A utilização da manufatura aditiva na prototipagem está revolucionando a produção de produtos, permitindo criar objetos personalizados e complexos com menos desperdício de matéria-prima e tempo reduzido (NANDY *et al.*, 2021). Para atingir todo o seu potencial, é necessário integrá-la à Indústria 4.0, que envolve a digitalização e automatização dos processos produtivos (ZHANG *et al.*, 2019). A utilização de sensores, internet das coisas (IoT) e inteligência artificial permite que as fábricas se tornem mais eficientes e conectadas, possibilitando a produção sob demanda e customizada (VAN HOORN *et al.*, 2019). A inteligência artificial é essencial na Indústria 4.0, permitindo a análise de grandes quantidades de dados e tomada de decisões em tempo real (GARG *et al.*, 2019).

Na manufatura aditiva, a inteligência artificial pode otimizar o processo de impressão, identificando falhas e ajustando as configurações para uma produção mais precisa e eficiente (FAN *et al.*, 2018). A combinação dessas três tecnologias traz benefícios significativos, como a redução de custos, aumento da produtividade e melhoria da qualidade dos produtos (SHAHIN *et al.*, 2019), além de abrir novas possibilidades para a criação de soluções inovadoras e impulsionar a competitividade das empresas no mercado global.

A combinação da manufatura aditiva, da Indústria 4.0 e da manufatura humana sustentável traz benefícios significativos para o meio ambiente, a economia e a sociedade como um todo (LIAO *et al.*, 2021). A utilização da manufatura aditiva reduz o desperdício de matéria-prima e energia (KLEIN *et al.*, 2019), enquanto a Indústria 4.0 promove uma produção mais eficiente e customizada (TEIXEIRA, R. L. P. *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2019). Por sua vez, a manufatura humana sustentável busca conciliar a produção industrial com a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social (XU *et al.*, 2021), permitindo uma produção mais justa e equilibrada.

A afirmação de que a combinação da manufatura aditiva, da Indústria 4.0 e da manufatura humana sustentável traz benefícios significativos para o meio ambiente, a economia e a sociedade como um todo pode ser apoiada por diversas referências. Por exemplo, de acordo com uma pesquisa realizada por pesquisadores da Universidade de Purdue, a manufatura aditiva é uma tecnologia que permite reduzir significativamente o desperdício de material e energia em comparação com os processos tradicionais de manufatura (GEBISA Ejeta *et al.*, 2020).

Além disso, a literatura também aponta que a Indústria 4.0 pode promover uma produção mais eficiente e customizada, reduzindo o tempo de produção, o desperdício e os custos (Kagermann *et al.*, 2013). Já a manufatura humana sustentável é uma abordagem que busca conciliar a produção

industrial com a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social, permitindo uma produção mais justa e equilibrada (MOHANTY *et al.*, 2018).

Quanto ao papel da inteligência artificial na realização de uma manufatura humana sustentável, existem diversas pesquisas que destacam o seu potencial. Por exemplo, de acordo com um estudo realizado por pesquisadores da Universidade de Stanford, a inteligência artificial pode ajudar na identificação de oportunidades de otimização de recursos e redução de desperdício, contribuindo para a sustentabilidade financeira das empresas (ZHAO *et al.*, 2019).

Além disso, a literatura também aponta que a inteligência artificial pode contribuir para a melhoria das condições de trabalho dos funcionários, permitindo que os trabalhadores se concentrem em tarefas que exigem habilidades mais especializadas (BRYNJOLFSSON e McAfee, 2014). Por fim, quanto ao seu papel na dimensão ambiental, estudos indicam que a inteligência artificial pode ser utilizada para otimizar o consumo de energia e a gestão de resíduos, reduzindo o impacto ambiental da manufatura (WANG *et al.*, 2018).

3. TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE E INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é um conceito tecnológico que surgiu na Alemanha em 2011, e tem como objetivo aprimorar a produção industrial por meio da utilização de tecnologias avançadas, como IoT, Big Data e computação em nuvem (FORSCHUNGSUNION, 2013). Além das tecnologias mencionadas, a inteligência artificial (IA) também é uma importante contribuição para a manufatura na Indústria 4.0 (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 2022; Gartner, 2019). Através da análise de dados em tempo real, a IA pode otimizar a produção, melhorar a qualidade do produto e reduzir custos (ACCENTURE, 2019). Além disso, a IA também pode ser usada para identificar e corrigir possíveis problemas na produção antes mesmo que eles ocorram, aumentando a eficiência e reduzindo desperdícios (PWC, 2018).

A IA pode ser empregada na manufatura em diversas áreas, incluindo a manutenção preditiva e a robótica avançada (Accenture, 2019). A manutenção preditiva utiliza sensores e algoritmos para prever possíveis falhas em equipamentos, permitindo que sejam reparados antes de afetarem a produção (PWC, 2018). Essa abordagem aumenta a disponibilidade dos equipamentos e reduz o tempo de inatividade, contribuindo para a eficiência produtiva (ACCENTURE, 2019). Já a robótica avançada possibilita a utilização de robôs equipados com IA para realizar tarefas complexas e variadas, adaptando-se rapidamente às mudanças na produção e aumentando a flexibilidade da linha de produção (FORSCHUNGSUNION, 2013).

As recomendações para implementação da Indústria 4.0 apresentadas ao governo federal alemão em 2013 foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar a eficiência e competitividade da produção industrial alemã no mercado global (BAUERNHANS� *et al.*, 2014). No entanto, é preciso considerar que a sustentabilidade deve estar presente em todas as etapas do processo produtivo, desde o design até a distribuição dos produtos (WITJES *et al.*, 2016). É importante destacar que as tecnologias da Indústria 4.0 devem ser aplicadas de forma responsável e sustentável (TAO *et al.*, 2018). É fundamental garantir que os benefícios da produção inteligente sejam alcançados sem prejudicar o meio ambiente ou a segurança dos trabalhadores (BAI *et al.*, 2020). Portanto, é necessário pensar em soluções que possam garantir um equilíbrio entre a eficiência produtiva e a preservação ambiental (SACCO *et al.*, 2020). O avanço tecnológico não pode estar dissociado da preocupação com a sustentabilidade. É preciso, assim, buscar soluções que atendam às necessidades do presente sem comprometer o bem-estar das gerações futuras em todas as suas dimensões, promovendo a inclusão social, a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico sustentável.

A Indústria 4.0 é considerada uma evolução natural da revolução industrial que ocorreu no século XVIII, com a introdução das máquinas a vapor (SCHWAB, 2016). A segunda revolução industrial, no início do século XX, foi marcada pela produção em massa e pela eletrificação. A terceira revolução industrial, na década de 1970, trouxe a automação e a tecnologia da informação (RIFKIN, 2011). Agora, a quarta revolução industrial, com a Indústria 4.0, está trazendo a integração de sistemas, máquinas e pessoas, por meio da conectividade (CONCEIÇÃO *et al.*, 2022). Ela promove uma mudança radical na forma como a produção industrial é realizada, com a introdução de tecnologias que permitem uma comunicação mais eficiente e uma melhor utilização de dados (HERMANN *et al.*, 2016). A internet das coisas (IoT) permite que os dispositivos se comuniquem entre si, criando uma rede inteligente que é capaz de coletar e transmitir dados em tempo real. O Big Data, por sua vez, é capaz de processar e analisar grandes quantidades de dados, gerando informações valiosas para tomada de decisão (LI *et al.*, 2018). Além disso, a Indústria 4.0 promove a integração de sistemas, permitindo que as informações sejam compartilhadas entre diferentes áreas da empresa, otimizando a produção e reduzindo o tempo de resposta.

A Indústria 4.0 promove a integração de sistemas, permitindo que as informações sejam compartilhadas entre diferentes áreas da empresa, otimizando a produção e reduzindo o tempo de resposta (TEIXEIRA; TEIXEIRA, 2022; WANG; WANG, 2021). A computação em nuvem permite o acesso remoto a esses dados, tornando possível o trabalho colaborativo em tempo real (GARG *et al.*, 2020).

Ela tem um forte foco na segurança e na confiabilidade dos sistemas, com a introdução de tecnologias avançadas de segurança cibernética e de backup de dados (PETER *et al.*, 2019). Isso garante que as informações estejam protegidas contra-ataques e falhas, mantendo a produção em pleno funcionamento.

A indústria 4.0 é uma revolução tecnológica que está transformando a produção industrial em todo o mundo, tornando-a mais eficiente, colaborativa e segura (TEIXEIRA, 2021; KAGERMANN *et al.*, 2013). A sua implementação pode ser um grande desafio para as empresas, mas traz grandes benefícios em termos de competitividade e eficiência no mercado global (HANSEN *et al.*, 2018). Ela é uma estratégia de alta tecnologia que visa melhorar a eficiência e a sustentabilidade da produção industrial (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2020). Embora a sustentabilidade não esteja diretamente ligada à Indústria 4.0, ela pode ser alcançada ao otimizar a produção e incorporar conceitos de responsabilidade social e ambiental (MÜLLER *et al.*, 2018). Além disso, a Indústria 4.0 pode levar a processos mais eficientes e lucrativos que são social e ambientalmente responsáveis (KÜHLMANN *et al.*, 2021).

Países como Estados Unidos, Alemanha e China estão entre os líderes mundiais que estão renovando suas indústrias para a Indústria 4.0. A estratégia americana é conhecida como Manufatura Avançada, na China, como Made in China, e na Alemanha, como Indústria 4.0 (WANG *et al.*, 2017). A Indústria 4.0 incorpora um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet, com o objetivo de tornar os sistemas de produção mais eficientes, flexíveis e sustentáveis (VORSTIUS *et al.*, 2019). Ao incorporar tecnologias avançadas, como IoT e Big Data, é possível promover um equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental, que são fundamentais para o desenvolvimento sustentável (TEIXEIRA *et al.*, 2022; UN, 1987).

Nesse sentido, a Indústria 4.0 pode ser uma importante aliada na busca por processos mais eficientes e sustentáveis em diversos setores, incluindo transporte, logística e agricultura (BRAGA *et al.*, 2020). Além disso, o tripé da sustentabilidade, que integra as três dimensões citadas, pode ser uma ferramenta importante para avaliar o desempenho econômico, social e ambiental de uma organização (ELKINGTON, 1997). Dessa forma, a Indústria 4.0 pode ser uma estratégia importante para promover um futuro mais sustentável, quando combinada com o tripé da sustentabilidade (BRAGA *et al.*, 2020).

O conceito de Triple Bottom Line (TBL) está diretamente relacionado ao modelo do tripé da sustentabilidade e ao Manifesto sobre a Sustentabilidade da ONU. Segundo Elkington (1997), o TBL é um conceito que propõe que as empresas avaliem seu desempenho não apenas com base em seus

lucros financeiros, mas também em seu impacto social e ambiental. O tripé da sustentabilidade é um modelo holístico que busca equilibrar as dimensões econômica, social e ambiental para alcançar o desenvolvimento sustentável (WCED, 1987).

O Manifesto sobre a Sustentabilidade, lançado pela ONU em 1987, definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer o bem-estar das gerações futuras em todas as suas dimensões: econômica, social e ambiental (WCED, 1987). Esse manifesto enfatizou a necessidade de um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável, levando em conta as necessidades das gerações presentes e futuras.

O TBL é uma ferramenta importante para as empresas avaliarem seu desempenho em relação às dimensões econômica, social e ambiental do tripé da sustentabilidade, em linha com as recomendações do Manifesto sobre a Sustentabilidade. Segundo Elkington (1997), ao considerar as três dimensões de maneira integrada, as empresas podem promover um desenvolvimento sustentável e equilibrado, atendendo às necessidades do presente sem comprometer o bem-estar das gerações futuras.

Em outras palavras, o TBL refere-se ao "triplo resultado", ou seja, a ideia de que as empresas devem medir seu desempenho não apenas com base nos lucros financeiros, mas também em relação ao seu impacto social e ambiental. Dessa forma, o TBL enfatiza a importância da sustentabilidade em todas as suas dimensões, e não apenas do ponto de vista financeiro (Elkington, 1997).

Portanto, o TBL e o tripé da sustentabilidade estão diretamente relacionados, uma vez que ambos enfatizam a importância da sustentabilidade em todas as suas dimensões. Ao adotar o conceito de TBL, as empresas podem avaliar seu desempenho não apenas em relação ao lucro financeiro, mas também em relação ao seu impacto social e ambiental, o que está em linha com o tripé da sustentabilidade. Dessa forma, o TBL pode ser visto como uma ferramenta importante para promover a sustentabilidade em todas as suas dimensões e contribuir para um desenvolvimento sustentável a longo prazo. (TEIXEIRA *et al.*, 2022; ELKINGTON, 1997; WCED, 1987).

4. MARKETING VERDE E SUSTENTABILIDADE

O marketing verde, conforme Kotler *et al.* (2017), é uma estratégia que pode contribuir para a promoção da sustentabilidade no mercado. Essa abordagem tem se tornado cada vez mais relevante em um contexto em que a sociedade busca alternativas mais conscientes e responsáveis em relação ao meio ambiente e à sociedade, como apontado por Silva, Teixeira e de Araújo Brito (2022). Nesse

sentido, a consideração do tripé da sustentabilidade, que engloba as dimensões social, ambiental e econômica, é essencial para alcançar o equilíbrio necessário para o desenvolvimento sustentável e para a sobrevivência e sucesso das empresas a longo prazo, conforme defendido por Elkington (1998).

Nesse contexto, a responsabilidade social corporativa é uma parte importante do marketing verde, pois envolve o compromisso permanente das empresas em adotar um comportamento ético e contribuir para o desenvolvimento econômico, melhorando simultaneamente a qualidade de vida de seus empregados, suas famílias, a comunidade local e a sociedade em geral, como afirma Carroll (1991). A norma ISO ABNT NBR 26000 é uma referência importante para a prática da responsabilidade social empresarial e pode ser uma ferramenta útil para as empresas que desejam adotar práticas sustentáveis e promover o marketing verde. Para fundamentar a importância do marketing verde, é possível citar Kotler *et al.* (2017), que afirmam que essa estratégia tem como objetivo promover produtos ou serviços que sejam ambientalmente corretos e sustentáveis (BARBOSA; SILVA; TEIXEIRA, 2022). A adoção do marketing verde é uma tendência crescente no mercado, pois a sustentabilidade é um tema cada vez mais importante no contexto atual, com a sociedade buscando alternativas mais conscientes e responsáveis em relação ao meio ambiente e à sociedade.

Além disso, pode-se mencionar a importância do tripé da sustentabilidade, que envolve as dimensões social, ambiental e econômica, como mencionado por Elkington (1998). O equilíbrio entre essas dimensões é fundamental para a promoção do desenvolvimento sustentável e para a sobrevivência e sucesso das empresas a longo prazo.

No que diz respeito aos "4 Ss" do marketing verde, pode-se citar Carroll (1991) para fundamentar a importância da aceitação social dos produtos e serviços, uma vez que a empresa deve ser capaz de demonstrar que seus produtos e serviços são socialmente responsáveis e compatíveis com as expectativas da sociedade. Além disso, a norma ISO ABNT NBR 26000 pode ser mencionada como uma referência importante para a prática da responsabilidade social empresarial, que é uma parte importante do marketing verde.

5. SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL E ISO 14000

Nos últimos anos, tem-se observado uma crescente preocupação da sociedade em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade. Nesse contexto, o *marketing* verde surge como uma estratégia fundamental para as empresas que desejam se destacar no mercado e se alinhar às novas demandas dos consumidores. Segundo Kotler *et al.* (2017), o marketing verde consiste em promover produtos

ou serviços que sejam ambientalmente corretos e sustentáveis. Essa estratégia tem como objetivo mostrar aos consumidores que a empresa se preocupa com o meio ambiente e com a sociedade em que está inserida, e que busca oferecer soluções que minimizem o impacto ambiental de seus produtos ou serviços.

A adoção do *marketing* verde tem se tornado uma tendência cada vez mais forte no mercado, e empresas de diversos setores têm investido em estratégias de marketing que valorizem a sustentabilidade. Isso se deve, em grande parte, à mudança de comportamento dos consumidores, que estão cada vez mais preocupados com questões ambientais e sociais. O marketing verde também pode trazer diversos benefícios para as empresas que o adotam. Além de contribuir para a construção de uma imagem positiva da empresa perante a sociedade, essa estratégia pode gerar economias significativas em termos de recursos naturais e de redução de resíduos (SILVA; TEIXEIRA; DE ARAÚJO BRITO, 2022).

No entanto, é importante destacar que a adoção do marketing verde não deve ser vista apenas como uma estratégia de *marketing*, mas sim como um compromisso da empresa com a sustentabilidade e com a responsabilidade social. É fundamental que as empresas sejam transparentes em relação às práticas sustentáveis que adotam, e que essas práticas sejam de fato efetivas em termos de redução de impacto ambiental e de contribuição para a sociedade. Além disso, pode-se mencionar a importância do tripé da sustentabilidade, que envolve as dimensões social, ambiental e econômica, como mencionado por Elkington (1998). O equilíbrio entre essas dimensões é fundamental para a promoção do desenvolvimento sustentável e para a sobrevivência e sucesso das empresas a longo prazo (TEIXEIRA, 2021).

O marketing verde tem como meta promover produtos ou serviços que sejam ambientalmente corretos e sustentáveis, e essa estratégia é cada vez mais importante no contexto atual, em que a sociedade busca alternativas mais conscientes e responsáveis em relação ao meio ambiente e à sociedade (KOTLER *et al.*, 2017). Para garantir a efetividade do marketing verde, é necessário considerar os "4 Ss", que incluem a sustentabilidade, a satisfação do cliente, a segurança e a aceitação social (PEATIE, 2010). A aceitação social dos produtos e serviços é um aspecto fundamental do marketing verde, uma vez que a empresa deve ser capaz de demonstrar que seus produtos e serviços são socialmente responsáveis e compatíveis com as expectativas da sociedade (CARROLL, 1991). Nesse sentido, a prática da responsabilidade social empresarial é uma parte importante do *marketing* verde.

A norma ISO ABNT NBR 26000 pode ser mencionada como uma referência importante para a prática da responsabilidade social empresarial, que envolve o comprometimento da empresa em agir de forma ética e transparente em relação aos impactos sociais, ambientais e econômicos de suas atividades (ABNT, 2010). Para fundamentar a importância da série ISO 14000 na gestão ambiental das empresas, pode-se citar a *International Organization for Standardization* (ISO) como a principal responsável por essa coleção de padrões. Conforme destacado por Roorda e Lacerda (2003), a série ISO 14000 é uma importante ferramenta para aprimorar a gestão ambiental nas organizações e proporcionar maior eficiência na prevenção e redução dos impactos ambientais decorrentes das atividades empresariais.

Além disso, para evidenciar a relevância do SGA na série ISO 14000, pode-se citar a obra de Oliveira e Santos (2013), que apresenta um panorama detalhado dos padrões dessa série, destacando o SGA como um conjunto de procedimentos e políticas para gerenciar os impactos ambientais das atividades de uma organização, bem como fornecer uma estrutura para implementar e manter práticas ambientais sustentáveis.

Por fim, para referenciar a importância da auditoria ambiental e da rotulagem ambiental na série ISO 14000, pode-se citar as obras de Lopes *et al.* (2019) e Krajnc e Glavič (2005), respectivamente, que apresentam uma visão mais detalhada desses padrões e sua aplicação nas empresas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre os conceitos da produção industrial humana e a sustentabilidade no terceiro milênio apresenta desafios e oportunidades para as empresas. A partir da pesquisa bibliográfica realizada, constatou-se que a sustentabilidade é fundamental em três aspectos fundamentais: social, ambiental e econômico.

A Indústria 4.0, a Manufatura e o Marketing Verde apresentam soluções inovadoras e redução de impactos ambientais e sociais, enquanto o Tripé da Sustentabilidade destaca a importância da responsabilidade social, da preservação ambiental e da viabilidade econômica.

A reflexão e a proposição de soluções que levem em consideração o equilíbrio entre esses três pilares são essenciais para uma manufatura mais consciente, responsável e integrada aos interesses da sociedade e do planeta. É importante que todos os agentes envolvidos na produção industrial estejam engajados nessa busca por soluções sustentáveis e inovadoras, de forma a construir um futuro mais equilibrado e próspero para todos. Portanto, as soluções inovadoras e sustentáveis para o processo

de fabricação de bens já são demandas no presente e serão ainda mais no futuro humano. Por isso, é necessário investir em tecnologias e práticas sustentáveis, de modo a garantir a continuidade das atividades produtivas, preservando a qualidade de vida e o meio ambiente.

A conscientização e a responsabilidade das empresas, juntamente com a regulamentação governamental, são fundamentais para garantir uma produção industrial mais responsável e integrada ao desenvolvimento sustentável. Para avançar nesse sentido, sugere-se a realização de pesquisas com abordagem de pesquisa-ação, com o objetivo de propor intervenções no ensino de engenharia nas universidades. Dessa forma, os estudantes podem ser atualizados sobre as novas exigências da indústria e preparados para atender às demandas do mercado. Isso promove o desenvolvimento da indústria e a inovação tecnológica, aumentando a competitividade brasileira nos mercados interno e externo.

Diante dos discursos apresentados sobre a relação entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade, fica evidente que as empresas precisam compreender a importância dessa conexão e considerar a relação custo-benefício e o retorno do investimento a nível social e ambiental. Além disso, é importante superar os desafios sociais e econômicos para a implantação das novas tecnologias, o que pode ser alcançado por meio de investimentos provenientes de créditos de carbono ou outras fontes de gestão sustentável com credibilidade internacional.

Nesse contexto, é fundamental que haja uma intervenção no ensino para capacitar os futuros profissionais a atender às demandas do mercado e contribuir para o desenvolvimento da indústria sustentável dentro do conceito de *Triple Bottom Line* (TBL). Portanto, sugere-se a continuidade do estudo por meio de uma pesquisa-ação com uma abordagem efetiva para propor intervenções no ensino, visando a formação de profissionais capazes de utilizar as inovações tecnológicas com impacto no país.

Por fim, é importante ressaltar que a conexão entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade é um desafio que requer o envolvimento de todos os agentes da cadeia produtiva, desde os gestores até os consumidores finais. Somente por meio de um esforço conjunto é possível construir uma indústria mais sustentável e responsável socialmente, contribuindo para a construção de um futuro mais equilibrado e próspero para todos.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR ISO 26000: diretrizes sobre responsabilidade social. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ACCENTURE. Intelligent Industry. 2019. Disponível em: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-96/accenture-intelligent-industry-brochure.pdf. Acesso em: 03 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 26000: diretrizes sobre responsabilidade social. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BAI, C.; XU, X.; LIU, H.; ZHANG, L. Sustainable development of Industry 4.0: Cross-case analysis of the China National Innovation Demonstration Zone. *Journal of Cleaner Production*, v. 244, p. 118551, 2020.

BARBOSA, Mariana Oliveira; SILVA, Priscilla Chantal Duarte; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez. Aço verde e a sustentabilidade na produção de ferro-gusa. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, p. e022018-e022018, 2022.

BAUERNHANS, T.; HOMMEL, G.; VOGEL-HEUSER, B. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien und Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.

BORGES, R. et al. Industry 4.0 technologies for sustainable manufacturing: a review of recent advances. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, p. 120607, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120607>.

BRAGA, J., Carvalho, H., & Silva, J. (2020). A Indústria 4.0 e a sustentabilidade: uma análise bibliométrica. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 9(3), 934-949.

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company, 2014.

CARROLL, Archie B. The pyramid of corporate social responsibility: toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, v. 34, n. 4, p. 39-48, Jul./Aug. 1991.

CONCEIÇÃO, Isabella Carolina et al. Os discursos sobre a indústria 4.0 no setor de estampagem da indústria automobilística: uma revisão sistemática da literatura. *Revista de Casos e Consultoria*, v. 13, n. 1, 2022.

COSTA, L. M. *Segurança na manufatura: análise ergonômica em uma linha de montagem de uma indústria moveleira*. 2021. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

COSTA, M. S. A manufatura humana no terceiro milênio: tendências e desafios. *Revista de Tecnologia Aplicada*, v. 8, n. 2, p. 17-24, 2019.

CRESWELL, J. W. *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications, 2014.

- DAVIS, M.; EDISON, H. The Benefits and Drawbacks of Human vs. Automated Manufacturing. Thomasnet, 2021. Disponível em: <https://www.thomasnet.com/articles/other/the-benefits-and-drawbacks-of-human-vs-automated-manufacturing/>. Acesso em: 3 mai. 2023.
- DE OLIVEIRA, Sabrina Julian et al. Logística reversa: a destinação acertada de baterias de smartphones no Brasil. Revista de Casos e Consultoria, v. 12, n. 1, p. e26337-e26337, 2021.
- EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. Academy of management review, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- EJETA, G.; ZHOU, W.; JIN, X.; WANG, P.; QIU, G.; LE, T. 3D printing technology for sustainable manufacturing. Journal of Cleaner Production, v. 261, p. 121098, 2020.
- ELKINGTON, John. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. Oxford: Capstone, 1998.
- FAN, J. et al. Application of Artificial Intelligence in Additive Manufacturing: State of the Art and Outlook. IEEE Access, v. 6, p. 75502-75513, 2018.
- FORSCHUNGSUNION. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2013.
- GARG, R. K. et al. A review of artificial intelligence in industry 4.0: opportunities and challenges. Journal of Advanced Research, v. 23, p. 1-13, 2020.
- GARG, S. K. et al. Fog computing based industry 4.0 architecture. In: 2017 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP). IEEE, 2017. p. 1-6.
- GARTNER. Gartner top 10 strategic technology trends for 2019: Discover the technology trends that are redefining business, 2019. Disponível em: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>. Acesso em: 03 maio 2023.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. Editora Atlas, 2010.
- GONÇALVES, D. M.; MACHADO, A. V. Manufatura Humana Sustentável: Uma Proposta Conceitual. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 15, n. 2, p. 183-206, 2019.
- HANSEN, H. et al. Impacts of industry 4.0 on lean production systems. In: 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). IEEE, 2018. p. 1559-1563.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review. Working Paper, Technische Universität Dortmund, Dortmund, 2016.
- HOU, Y. et al. Optimization of energy consumption in sustainable manufacturing using machine learning: a review. Journal of Cleaner Production, v. 316, p. 126141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126141>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14000 - Environmental management. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>. Acesso em: 03 maio 2023.

JABBOUR, C. J. C. Normatização ambiental: benefícios e dificuldades para as empresas. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 136-149, 2010.

KAGERMANN, H. et al. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI-Nachrichten*, v. 44, n. 02, p. 23-23, 2013.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 working group. *Forschungsunion*, 2013.

KLEIN, A. et al. *Sustainable Manufacturing: Challenges and Solutions*. John Wiley & Sons, 2020.

KLEIN, L. et al. 3D Printing and Sustainable Development Goals: Review and Potential Impacts. *Sustainability*, v. 11, n. 6, p. 1-18, 2019.

KOTLER, Philip et al. *Marketing 4.0: do tradicional ao digital*. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.

KRAJNC, D.; GLAVIČ, P. Environmental management and ISO standards: survey of Slovenian companies. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 10-11, p. 1075-1082, 2005.

KÜHLMANN, T. et al. Industry 4.0: Sustainability aspects and challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 289, p. 125776, 2021.

LI, S.; XU, L.; WANG, X.; ZHANG, S. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

LIAO, Y. et al. Combining 3D printing, industry 4.0, and sustainable manufacturing: A review and outlook. *Journal of Cleaner Production*, v. 310, p. 127776, 2021.

LIAO, Y. et al. *Sustainable Manufacturing*. Springer, 2021.

LOPES, E. B. et al. Environmental auditing: A critical review of the literature and an agenda for future research. *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 30-43, 2019.

MACCARI, E. A. et al. Inteligência artificial na manufatura humana: desafios de segurança e ética. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação*, v. 8, n. 3, p. 20-33, 2020.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. O que é sustentabilidade? 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agenda-ambiental-urbana/sustentabilidade/o-que-e-sustentabilidade>.

MOHANTY, R. P.; JENA, S. K.; BISWAL, M. P.; DEHURY, P. P.; MISHRA, B. Sustainable manufacturing practices: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 5, n. 10, Part 3, p. 22338-22345, 2018.

MÜLLER, J. M. et al. Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis. *Sustainability*, v. 10, n. 9, p. 3208, 2018.

NANDY, S. et al. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Springer, 2021.

OLIVEIRA, F. et al. Intelligent manufacturing: Industry 4.0 and beyond. Journal of Industrial and Production Engineering, v. 36, n. 3, p. 129-147, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1080/21681015.2018.1556365>.

OLIVEIRA, J. M. et al. O uso da inteligência artificial na manufatura humana: uma revisão sistemática da literatura. Revista de Engenharia Industrial, v. 3, n. 1, p. 47-58, 2019.

OLIVEIRA, L. H.; SANTOS, E. M. ISO 14000: um estudo de caso sobre sua implantação. Revista Gestão Industrial, Paraná, v. 9, n. 3, p. 9-29, 2013.

ONU. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso futuro comum: Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Editora Fundação Getúlio Vargas, 1987.

PATEL, S. Manufacturing: Human vs. Non-Human. Medium, 2020. Disponível em: <https://medium.com/@smilepatel/manufacturing-human-vs-non-human-4d677b3cd8a4>. Acesso em: 3 mai. 2023.

PEATIE, S. Ready to Fly Solo? Reducing Social and Environmental Impacts in the Creation of a New SME Brand. Journal of Business Ethics, v. 94, n. 1, p. 81–103, 2010.

PETER, Y. et al. Industry 4.0: State of the art and future trends. Journal of Industrial Information Integration, v. 18, p. 100141, 2019.

PWC. Industry 4.0: Building the digital enterprise. PwC Strategy&, 2018. Disponível em: <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry4-0/building-digital-enterprise-industry4-0>. Acesso em: 03 maio 2023.

REIS, L. C. et al. Sustentabilidade na Indústria: uma revisão sistemática da literatura. Cadernos EBAPE.BR, v. 17

RIFKIN, J. The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World. New York: Palgrave Macmillan, 2011.

ROORDA, E.; LACERDA, L. D. A. ISO 14001: the business case. Journal of Cleaner Production, v. 11, n. 6, p. 621-624, 2003.

SACCO, M.; ALAM, M. M.; BOUCHARD, K. et al. Sustainability in Industry 4.0: A review of the literature and implications for sustainable development. Journal of Cleaner Production, v. 263, p. 121575, 2020.

SANTOS, L. C. G. et al. Os desafios da Indústria 4.0 na manufatura: uma revisão sistemática. Produção em Foco, v. 10, n. 1, p. 55-71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21569/producaemfoco.2020.v10i1.4484>.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. New York: Crown Business, 2016.

SHAHIN, T. et al. A framework for smart additive manufacturing: The role of industrial internet of things, big data analytics, and machine learning. Journal of Manufacturing Systems, v. 49, p. 194-201, 2019.

SILVA, Priscilla Chantal Duarte; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez; DE ARAÚJO BRITO, Max Leandro. Atuação do marketing verde em campanhas publicitárias de empresas de cosméticos: uma abordagem analítica e linguística da metaforização do verde: green marketing in cosmetics companies advertising campaigns: an analytical and linguistic approach to the metaphorization of green. *Revista de Gestão Social e Ambiental-RGSA*, v. 16, n. 2, p. e02996-e02996, 2022.

SILVA, E. A.; SANTOS, R. P. A importância do marketing verde na sustentabilidade empresarial. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., 2021, Belo Horizonte. Anais eletrônicos... Belo Horizonte: UFMG, 2021. Disponível em:

http://www.ic.ufmg.br/~evoa/wpcontent/uploads/2021/11/Artigo_Erica_Aline_Silva_e_Ricardo_Pereira_Santos.pdf.

SINGH, M. et al. Industry 4.0: A perspective of emerging trends in engineering. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, v. 11, n. 3, p. 6-11, 2020.

SOARES, M. M. S. Manufatura sustentável: uma revisão da literatura e proposição de um modelo. 2019. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-13082019-173551/publico/2019_MileneMolinaSoares.pdf.

TAO, F.; ZHANG, L.; VENKATESH, V.C. et al. Promises and challenges of Industry 4.0: A bibliometric study. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

TEIXEIRA, C. H. S. B.; TEIXEIRA, R. L. P. Convergences between circular economy and Industry 4.0 practices. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 1-18, 2022.

TEIXEIRA, Cynthia Helena Soares Bouças et al. The circular economy in the age of the 4th industrial revolution—the use of technology towards transition. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 22, n. 4, p. 64-89, 2022.

TEIXEIRA, C. H. S. B. A economia circular na era da 4ª revolução industrial – uso da tecnologia rumo à transição. 2021. Monografia (Especialização em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/38579>. Acesso em: 03 maio 2023.

TEIXEIRA, R. L. P. et al. Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil. *The Brazilian Journal of Development*, v. 5, n. 12, p. 2525-8761, 2019.

VAN HOORN, J. F. et al. Industry 4.0 as a driver for sustainable manufacturing: a review. *Sustainable Production and Consumption*, v. 19, p. 1-9, 2019.

VORSTIUS, J. et al. Industry 4.0 as an enabler of circular economy: A systematic literature review. *Sustainability*, v. 11, n. 22, p. 6377, 2019.

WANG, X. et al. Industrial Internet of Things-based manufacturing: A case study of the intelligent workshop. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 7, p. 14-21, 2017.

WANG, Y.; WANG, L. Towards Industry 4.0: A comprehensive review of the opportunities, challenges, and applications. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, p. 123337, 2021.

WANG, Z.; JIN, Y.; ZHAO, L.; TANG, L.; ZHANG, Y.; HU, Y. An artificial intelligence approach to energy efficiency optimization for sustainable manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, v. 196, p. 1565-1576, 2018.

WCED. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

WITJES, S.; SCHLICHTER, F.; HELLWIG, R.T. Towards sustainable Industry 4.0: An overview and research agenda for ecological and social sustainability. *Technology in Society*, v. 47, p. 145-154, 2016.

XU, X. et al. A new paradigm for human-centred sustainable manufacturing: Human-system integration, product-service systems, and circularity. *Journal of Cleaner Production*, v. 291, p. 125598, 2021.

ZHANG, L. et al. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 15, p. 4-13, 2019.

ZHAO, F.; WANG, J.; SONG, Q.; LI, L.; ZHANG, D. Application of artificial intelligence in sustainable manufacturing: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 208, p. 1017-1038, 2019.

ZHOU, J. et al. A review of the use of computer vision in robotic manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 69, p. 255-265, 2021.

Capítulo 3



10.37423/230507702

PRODUCT ENGINEERING: DEVELOPMENT OF STAND-UP PADDLE BOARD FOR WHEELCHAIR USERS, A LOOK AT ACCESSIBILITY

Pedro Paulo Dantas da Silva

Jorge Amado University Centre



Abstract: *The practice of sports for people with disabilities is the philosophy of enforcement and rehabilitation principles at the highest level. The Stand Up Paddle is one of the most complete sports and provides a variety of benefits to people in general and for people with some kind of disability. The aim of this study is to present the benefits that the use of the adapted board Stand Up Paddle can provide individuals with neurological injury with motor sequelae, through the study and development of tailored product that enables the inclusion of the above in the aquatic sports, in addition to assist them in the process of recovery and rescue of the senses, optimizing their treatment. The development of this board optimizes the participation of individuals in that sport, reducing risk, improving performance, recovering self-esteem and providing collective reintegration through a designed and tailored product exclusively for the public who has some type of disability, respecting and dialoguing with their proper characteristics.*

1. INTRODUCTION

Relying on the advent of technology and its apparatus, the product engineer has the role of creating, transforming and improving any product in addition to keeping it in operation. Thinking about human need and customer satisfaction, product engineering aims to develop products in order to meet ergonomic, visual and functional aspects in a way that provides safety and quality. According to Chiavenato (2005), product development is the area that takes care of all the studies and research on creation, adaptation, improvement and amelioration of products produced by the company. Thanks to product development, innovations arise: pioneer products, partial or total modifications to existing ones, new features and technologies, different components, etc.

To build a product, you need to know what to do, who to do it for, when to do it, what to do it with and how to do it. According to Rozenfeld (2005), the development of a new product occurs through a business process, the PDP - Product Development Process, which starts from the identification of a market need subsequently transformed into a new product. For this to happen, first it is necessary to translate the market need, the technological possibilities and limitations into design specifications for a product and its production process. With the increasingly competitive market, companies are being forced to become flexible in regard to production, acting more strategically in carrying out surveys of factors that may sound like imminent opportunities and threats imposed by the external environment.

This means creating differences between your product and those of competitors. It is not necessary to introduce radical differences, if only because most companies will not be willing to take risks by banking on such radical differences. It is necessary, however, to introduce differences that consumers can notice. And that requires practicing creativity at all stages of product development, from identifying an opportunity up to the production engineering. (BAXTER, 2000, p. 26).

Also thinking about social wellbeing, product engineering is concerned with developing products to serve a certain group, which is people with disabilities, aiming at minimizing secondary disabilities, the integration of the individual in society and the acceptance of a special public in the market, also covering a series of benefits that integration in the sport will provide in assisting with the recovery of the senses. However, serving people with physical disabilities entails a high cost for production, and therefore products intended for this public are considered inaccessible, in addition to the existence of numerous obstacles that people with disabilities are constantly subjected to due to physical restrictions.

In order to develop specific products for this public, there is the definition of adaptation given by NBR 9050, which says that it is the space, building, furniture, urban equipment or element whose original characteristics were later changed to become accessible.

Accessibility is the possibility and condition of reach, perception and understanding for the safe and autonomous use of spaces, furniture, urban equipment, buildings, transport, information and communication, including its systems and technologies, as well as other services and facilities open to the public. For public or private collective use, both in urban and rural areas, by people with disabilities or with reduced mobility. (NBR, 9050).

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2010) “studies indicate that currently around 45 million Brazilians have some type of disability”. Faced with the need to develop a more accessible product (in order to reach the public - which is undeniably significant - by building their loyalty), the indispensability of serving them arises, respecting their emerging demands and specificities, adhering to an inclusive discourse that seeks equity through the adaptation of a product, responding to the desires of a market that is always on the move. With the aim of promoting accessibility to the practice of sports, this project aims to develop a product capable of enabling the wheelchair user to practice Stand Up Paddle, which is a form of surfing with the help of a paddle.

2. METHODOLOGY

In the methodological process of developing new products, it is necessary to plan, through techniques and methods, what the objective is, who it is intended for and how it will be executed. The responsibility of the designer or project team extends throughout the process, from the establishment of design specifications to detailed instructions for manufacture, use, disposal or deactivation, as well as paying special attention to safety and the environment.

The methodology, according to Hugo Lagranha (1996), is a specialized activity of a technical-scientific, creative and artistic nature, with a view to the conception and development of designs of objects and visual messages that systematically equate ergonomic, technological, economic, social, cultural and aesthetic details, which precisely meet the human needs.

Munari (1998) reports that “the design method is a series of necessary operations, arranged in a logical order, with the aim of achieving the best result with the least effort”.

The systemic development of products, associated with process technology, will allow for reduction in the use of material and energy inputs, the optimization of production and the prediction of ways to

dispose of the product at the end of its useful life. Such factors punctuate the power to synthesize the vision of the productive chain and the global conception of the product, which involves from strategic and productive aspects, to technological aspects. New products are goods or services that differ significantly in their characteristics or intended uses from products previously produced by the company. For the definition of new products, the famous systemic development must be considered, as well as the identification of the needs of customers, users, consumers and entrepreneurs, transforming all the data collected in the research into attributes for these products, whether they are: appearance, shape, function, material, packaging, label, colour, flavour, aroma, brand, image and services (after-sales and warranty). These attributes must be linked to the innovation.

Consequently, this article will adopt the methodology proposed by Rozenfeld (2006). According to the model proposed by Rozenfeld (2006), the PDP (product development process) can be divided into 3 macrostages: Pre-Development, Development and Post-Development; where such macrostages are subdivided into stages and activities, as illustrated in figure 1.



Figure 1 - General vision of model of PDP, according to ROZENFELD, Henrique et al, 2006, p. 44

The author suggests that the three macrostages be subdivided into the following activities: informational design, conceptual design, detailed design, preparation for production and product launch. Among the existing activities in the proposed design methodology, activities from the conceptual design will be contained in the detailed design (table 1).

Table 1 – Stages of product development, Own author, 2016.

Stages	Activities
Informational Design	Definition of Product Problem Briefing Survey and Analysis of Manufacturing Tasks Analysis of Similar Products Design Requirements and Constraints Definition of Product Specifications
Conceptual Design	Detailing of the subsystems
Detailed Design	Product Configuration

The informational design stage aims to define all the necessary information so that the product under development is able to meet the needs and expectations of customers, informing the specifications known as target specifications that it must present. Then, in the conceptual design, the product conception is outlined, presenting the existing alternatives for solving problems to be avoided; subsequently, the selection of the best suggested proposals is made, which must meet the pre-established criteria, exposing in this case an abstract conception of the product. Finally, it is the turn of the detailed project, where all the specifications that the product must present are exposed to then be sent to the production itself. In this step, the final layout of the product is configured. Environmental factors actively participate in the development of any product, assigning limits of wear and tear to nature. According to Manzini and Vezzoli (2002), sustainability refers to the use of natural resources without exceeding their regeneration capacity, always allowing their renewal to happen naturally.

3. PRODUCT DEVELOPMENT

3.1 INFORMATIONAL PROJECT

After defining the product, it is necessary to proceed to the informational project stage, where the necessary information will be defined so that the product meets the needs of consumers. The activities carried out in this stage will be dealt with later.

3.1.1 DEFINITION OF THE PRODUCT PROBLEM

People with spinal cord injuries, due to their limited conditions, have several altered motor functions that lead them to a sedentary lifestyle and sport has been considered a unique resource in rehabilitation programs for people with physical disabilities, as it allows the individual to use their abilities and learn skills that will contribute to their performance in favour of their rehabilitation potential. Sport also collaborates in the prevention of secondary disorders and in the social, physical and psychological rehabilitation of people with disabilities.

The problem found in the definition of the product is characterized due to the fact that people who use wheelchairs, to enjoy the Stand Up Paddle sport, need some adaptations that make their physical integrity and well-being vulnerable, thus culminating in the urgency of improving the existing product so that it can offer safety and efficiency to potential users. The current systems and procedures used to practice the sport expose some negative aspects, mainly in its production/installation for wheelchair users. The following Figure 2 elucidates the main problems observed.

The practice illustrated in Figure 2 is extremely harmful for wheelchair users, as it puts their physical integrity at risk, after all, that board was not designed to serve a wheelchair, which is made of sharp material and can slide on it at any time; it also doesn't offer any stability to the user; it demands from the person with a disability a greater effort in handling the paddle, after all they will be at an inadequate height and in an unfavorable position for the movement and dynamics necessary to use it; the wheelchair and its composing material will be compromised in the medium term by being in contact with sea water; in addition to the imminent risk of an accident and, in this case, the individual would be exposed to greater risks, since the wheelchair could injure him and/or even result in a second injury, all these factors compromise the performance of the person practicing the modality.



Figure 2 - Wheelchair user improvises the personal use wheelchair on a board.

www.cantinhodoscadeirantes.com.br, 2016.

When analyzing the Stand Up Paddle boards, it was possible to identify that in the improvised fixation of the wheelchair several problems stand out where using it in this improvised way does not provide safety, mobility and comfort to the wheelchair user. It is necessary to avoid such problems from proposed solutions to produce a new product. Accordingly, the following needs are listed:

- Need for a chair designed for the board;
- Eliminate or minimize the possibility of the board turning over;
- Dimensions suitable for wheelchair users;
- Stability of the board at sea;
- Safety for the SUP practitioner;
- Use of equipment that prevents using a wheelchair for daily use, preventing its wear and tear;
- Appropriate aesthetics for conventional Stand Up Paddle boards;
- Reduction of physical effort required for paddling.

3.1.2 ANALYSIS OF SIMILAR PRODUCTS

After evaluating the task, it is necessary to analyze similar products in order to suggest proposals that can be used in the future. In order to make the least number of failures to the adapted board, several products can be mentioned. Similar boards, illustrated below, were analyzed.

Among the similar products presented, the EPS board can be highlighted, considering that it is very functional. Boards made of EPS block (Styrofoam) are the significant majority on the market today.

They are cutting-edge materials that reflect on the quality and price of the board. Recently the trend, also among imported boards, is the use of vacuum lamination, which gives a better finish and greater strength to the board. It is important that the board has a breather valve – this is a piece that allows the EPS block to “breathe”, reducing the effects of heat on it.



(a) EPS Board



(b) Carbon Board



(c) Inflatable Board



(d) Plastic board



(e) Wooden Board

Figure 3 - Analysis of similar products. Own author, 2016.

3.1.3 ANTHROPOMETRIC STUDY

For the adapted board to be effective, it must have some fundamental characteristics, which will offer quality and usefulness to the product, making it essential. In this way, there are the requirements and restrictions that must be taken into account when designing the product. According to Almeida (2006), the description of design requirements and constraints must take into account several items that the product must meet, such as technical, usability and ergonomic requirements.

It is worth mentioning that the product to be produced must have dimensions that are compatible with the ergonomic needs of a wheelchair user, since it will not be necessary to change the chairs, but only adjust them to the body measurements of each user. As for the dimensional requirement, anthropometric data must be taken into account in order to maintain adequate dimensions of the chair versus the board and, consequently, the movement of the wheelchair user.

According to the IBDD (Brazilian Institute for the Rights of People with Disabilities), the use of a wheelchair imposes limits on the execution of tasks by making it difficult to approach objects and reach elements above and below the radius of action of a seated person. The difficulty in front and lateral twisting of the trunk suggests the use of a comfort range between 0.80m and 1.00m for activities that require continuous manipulation, as shown in figure 4. The shape of the board must be such that it is visually pleasing, without being influenced in the assembly and disassembly of the accessories. The fitting of the accessories on the board must have high level sealing to prevent infiltration, in addition, the way of joining the parts together must be easy, practical and safe, avoiding future risks and facilitating maintenance.

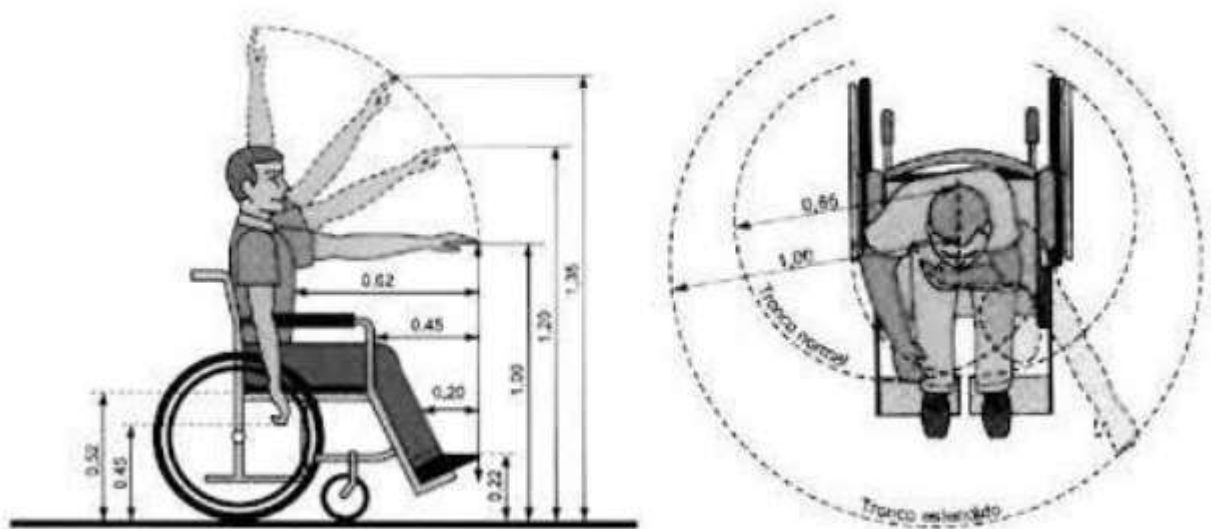


Figure 4 - Anthropometric data of the wheelchair user.

<http://www.ibdd.org.br/arquivos/acessibilidade.pdf>, 2002.

In addition to anthropometric issues, product dimensions can be interfered by material selection and suitability to board standards for SUP practice. Bearing in mind that the wheelchair user intends to make the most out of the adapted board, it is necessary that the board be produced with a material that provides the minimum necessary safety and comfort. With regard to design restrictions - technical characteristics, it is essential to highlight the material with which the product will be manufactured.

According to Lima (2006), some aspects must be analyzed in order to help in the selection of the most appropriate material, which are distributed in five groups: Operation, use, manufacture/commercialization, ecology, standards and legislation. In this way, it is suggested the use of an expanded polystyrene - EPS, as it is, in addition to being resistant, an environmentally possible element to be recycled, being able to meet the design requirements. Vacuum coating is indicated, which will provide even more strength to impacts and infiltration. The seat attachment points for the wheelchair user must also have perfect sealing.

The dimensions of the boards currently used and suitable for SUP practitioners were surveyed, and the product under development must be produced in compliance with such sizes, in order to make it possible to use it properly.

4. CONCEPTUAL DESIGN

In order to define the final specification of the product, it is essential to detail the subsystems, that is, to analyze all the parts that will make up the product under development. In the case of the production of a board for wheelchair users, the existing subsystems are: board, chair, stabilizer and paddle.

The board will have its dimensions altered to accommodate a chair suitable for people with disabilities, in its center there will be fixing points with aluminium plates – a suitable material since it is stainless, light, low cost, and therefore accessible - in addition there will also be movable stabilizers on the sides of the board in order to offer the user of the new board the assurance of greater stability, thus avoiding the risk of the board tipping over with the wheelchair user. In the centre there will be an EPS chair, with an adjustable seat to adjust to users, taking into account different weights and girths (table 2).

Table 2 - Needs X Concept Design. Own author, 2016.

NEEDS	CONCEPT DESIGN
Need for a chair designed for the board	Install attachment points between the chair and the board
Eliminate or minimize the possibility of the board tipping over	Install movable lateral stabilizers for the board.

Wheelchair user-friendly dimensions	Meet the anthropometric dimensions of wheelchair users
Surfboard stability at sea	Adaptation of a special paddle for wheelchair users
Safety for the Stand Up Paddle participant	Meet the anthropometric dimensions of wheelchair users to ensure the stability and safety of the user
Use of equipment that avoids handling the wheelchair on a daily basis, preventing wear and tear	Avoid the provisional installation of wheelchairs on the boards and apply suitable material - resistant to the sea air, in the production of the board
Appropriate aesthetics to conventional Stand Up Paddle boards	Avoid the provisional installation of wheelchairs on the boards.
Reduction of physical effort required for paddling	Application of anthropometric dimensions of wheelchair users and adaptation of paddle.

With regard to the paddle, having as a parameter its conventional length - whether it is adjustable or fixed - which has a minimum height of 1.70 m and its material is usually common or coated aluminium. Based on studies carried out at storage and leasing points of boards commonly called “*guarderías*”, in Salvador, height incompatibility for wheelchair users is identified with regard to ergonomic aspects. The new paddle measurement must not exceed 1.30m, whether it is adjustable or not, and it is recommended that its composition be made of balsa wood, as it is a light, durable material with a low and viable cost-benefit ratio.

Figure 8 shows a balsa wood paddle, which has a very special aesthetic aspect, in addition to being lightweight and durable. These paddles are made of glued wood blocks and receive a resin treatment to make them waterproof.



Figure 5 - Adapted balsa wood paddle. <http://remo-stand-up.com.br>, Own author 2016.

The paddle illustrated in figure 8, according to ergonomic considerations, is considered ideal for wheelchair users, and has specifications as shown in the table below. The measurement established for the adapted paddle was concluded through studies with people who row when seated, where its size (1.30m) can be adjustable or not.

Table 3 - Specifications of the paddle adapted for wheelchair users. Own author, 2016.

SIZE	1.30 m (meters)
HANDLE	in "T"
WOOD	Raft
FINISHING	Fiberglass and PU varnish

4.1 DETAILED PROJECT

After selecting the best alternative generated for each subsystem, it was possible to draw up a sketch, helping to visualize the final configuration of the product to be developed. Figure 9 shows the outline of the proposed adapted Stand Up Paddle board, built based on the best alternatives for each subsystem and measurements.

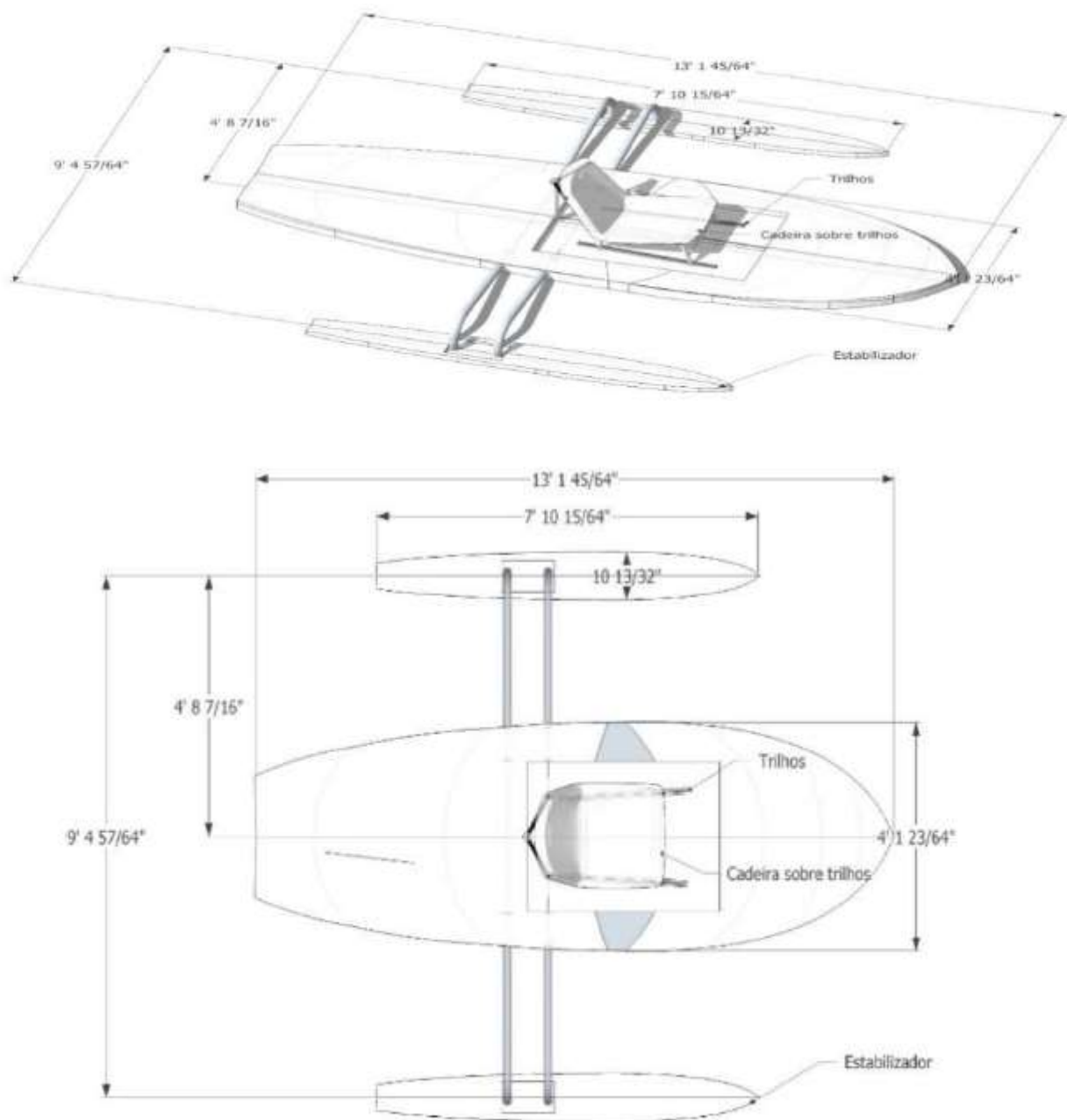


Figure 6 - Sketch of adapted board, top side view. Own author 2016.

5. FINAL CONSIDERATIONS

It is known that the life of a person with a disability is full of difficulties in terms of logistics, the routine itself is already made up of a series of obstacles that they need to face in order to obtain a minimum of quality of life and dynamism due to symptomatic unpreparedness and negligence of a society that does not have an inclusive and pluralistic character. Accessibility is an emerging need that has been gaining strength and backlash in recent decades, however the absence of public policies and remedial measures in instances that apply to their daily lives is notorious. When this is applied to the reality of

sports, the situation worsens, in sports these obstacles are reinforced and, to the detriment of this, access and permanence of people with disabilities in sports is rare. Currently, if a wheelchair user wants to practice Stand Up Paddle, it is necessary to attach the wheelchair to the board so that it is attached using improvised ropes.

When it comes to adapted or inclusive products, it is possible to observe several existing projects, due to the high demand for these products since we are already living at a time of increased debate of the needs of previously neglected minorities, in addition to the fact that the product developed, minimally affects or does not significantly affect the environment in a negative way and benefits an audience that until recently the market did not contemplate.

The work presented recommends that, *a posteriori*, the design be improved and materialized for the commercialization of the product that could serve as a mechanism of assistance to the wheelchair user public, as a subsidy to engage and move a specific market, also providing advantages to local “*guarderías*” in the city of Salvador in the short term, but the objective is also to expand to capitals and coastal cities that are home to the practice of Stand Up Paddle with the conventional board, the opportunity to join an inclusive and accessible market through the acquisition of the adapted product, increasing its range of reachable public.

6. REFERENCES

- Sercel. (2015). *Conheça as diferenças entre o plástico e fibra de vidro*. [online] Available at: <http://www.sercel.com.br/blog/fibra-de-vidro-blog/conheca-as-diferenca-entre-os-materiais-de-plastico-e-fibra-de-vidro.html> [Accessed 06 Jun. 2016].
- Garcia, V 2011, *Censo 2010 reforça desafio do Brasil em dar uma vida digna aos deficientes*, Deficiente Ciente. [online] Available at: <https://www.deficienteciente.com.br/censo-2010-reforca-desafio-do-brasil-em-dar-uma-vida-digna-aos-deficientes.html> [Accessed 06 Jun. 2016].
- AbcMed (2013). *Paraplegia: o que é? Quais os tipos e as causas? Como é o tratamento?* [online] ABCMed. Available at: <https://www.abc.med.br/p/348059/paraplegia-o-que-e-quais-os-tipos-e-as-causas-como-e-o-tratamento.htm> [Accessed 13 Apr. 2016].
- www.camara.leg.br. (n.d.). *Portal da Câmara dos Deputados*. [online] Available at: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=198210> [Accessed 06 Jun. 2016].
- Octaviano Taiu Bueno. (n.d.). *Octaviano Taiu Bueno: Biografia*. [online] Available at: <http://octavianotaiubueno.blogspot.com/p/biografia.html> [Accessed 16 Jun. 2016].
- Chiavenato, I. (2005). *Gestão de Pessoas*. 9th edn. Rio de Janeiro, RJ: Campus, p. 528.
- Ezio Manzini, Vezzoli, C. and Astrid De Carvalho (2002). *O desenvolvimento de produtos sustentáveis os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo, SP: Edusp.
- CLIQUET JÚNIOR, ALBERTO et al. (2004). *Avanços tecnológicos na prática ortopédica: análises de membros superiores e inferiores*.
- FORCELLINI, Fernando Antonio. (2003) in *Projeto Conceitual*. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina: Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos,
- LIMA, Marco Antonio Magalhães. (2000) in *Introdução aos Materiais e Processos Para Designer*. 1st edn. Rio de Janeiro, RJ: Editora Moderna.
- MUNARI, Bruno. (2015) in *Das coisas nascem coisas*. São Paulo, SP: Martins Fontes.
- CLIQUET JÚNIOR, ALBERTO et al. (2005). *Respostas cardio-respiratórias em pacientes com traumatismo raquimedular*. São Paulo, SP.
- ALMEIDA, Maurício Robbe de. (2006). *Definição de Materiais no Design de Produto*. Manaus –AM.
- Baxter, M. (2011). *Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos*. São Paulo: E. Blucher.
- H Rozenfeld (2006). *Gestão de desenvolvimento de produtos uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. (2002). *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas.

Capítulo 4



10.37423/230507722

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS VIA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA

David Brandão Nunes

Centro Universitário Uninassau

Munique Fante

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Laís Vieira de Souza

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Marlova Piva Kulakowski

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Francisco Manoel Wohnrath Tognoli

Universidade do Vale do Rio dos Sinos



Resumo: A espectroscopia de reflectância é uma técnica amplamente utilizada, com aplicações, por exemplo, na caracterização de rochas e minerais, solos e vegetação. Porém as pesquisas desta técnica aplicada a construção civil ainda são superficiais. A aplicação da técnica para caracterização de diferentes materiais é devida as mudanças das feições de absorção nos variados comprimentos de ondas, que são específicas para cada material; e com isso é possível reconhecer diferentes composições químicas e até mesmo variações de concentração. Portanto, a utilização desta técnica, para a caracterização de materiais e resíduos com potencial emprego na construção civil, pode se tornar uma alternativa viável em pesquisas e desenvolvimento de novos produtos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o ensaio de espectroscopia de reflectância em materiais cimentícios suplementares e resíduos, observando diferentes comportamentos espectrais. Para tanto, foram utilizados os seguintes materiais: cimento CP-V, clínquer, fíler calcário, metacaulim, resíduo cerâmico, cinza volante, cinza de casca de arroz e resíduo da lapidação do vidro. Os resultados mostram que cada um dos materiais estudados possui padrão espectral distinto, corroborando com as diferentes composições químicas. Demonstrando que a espectroscopia de reflectância é uma técnica eficaz para a diferenciação destes materiais, além de ser rápida, eficaz e não destrutiva.

Palavras-chave: espectroscopia de reflectância, resíduos, materiais cimentícios suplementares.

1. INTRODUÇÃO

A concentração de CO₂ no mundo vem aumentando nas últimas décadas, sendo que a média mensal global apresentou um aumento superior a 40ppm entre os anos 2000 e 2018 ⁽¹⁾. Ao estudarmos o processo de fabricação do cimento Portland, verificamos que resultam na emissão de gás carbônico. Estes são indicados como responsáveis por 5 a 7% das emissões de gás carbônico mundiais ⁽²⁾

A redução do fator clínquer pela incorporação de materiais cimentícios suplementares (MCS) é uma estratégia eficaz para a redução dessas emissões, com uma previsão de 37% de redução no fator clínquer até o ano de 2050 ^(3,4). Os MCS podem ser caracterizados como fíleres ou pozolanas, normalmente, provenientes de resíduos de outros ramos de atividade, como o resíduo de cerâmica vermelha e a cinza de casca de arroz. Ao incorporarmos diferentes materiais ao cimento, sua composição química é modificada, podendo acarretar em reações diferenciadas. Portanto, é necessária uma boa caracterização do material a se incorporar.

Ao abrangermos técnicas de sensoriamento remoto, verificamos que sua utilização na área da construção civil ocorre há mais de 30 anos. No entanto, a caracterização e identificação de materiais é ainda limitada, principalmente em relação à utilização de sensores proximais com maior resolução espectral ⁽⁵⁾. Com o intuito de uma melhor caracterização e utilização de diferentes técnicas, o presente estudo visa avaliar a técnica de espectroscopia de reflectância em materiais cimentícios e resíduos, observando as variações no comportamento espectral.

1.1. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE MATERIAIS CIMENTÍCIOS

A espectroscopia de reflectância é uma técnica que permite caracterizar diferentes materiais, observando as variações nos padrões de reflectância das bandas espectrais em variados comprimentos de onda. Baseia-se no princípio de incidência de iluminação sobre uma determinada superfície e registro do espectro da luz refletida para extração das respostas espectrais que são sensíveis à composição do material estudado. A utilização do espectrorradiômetro para fazer as medições das curvas espectrais permite obter resultados de forma rápida, sem custo elevado e não destrutiva ⁽⁶⁻⁸⁾.

Na área da construção civil verificamos a utilização deste equipamento para diferentes fins. Zahiri et. al.⁽⁵⁾ utilizaram a caracterização espectral para classificar concretos de acordo com a relação água-cimento e prever a sua densidade. Em estudo realizado por Sridhar et. al.⁽⁹⁾, foi investigado o efeito de diferentes práticas construtivas nas características espectrais do concreto. Schneider dos Santos et.

al.⁽¹⁰⁾ aplicaram essa técnica para diferenciar a resistência à compressão de materiais cimentícios. No entanto, os materiais suplementares que são incorporados ao cimento não possuem uma caracterização espectral específica.

Em grande parte dos trabalhos que utilizam espectrorradiômetros portáteis o intervalo dos comprimentos de onda dos detectores varia de 0,4 a 2,5 micrômetros (μm). O comprimento de ondas do visível ao infravermelho proximal (VNIR), que corresponde ao intervalo de 0,4 a 1,0 μm , é utilizado para avaliar a presença do íon férrico que é associado a óxidos e hidróxidos. Já o infravermelho de ondas curtas (SWIR), que corresponde ao intervalo de 1,0 a 2,5 μm , indica feições de absorção de hidroxilas e carbonatos ⁽⁶⁾.

Ao analisar o padrão espectral da presença de água em amostras, nota-se características específicas das bandas próximas a 1,4 e 1,9 μm ⁽⁹⁻¹¹⁾. No entanto, a presença de carbonato apresenta suas particularidades principalmente nas bandas próximas a 2,3 μm ^(9,12). Quando há a identificação de ferro na composição, existe uma diferenciação entre autores. A reflectância característica deste material é representada entre 0,6 e 1,1 μm , e centrada aos 0,85 μm (9) ou, para outros autores, no comprimento de onda de 0,54 e 0,84 μm , mas essas variações podem ser referentes a diferentes íons férricos analisados ⁽¹³⁾. A presença de caulinita pode ser verificada com absorção dupla na banda referente ao comprimento de onda de 2,2 μm ⁽¹⁴⁾.

Ao falarmos em concreto, as modificações na reflectância características são em 0,45, 1,38 e 1,85 μm ⁽⁹⁾. E a hidratação do concreto pode ser verificada acompanhando as bandas entre 1,4 a 1,5 e 1,85 a 2,15 μm ⁽⁹⁾.

A presença de areia na composição química da amostra aumenta a reflectância total da curva espectral. Isso é justificado pela presença de quartzo, que apresenta alta taxa de reflectância⁽¹⁰⁾. Portanto, a presença de areia composta por quartzo não modifica o comportamento espectral, somente a aumenta a reflectância. Além disso o mineral quartzo apresenta feições diagnósticas nos comprimentos de ondas próximo de 10 μm ⁽¹⁵⁾.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

O cimento utilizado para esse estudo foi o cimento Portland V –ARI (CPV). De acordo com a NBR 16697⁽¹⁶⁾, é permitido de 0 a 10% de material carbonático neste cimento, não contendo adições pozolânicas. O clínquer (CL), proveniente da cidade de Rio Branco, Acre, também foi empregado no estudo.

Os materiais cimentícios suplementares utilizados foram:

- Cinza volante (CV) proveniente da Usina Termoelétrica de Candiota, localizada a sudeste do Rio Grande do Sul.
- Resíduo de cerâmica vermelha (RCV) originário da cidade de Arroio do Meio, localizada no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul. O fabricante informou que o processo de queima dos blocos ocorre em temperatura controlada, de 700 a 750°C. Os resíduos foram secos em estufa a 100 ± 5°C por 24 horas e submetidos a processos de beneficiamento.
- Metacaulim (MK) comercial.
- Fíler calcário calcítico (FC) proveniente de mineradora da região Jacuí Centro, na cidade de Vila Nova do Sul, Rio Grande do Sul.
- Cinza de casca de arroz (CCA) originária da geração de energia em termoelétrica oriunda da cidade de Alegrete, Rio Grande do Sul.
- Resíduo da lapidação do vidro (RLV) proveniente de uma fábrica de vidros na cidade de Teresina, Piauí.

Os materiais utilizados para esse estudo foram previamente empregados no programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio Sinos⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ e caracterizados no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais, na Universidade do Vale do Rio Sinos (LCVMat). A composição química, realizada através do ensaio de Fluorescência de Raio-X (FRX), está indicada na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de FRX para os materiais em estudo.

Parâmetros	CPV	CL	CV	RCV	MK	FC	CCA
SiO ₂	16,65	18,01	64,70	58,07	50,83	12,67	95,39
Al ₂ O ₃	2,58	4,60	20,97	17,16	37,96	3,59	0,18
Fe ₂ O ₃	4,25	2,81	7,50	16,03	3,22	1,70	0,06
MgO	1,88	7,17	1,28	0,62	0,99	1,09	0,01
P ₂ O ₅	0,09	0,05	ND	0,11	0,24	0,12	0,1
SO ₃	2,12	1,15	0,16	ND	ND	ND	0,57
K ₂ O	1,57	0,93	1,71	1,11	2,66	0,60	1,01
Na ₂ O	1,21	1,69	1,73	0,47	0,12	0,49	ND

CaO	60,92	62,25	1,03	0,56	0,11	44,13	0,33
TiO ₂	0,51	0,21	0,86	2,33	1,16	0,24	0,01
MnO	0,15	0,05	ND	0,26	0,01	0,06	0,2
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	ND	ND	ND	ND	ND
ZnO	0,04	0,04	ND	ND	ND	ND	ND
SrO	0,36	0,10	ND	ND	ND	0,12	ND
PF	7,65	0,92	0,06	3,28	2,72	35,18	2,13

ND – não detectado

PF – perda ao fogo

O resíduo da lapidação do vidro foi caracterizado somente qualitativamente, devido a não existência de um padrão para esse material no laboratório ensaiado. Os elementos que apresentaram quantidade entre 50% a 5% são o Ca e Si e quantidade inferior a 5% são: Sc, S, Fe, K, Al, Sr. Não apresentando elementos majoritários, com quantidade superior a 50%.

2.2. MÉTODOS

A análise das amostras através da técnica da espectroscopia de reflectância foi feita com um espectrorradiômetro de alta resolução SPECTRAL EVOLUTION, modelo SR-3500, que realiza leituras no intervalo de comprimento de ondas do visível ao infravermelho de ondas curtas (0,35 a 2,5 μ m), registrando os valores de 1019 bandas espectrais. As medições foram feitas nos materiais puros pulverizados, sendo possível assim obter as curvas espectrais com as feições de absorção características de cada amostra.

Utilizou-se aproximadamente 8g de cada amostra para realizar as medições, que foram feitas através de um sensor de contato, que contém uma lâmpada de tungstênio de 5 watts de potência, que é ligado diretamente ao equipamento. As medições foram realizadas conforme a metodologia padrão, onde se obtém previamente um padrão de referência antes de iniciar as leituras. O equipamento pode ser configurado para que em cada leitura sejam realizadas diversas medidas, tendo como resultado final a médias destas. O tempo da obtenção para cada leitura é de aproximadamente 2 segundos para o aparelho configurado em 30 medidas sucessivas. Foram realizadas três leituras em cada amostra, e a análise final das curvas espectrais é equivalente à média destas três leituras, garantindo assim uma maior confiabilidade nos resultados.

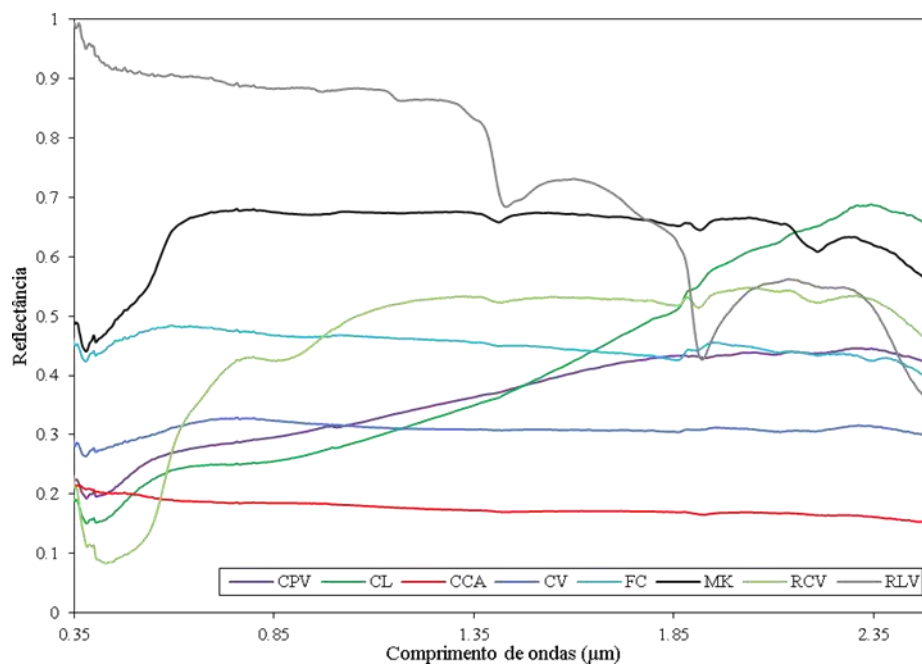
O processamento dos dados utilizando a função de remoção do contínuo, que auxilia nas análises das feições de absorção, foi realizada no software ENVI. As análises gráficas dos dados, que são os valores

de comprimento de onda em função da reflectância, para os dados brutos e com remoção do contínuo, foram feitas no software Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

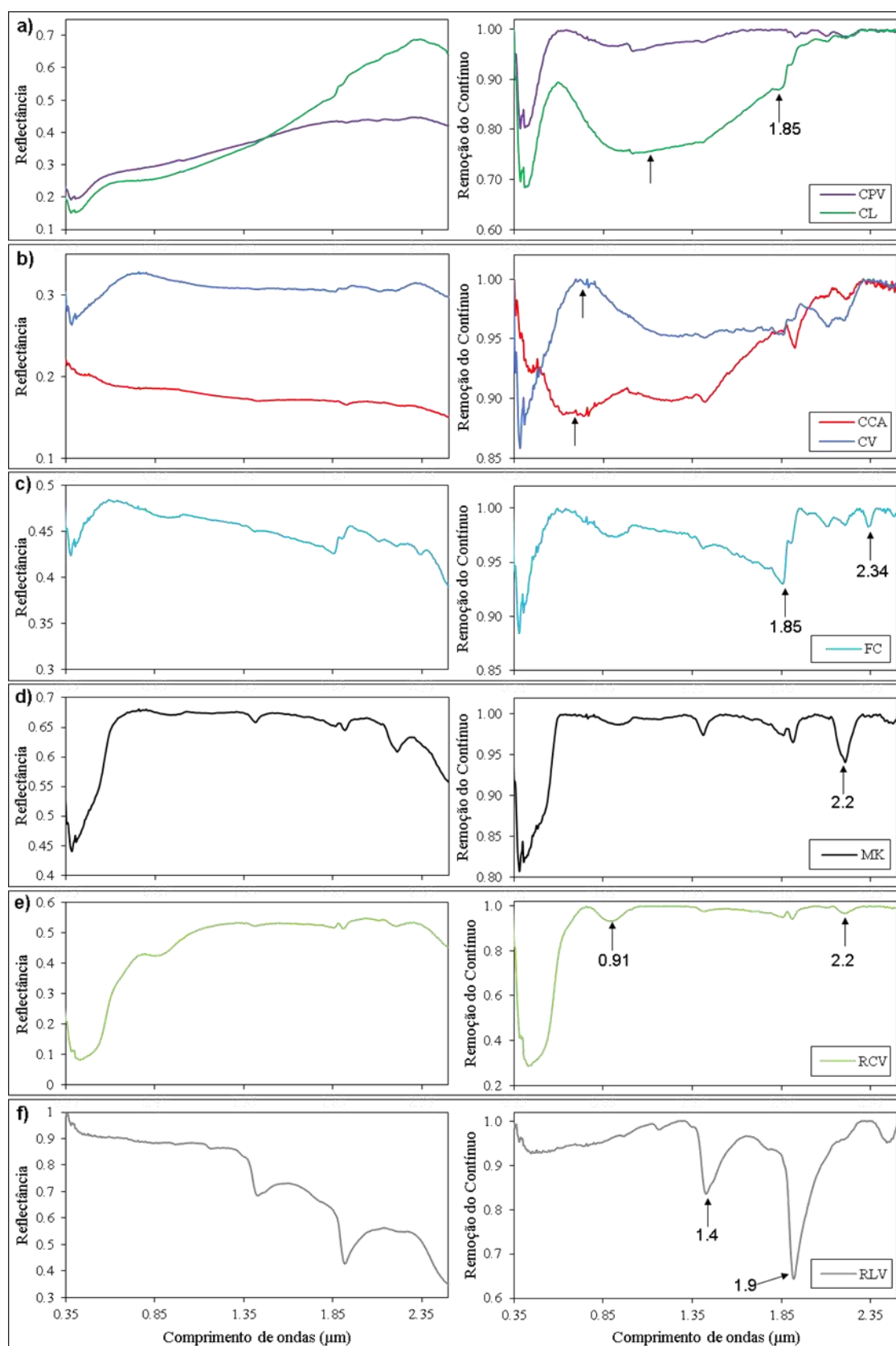
Para uma análise inicial dos resultados e interpretação dos dados espectrais de reflectância, gerou-se gráficos que relacionam os valores de comprimento de onda no intervalo de 0,35 a 2,5 μ m e a reflectância para todas as amostras puras e pulverulentas em estudo (Figura 1). Ao observar o padrão espectral dos 8 materiais nota-se variações nas intensidades de reflectância e diferentes feições de absorção para cada material. A reflectância máxima observada foi na amostra do RLV, com reflectância inicial da curva de 100%. Já a amostra com um padrão geral de baixa reflectância é CCA, que também não conta com feições de absorção pronunciadas.

Figura 1 – Curvas espectrais de reflectância dos materiais entre os comprimentos de onda de 0.35 a 2.5 μ m.



Buscando uma análise mais detalhada de cada curva e a identificação das feições de absorção que caracterizam cada material, foi feita uma análise individual das curvas, comparando o gráfico sem nenhum processamento (somente a relação entre o comprimento de onda e reflectância) e um gráfico com a remoção do contínuo (Figura 2). O processamento de remoção do contínuo isola as feições de absorção e as coloca em uma mesma escala para que elas possam ser comparadas (6,20). Com a remoção do contínuo as feições de absorção ficam em maior evidência, o que facilita identificar a sua posição no comprimento de onda dessas feições e interpretá-las.

Figura 2 – Curvas espectrais de reflectância (esquerda) e de remoção do contínuo (direita) com a identificação das principais feições de absorção. a) CPV e CL. b) CCA e CV. c) FC. d) MK. e) RCV. f) RLV.



Ao observar as curvas espectrais das amostras de CPV e CL (Figura 2a), nota-se que um padrão espectral semelhante até aproximadamente $1,35\mu\text{m}$. Porém, nos comprimentos de onda superior a esse valor, a amostra CL apresentou um aumento da reflectância, chegando a 70%, enquanto a amostra CPV mostra baixas feições de absorção no SWIR. Essa diferença do padrão espectral ficou evidenciado pela remoção do contínuo. Na curva de remoção do contínuo da amostra CL também foi possível identificar a feição de absorção em $1,85\mu\text{m}$, que já foi descrita em amostras de concreto ⁽⁹⁾. A maior diferença composicional para essas amostras está no teor de MgO (Tabela 1), sendo para o CPV 1,88 e para o CL 7,17, portanto, essa diferença composicional pode ter resultado na mudança do comportamento espectral para a amostra de CL.

As duas amostras de cinza CCA e CV (Figura 2b) apresentam baixa reflectância, com reflectância máxima de aproximadamente 35% na amostra CV. As amostras mostram um padrão espectral semelhante nos comprimentos de onda do SWIR. A principal diferença espectral entre os dois materiais é melhor observada na região do VNIR, onde a CCA inicia com uma reflectância superior em $0,35\mu\text{m}$ e decresce em direção ao SWIR. Já a CV possui um aumento de reflectância próximo a $0,85\mu\text{m}$, com um pequeno decréscimo, que continua constante até o SWIR. Essa oposição no padrão espectral no VNIR ficou melhor evidenciado nas curvas com remoção do contínuo.

A amostra FC (Figura 2c) também mostra um aumento da reflectância no visível, que diminui em direção aos comprimentos de onda do SWIR. Uma das feições de absorção diagnósticas está centrada em $1,85\mu\text{m}$, sendo uma feição evidente até mesmo sem a remoção do contínuo, diferente do observado na amostra CL (Figura 2a). Essa feição em $1,85\mu\text{m}$ é observada em concretos ⁽⁹⁾, onde foi descrito o padrão espectral do concreto de maneira geral, portanto observando as feições do FC, pode-se interpretar que essa feição já descrita na literatura pode ser referente ao material suplementar FC. Já a outra feição observada está centrada em $2,34\mu\text{m}$, sendo que as feições presentes nessa região do comprimento de ondas são características de minerais carbonáticos. No geral, as feições de carbonato podem ser distinguidas pela presença de duas feições espectrais proeminentes em torno dos comprimentos de onda $2,5\text{-}2,55$ e $2,3\text{-}2,35\mu\text{m}$ ^(6,21). A posição entre essas duas feições diagnósticas varia com a composição do carbonato principal, sendo que diversos estudos buscam a posição exata, principalmente de calcita e dolomita, nesses diferentes comprimentos de onda. Gaffey ⁽⁷⁾ considerou como feição característica para calcita as bandas em $2,53$ e $2,33\mu\text{m}$ e para dolomita $2,51$ e $2,31\mu\text{m}$. Como o FC em estudo é calcítico, a feição de absorção se mostrou condizente com o observado na literatura.

A curva espectral do MK (Figura 2d) mostra um aumento da reflectância no visível de aproximadamente 70% que se mantém constante até o SWIR. A feição de absorção diagnóstica com maior expressão está centrada em $2,2\mu\text{m}$, pode ser relacionada a hidroxilas e o seu posicionamento e profundidade da feição de absorção indica a qual íon essa molécula está relacionada. Segundo Hunt ⁽²²⁾ e Clark & Rouch ⁽²⁰⁾ a absorção nas regiões próximas a $2,2\mu\text{m}$ indicam a presença de argilominerais, como montmorilonitas, illitas e caulinitas. Para o mineral caulinita esperava-se uma feição diagnóstica de absorção dupla e bem pronunciada em $2,2\mu\text{m}$ ⁽²³⁾, porém a curva do MK mostrou uma única feição de absorção. Essa mudança pode ser devido à calcinação da amostra pura de caulim, que, com a calcinação ocorre uma mudança na estrutura cristalina da caulinita, com a perda dos hidróxidos.

A amostra RCV (Figura 2e) mostra um aumento da reflectância em direção ao SWIR, que se mantém constante nos comprimentos de onda superior. No VNIR existe uma feição de absorção diagnóstica centrada em $0,91\mu\text{m}$ e os óxidos de ferro têm características de absorção intensa em comprimentos de onda inferiores a $1,0\mu\text{m}$ ⁽²¹⁾. Ao observar a Tabela 1, nota-se que o material RCV é que o que apresenta o maior teor de Fe_2O_3 dentre as amostras em estudo. Sherman e Waite (24) estudaram as feições diagnósticas que diferenciam esses minerais, como a goetita e a hematita, sendo que a goetita apresenta feições diagnósticas em $0,917$, $0,650$, $0,480$ e $0,435\mu\text{m}$ e, a hematita em $0,885$, $0,650$, $0,530$ e $0,445\mu\text{m}$. Com isso, o RCV em estudo apresenta em sua composição o goetita. Existe também uma leve feição de absorção em $2,2\mu\text{m}$ que pode estar relacionado ao tipo de argila utilizada na fabricação da cerâmica, como por exemplo montmorilonitas ou illitas.

Já na análise da curva espectral referente ao RLV (Figura 2f), é observada uma alta reflectância, chegando a 100% nas bandas iniciais no visível. Isso é justificado pela elevada presença de sílica na sua composição, assim como quando há a avaliação da presença de areia quartzosa. Outro fator característico desta curva, são os picos bem definidos de água, em $1,4\mu\text{m}$ e $1,9\mu\text{m}$, que podem ser explicados pela granulometria inferior à fração silte do material, facilitando a absorção de água estrutural. As feições diagnósticas da molécula de água (H_2O) ocorrem na região do SWIR, e a banda de $1,9\mu\text{m}$ indica a presença de água molecular ou estrutural na amostra; muitas vezes essa banda está combinada com a banda de $1,4\mu\text{m}$, que é característica de hidroxilas (OH) ^(6,14,21,22).

4. CONCLUSÃO

A espectroscopia de reflectância se mostrou uma técnica eficaz de caracterização dos seis materiais cimentícios suplementares e resíduos em estudo. Foi possível identificar o padrão espectral que

caracteriza cada um dos materiais, que são distintos entre si. Notou-se também uma diferença no comportamento do CPV e CL, que reflete a diferença composicional entre os materiais.

Para estudos futuros pretende-se analisar os materiais cimentícios suplementares e resíduos provenientes de outras regiões, a fim de buscar possíveis mudanças no padrão espectral devido as diferentes fontes dos materiais. Verificar a interferência no padrão espectral característico de cada material e como isso observar a mudanças espectrais em concretos e derivados.

5. REFERÊNCIAS

1. NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). Global Monitoring Division. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html#global>> Acesso em 03 de Outubro de 2018.
2. ZHANG, C. et. al. Accounting process-related CO₂ emissions from global cement production under Shared Socioeconomic Pathways. *Journal of Cleaner Production*, v.184, p. 451-465, 2018.
3. WRAY, P. Straight talk with Karen Scrivener on cements, CO₂ and sustainable development. *American ceramic Society Bulletin*, v. 91, n. 5, p. 47–50, 2011.
4. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). *Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry*, 2018. 66p.
5. ZAHIRI, Z.; LAEFER D. F.; GOWEN A. The feasibility of short-wave infrared spectrometry in assessing water-to-cement ratio and density of hardened concrete. *Construction and Building Materials*, v.185, p.661-669, 2018.
6. CLARK, R. N. *Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing*. New York, p. 3-58, 1999.
7. GAFFEY, S.J. Spectral reflectance of carbonate minerals in the visible and near infrared (0,35-2,55 microns): calcite, aragonite, and dolomite. *American Mineralogist*, v.71, p. 151-162, 1986.
8. JARRAD, R. D.; BERG M. D. V. Sediment mineralogy based on visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Geological Society, London, Special Publications*, v.267(1), p. 129-140.
9. SRIDHAR, B. B. M. et. al. Identifying the effects of different construction practices on the spectral characteristics of concrete. *Cement and Concrete Research*, v.38, p. 538-542, 2008.
10. SCHNEIDER DOS SANTOS R.; ROLIM, S. B. A.; HEPP, F. Application of visible and near infrared spectroscopy in non-destructive evaluation of cement materials. *International Journal of Remote Sensing*, v. 36:3, p. 917-938, 2015.
11. VENQUIARUTO, S.; BERNARDINO DA SILVA, L.; DAL MOLIN, D. C. C. Influence of preloading-induced microcracking on the durability of concrete produced with different types of cement. *Construction and Building Materials*, v.189, p. 777-786, 2018.
12. KOTTHAUS, S. et. al. Derivation of an urban materials spectral library through emittance and reflectance spectroscopy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 94, p. 194-212, 2014.
13. BROOK, A.; BEN-DOR, E. Reflectance spectroscopy as a tool to assess the strength of high-performance concrete in situ. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, v.2(8), p. 169-188, 2011.
14. CLARK R. C. et. al. High Spectral Resolution reflectance spectroscopy of Minerals. *Journal of Geophysical Research*, v. 95(B8), p. 12,653-12,680, 1990.

15. CLARK, R. N. Reflectance spectra. Handbook of Physical Constants, p. 178-188, 1995.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
17. FERNANDES, A. J. M. M. Influência do teor de sílica e alumina no comportamento pozolânico de materiais cimentícios suplementares, São Leopoldo, 2018. 165p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio do Sinos.
18. FRÖHLICH, J. Estudos de hidratação de cimento composto por argila calcinada e carbonato de cálcio. São Leopoldo, 2018. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).
19. GUILLANTE P. Influência da cinza de casca de arroz e do resíduo de cerâmica vermelha na mitigação da reação álcali-agregado. São Leopoldo, Trabalho de conclusão de curso – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).
20. CLARK, R. N.; ROUSH, T. L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote-sensing applications. Journal of Geophysical Research, v. 89(B7), p. 8329-6340, 1984.
21. HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate Minerals. Modern Geology, v. 1, p.283-300, 1970.
22. HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in visible and near-infrared. Transactions-American Geophysical Union, v. 58(6), p. 553-553, 1977.
23. CLARK, R.N.; et. al. USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231, 2007.
24. SHERMAN, D. M.; WAITE, T. D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. American Mineralogist, v. 70, n. 11–12, p. 1262–1269, 1985.

Capítulo 5



10.37423/230507723

INFLUÊNCIA DO METACAU LIM EM CONCRETO CONVENCIONAL

David Brandão Nunes

Centro Universitário Uninassau

Rafaella Vitale

Centro Universitário Uninovafapi



1. INTRODUÇÃO

O concreto consiste em um material composto por um meio contínuo aglomerante, no qual mergulham-se partículas de agregados. O aglomerante mais comum utilizado, principalmente no Brasil, é o cimento Portland. Em relação aos agregados, são divididos em dois grupos, os agregados graúdos, podendo ser representado por britas com partículas maiores que 4,75 mm, e o grupo dos agregados miúdos, consistindo basicamente na areia. Hoje em dia, são adicionados ao concreto substâncias denominadas de aditivos, que objetivam modificar algumas características do concreto, visando facilitar a aplicação e melhorar a trabalhabilidade do mesmo ^[1].

O Sindicato Nacional da Indústria do Cimento ^[2] fez uma análise do consumo total de cimento no Brasil entre os anos de 1950 a 2012 apresentando um significativo aumento no decorrer dos anos. Os resultados apontaram que em 1950 o consumo total ficou em torno de 1,8 milhões de toneladas, quando comparados com os dados de 2012 esse número elevou-se significativamente para 71 milhões de toneladas, o que demonstra um crescimento estimado em 40 vezes. Desta forma, o cimento ganhou o status do segundo material de maior consumo no mundo, se tornando o material estrutural e de construção civil mais utilizado, sendo a água o primeiro material mais utilizado, além de também ter uso na confecção do concreto.

Os Estados Unidos e o Canadá, consideradas duas potências mundiais, acreditam que o investimento no estudo da estruturação do concreto é um importante investimento na área da ciência e tecnologia visando a obtenção e manutenção da qualidade de vida de seu povo, além da liderança na área industrial. Esses países entendem que um conhecimento aprofundado a respeito do concreto os posiciona e mantém a sua indústria na fronteira do conhecimento, o que assegura uma alta competitividade ^[3].

Outro ponto importante de destaque é que essa elevação na fabricação de concreto vem ocasionando graves problemas ambientais em todo o mundo. A queima da matéria prima gera quantidades significativas de CO₂, o que aumenta a poluição do ar, além de que a obtenção dessa matéria prima em grandes escalas gera processos de degradação ambiental ^[4].

Para obter-se concretos de alta resistência comumente usa-se pozolanas de alta reatividade, desta forma, o Metacaulim é uma adição mineral que visa suprir esse desejo de um concreto com melhor desempenho ^[5].

O uso de materiais pozolânicos diminui o uso do cimento, além de diminuir também o tamanho dos poros, com consequências sobre a permeabilidade, retração e fluência, melhorando propriedades relacionadas com a resistência à compressão, tração, flexão, dentre outros [6].

O uso de concreto com 60% de adições minerais mostra-se eficiente quanto à análise mecânica, onde as composições de cimento adicionado a minerais apresentaram resistências à compressão com valores maiores que 20MPa [7]. Sugerindo que há a possibilidade de obtenção do desempenho mecânico presente na NBR 6118/2014 [8] em estruturas de concreto mesmo que seja um concreto produzido com consumo de cimento abaixo do limite mínimo ditado pela NBR 12655/2015 [9].

Esses materiais pozolânicos são regulamentados pela norma NBR 12653/2012 [10] que apresenta o conceito e classifica esses materiais em três grupos denominados como classes (N, C e E), além da classificação quanto à origem (naturais e artificiais). Desta forma, o metacaulim está em concordância com a referida norma, inserido na classe N, sendo um material artificial. Existe também uma norma específica para esse mineral, a NBR 15894/2010 [11], que estabelece conceitos e requisitos visando a adequação do material produzido e comercializado no Brasil.

O Metacaulim, quanto às propriedades físicas é um material pulverulento de cor branca, com peso específico duas vezes menor que o cimento aproximadamente. A adição é constituída de sílica e de alumina na fase amorfa (vítrea), formando silicato de alumínio, que preencherão os vazios formados entre as partículas do cimento. O metacaulim é reativo com o hidróxido de cálcio presente no concreto durante o processo de fabricação, e essa ação reativa proporcionará reações químicas pozolânicas conferindo melhores propriedades ao concreto [12]. Outro fator que dá ao Metacaulim o poder de acelerar a reação pozolânica é o fato dele possuir um tamanho médio de 3µm, com quase 100% das partículas menores que 16µm, proporcionando uma elevada superfície de contato [13].

O uso deste aditivo mineral ao concreto tem um aprimoramento em diversas características, com uma particularidade na resistência à compressão, que apresenta um grande aumento nos primeiros dias [14]. A utilização do metacaulim aprimora as propriedades do concreto quando comparados com o concreto de referência, não apenas na questão da resistência mecânica, mas também quanto a resistência a agentes agressores [15]. Assim, a sua utilização como uma adição mineral, em substituição parcial do cimento em concretos e argamassas acarretará em menor demanda de cimento, e conseqüentemente amenizará os impactos ambientais com melhoramento de características essenciais do concreto.

O cimento comumente utilizado necessita de uma temperatura muito elevada para sua produção (valores até 1450°C), além de há a liberação de uma grande quantidade de CO₂ para formar o clínquer por meio da descarbonatação dos materiais que compõem o cimento. Já com a adição do metacaulim ocorrem processos que beneficiam o meio ambiente, pois a decomposição do caulim para formar a metacaulinita origina baixas quantidades de CO₂ ocorrendo em temperaturas mais amenas (entre 650°C a 750°C), além de não haver descarbonatação durante a queima pois a matéria-prima é um alumino silicato. Desta forma, um dos meios de atenuar o impacto ambiental ocasionado pela produção de cimento seria a redução de sua utilização, substituindo-o por minerais, especialmente o metacaulim ^[16].

Em estudo que utilizou-se metacaulim como substituição de 10% da massa de cimento, houve melhoria das propriedades do concreto em relação a outro concreto utilizado como referência. Desta forma, os autores concluíram que o metacaulim comporta-se como um material que pode ser utilizado aliado ao cimento ou até mesmo substituí-lo na confecção de um concreto com melhor desempenho e com maior durabilidade ^[4].

As propriedades no estado fresco e endurecido de concretos, argamassas metacaulim dependem do teor de adição em relação à massa de cimento, assim como da quantidade de adequada de outros materiais, como aditivos ^[17].

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Foram utilizados como materiais o cimento Portland CP II Z-32R como aglomerante, água potável proveniente da concessionária pública local, brita número 1 como agregado graúdo, areia média natural como agregado miúdo, Metacaulim HP ULTRA como adição mineral, utilizado na substituição de parte do cimento.

Foram propostos 5 traços a partir de um traço referência calculado por Barboza e Bastos ^[18], que aos 28 dias deve apresentar uma resistência à compressão de 30MPa. Com o intuito de tornar o traço mais aplicável em obras de pequeno porte, o aditivo hiperplastificante foi retirado do traço. Traço 1 definido como traço referência sem a substituição, Traço 2 substituição de 10%, Traço 3 com substituição de 20% e Traço 4 com substituição de 25%, escolhidos em proporções graduais para se conhecer o efeito da substituição do cimento por metacaulim. As quantidades dos materiais em cada traço encontram-se na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Materiais utilizados nos traços (kg)

Componentes	Traço TR - 0%	Traço T10 - 10%	Traço T20 - 20%	Traço T25 - 25%
Cimento CP II Z-32R	10,59	9,531	8,472	7,64
Água	7,38	7,38	7,38	7,38
Agregado graúdo (brita)	30,745	30,745	30,745	30,745
Agregado miúdo (areia natural)	30,585	30,585	30,585	30,585
Substituição mineral (Metacaulim)	-	1,059	2,118	2,647

2.2. EQUIPAMENTOS

Os aparelhos usados para a realização deste estudo foram todos do laboratório de materiais do Centro Universitário de Ensino Superior – UNINOVAFAPI, dentre eles betoneira, balança, estufa, além de baldes/recipientes, colher, moldes de corpos de prova e conjunto para teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone.

3. PROCEDIMENTOS PRÁTICOS

Os procedimentos utilizados têm por base o estudo de Nunes [19]. Após a separação de todos os materiais, os concretos foram produzidos e para cada tipo de concreto foi realizado o teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), de acordo com o estabelecido na NBR 67/1998 [20] e em seguida foram moldados os corpos de prova. Os ensaios de resistência à compressão axial, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 5739/2007 [21], e de absorção de água por imersão do concreto endurecido realizado, em concordância com a NBR 9778/2005 [22], foram realizados de acordo com as datas previstas em cada norma regulamentadora.

3.1. TRAÇO REFERÊNCIA (TRAÇO TR)

Realizou-se a limpeza dos equipamentos utilizados e pesagem de todos os materiais utilizados na confecção do traço, com auxílio de baldes e recipientes.

Para iniciar a mistura, colocaram-se todos os agregados (miúdo e graúdo) na betoneira, ligando-a em seguida até que os materiais estivessem bem misturados. Posteriormente, com a betoneira desligada, colocou-se cerca de 1/3 da água, religando a betoneira em seguida por 3 minutos. Após isso, desligou-se a betoneira e se adicionou o cimento e os 2/3 restantes da água, religando novamente a betoneira por 3 minutos. Após esse período acrescentou-se a água restante completando 3/3, ligando-se a betoneira onde misturou-se por mais 3 minutos.

Após a observação de uma mistura homogênea, seguiu-se com o teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone [20], onde foi possível obter uma melhor conclusão sobre a consistência e trabalhabilidade do concreto produzido. E por fim, fez-se a moldagem em corpos de prova (CP).

3.2. TRAÇOS COM SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR METACULIM

Igualmente ao subtópico anterior, fez-se necessário a limpeza dos equipamentos, bem como pesagem de todos os materiais utilizados.

Inicialmente, adicionaram-se todos os agregados (miúdo e graúdo) na betoneira, ligando-a em seguida até que os materiais estivessem bem misturados. Posteriormente, com a betoneira desligada, colocou-se cerca de $\frac{1}{3}$ da água, religando a betoneira em seguida por 3 minutos. Após isso, desligou-se a betoneira e acrescentou-se a quantidade de cimento desejada e $\frac{2}{3}$ de água religando a betoneira em seguida por 3 minutos. Por fim, desligou-se a betoneira e adicionou-se o Metacaulim específico para cada traço e os $\frac{3}{3}$ restantes da água, misturando-os por 3 minutos.

Após observação de uma mistura homogênea, realizou-se o teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone [20], e foram moldados os CPs. A Figura 1 mostra os corpos de prova com substituição de 25% nos moldes.



Figura 1 – Corpos de prova moldados

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. TESTE DE CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP TEST)

O teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone fornece dados no qual foi possível analisar a consistência do concreto em seu estado fresco por meio da medida de assentamento (Figura 2).



Figura 2 – Teste de abatimento do tronco de cone

A Tabela 2 expõe os valores encontrados no ensaio.

Tabela 2 – Teste de abatimento do tronco de cone

Traço	<i>Abatimento no centro (cm)</i>
TR	1,8
T10	4,0
T20	5,0
T25	3,0

Os concretos com metacaulim possuem um abatimento de tronco maior quando comparado a amostra de concreto sem metacaulim. Essa diferença na consistência do concreto deve-se à substituição do cimento, provocando diferença na quantidade água absorvida pelo aglomerante.

Porém não os resultados não demonstram um padrão em relação ao aumento do teor de metacaulim e o *slump test*.

4.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Este teste descreve a compressão de 9 corpos de prova de cada traço, com dimensões de 15x30 cm e uso de uma prensa hidráulica universal nos diferentes dias de rompimento (7, 14 e 28 dias). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão axial

Traço	Resistência (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
TR	10,87	12,56	13,49
T10	14,75	19,95	19,39
T20	16,88	19,48	19,63
T25	17,79	19,26	19,74

Observa-se que um ganho aos 7 dias o TR atinge 80,58% da resistência final dos 28 dias, enquanto os traços T20 e T25 possuem 86,00% e 90,12% respectivamente. Aos 28 dias também deve-se destacar um grande ganho de resistência dos traços com metacaulim em relação ao traço referencia. Essa variação percentual encontra-se na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Variação percentual da resistência em relação ao traço TR

Traço	Resistência aos 28 dias (MPa)	Variação (%)
TR	13,49	-
T10	19,39	43,51
T20	19,63	45,51
T25	19,74	46,33

4.3. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Neste ensaio fez-se a secagem dos corpos de prova em estufa por 72 horas, com medições da massa às 24, 48 e 72 horas, e verificou-se, de acordo com a NBR 9778/2005 [22], a absorção total, índice de vazios e massa específica de amostra seca e saturada. Os resultados constam na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de absorção

Ensaio	Idade do Ensaio	TR	T10	T20	T25
Secagem em estufa à 105±5 °C (Kg)	24 h	11,685	11,813	12,173	12,265
Secagem em estufa à 105±5 °C (Kg)	48 h	11,670	11,803	12,152	12,262
Secagem em estufa à 105±5 °C (Kg)	72 h	11,666	11,800	12,145	12,258
Saturação em água à temperatura de (23±2) °C (Kg)		12,262	12,314	12,475	12,566
Massa do CP saturado, imerso em água (23±2) °C (Kg)		7,461	7,073	6,912	6,900
Absorção de água por imersão		5,11%	4,36%	2,72%	2,51%
Índice de vazios após saturação em água		0,124	0,098	0,059	0,054
Massa específica da amostra seca		2,42	2,25	2,18	2,16
Massa específica da amostra saturada		2,55	2,34	2,24	2,21

Os corpos de prova acrescidos de Metacaulim apresentaram um peso maior em relação ao corpo de prova referência, tanto em amostra seca como em saturada. Já na amostra imersa, os corpos de prova com adição do mineral mostraram-se leves, apresentando índices de vazio menores e consequentemente absorveram uma menor quantidade de água. Em relação a massa específica de amostra seca e saturada, os resultados apontam valores reduzidos para corpos de prova com inclusão de Metacaulim quando comparados com corpo de prova referência.

5. CONCLUSÕES

No teste de compressão axial observou-se que os traços com metacaulim obtiveram um ganho crescente na resistência do concreto em comparação com o traço referência. Essa alta resistência já foi obtida nos primeiros dias de cura do concreto, tornando-o comparável a concretos com o cimento Portland CP V ARI, que têm como peculiaridade atingir altas resistências já nos primeiros dias após a moldagem. Desta forma, fica demonstrado um ganho de resistência com a substituição devido o Metacaulim ser um material mais fino que o cimento, e, consequentemente, preenche com mais facilidade os vazios existentes no concreto e diminuindo a absorção e aumentando a resistência à compressão e durabilidade.

O aumento da resistência também pode ser explicada em virtude de um um possível melhor empacotamento das partículas quando se realiza a substituição de parte do cimento por metacaulim, dando origem a um maior arranjo da mistura com menor capilaridade, o que ajuda na resistência mecânica.

Quanto ao teste de absorção, os corpos de prova com metacaulim apresentam um peso maior tanto em amostra seca quanto saturada, pois o concreto fica menos poroso, mais denso, com o metacaulim preenchendo os vazios. Já na amostra imersa, por ter menos vazios, os corpos de prova se tornam

leves quando se compara ao traço referência. Concretos com baixa permeabilidade capilar são de extrema importância na construção civil, pois deixam os concretos mais duráveis, combatendo os processos de deterioração, que tem ligação direta com mecanismos de absorção em que os íons agressivos penetram com a água.

Portanto, este estudo indica que o metacaulim pode substituir em parte o cimento utilizado na fabricação do concreto ao proporcionar melhores características físicas e mecânicas em relação a um traço constituído apenas por cimento. Ressalta-se também a importância da substituição em termos ambientais, já que a emissão de gás carbônico emitido na fabricação do cimento é altíssima.

REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, C. I. V.; COUTINHO, C. O. D.; AZEVEDO, G. G. C.; BARROS, T. Y. G.; TAUBER, C. T.; LIMA, S. F. Concreto e suas inovações. *Ciências exatas e tecnológicas*, v. 1, n.1 (2014), ISSN 2357-9919, p. 31-40.
- [2] SNIC. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO COMÉRCIO. Indústria brasileira de cimento: Base para a construção do desenvolvimento.

http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf (22/05/2017)
- [3] HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo, 2010
- [4] SOUZA, M. M.; CAMARA, T. A.; AKASAKI, J. L. “Estudo do Teor de Metacaulim em Concretos de Alto Desempenho”. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 9, n. 17 (2016), ISSN 1984-3240, pp. 47-58.
- [5] SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIND, D. C. C.; PICANÇO, M. S.; MACÊDO, A. N.; VASCONCELOS, A. L. R.; SOUZA, J. V. B. Avaliação do módulo de elasticidade em concreto com metacaulim de alta reatividade, proveniente de rejeito industrial. *Revista Matéria*, v. 20, n. 4 (2015), ISSN 1517-7076, pp. 982-991.
- [6] Kavitha, O. R.; Shanthi, G. V.M.; Prince Arulraj, P. Sivakumar. Fresh, micro and macrolevel studies of metakaolin blended self compacting concrete. *Applied Clay Science*, v.114, p. 370-374, 2015.
- [7] FONSECA, T. V. Avaliação de concretos autodensáveis com baixos consumos de cimento incorporando metacaulim, pozolana da casca do arroz, fíler calcário e adição de cal hidratada. 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2016.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo Controle e recebimento - Procedimento
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 2012.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15894: Metacaulim para uso com cimento Portland. Rio de Janeiro, 2010.
- [12] REZENDE, M. L. S.; NASCIMENTO, J. W. B; NEVES, G. A.; SILVA, F. L. H.; LEAL, A. F.; FERREIRA, H. C. Uso de metacaulim em concreto seco: uma abordagem por superfície de resposta. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 3, p. 135-146, 2012.
- [13] SIDDIQUE, R.; KLAUS, J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. *Applied Clay Science*, v.43, p. 392-400, 2009.
- [14] Ramezaniapour, A. A., & Jovein, H. B. Influence of metakaolin as supplementary cementing material on strength and durability of concretes. *Construction and Building materials*, v.30, 470-479, 2012.

- [15] LACERDA, C. S.; HELENE, P. R. L. “Estudo da influência da Substituição de Cimento Portland por Metacaulim em Concretos”. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. ISSN 0103- 9803. BT/PCC/419. São Paulo, 2005.
- [16] PERLOT, C.; ROUGEAU, P.; DEHAUDT, S. Slurry of metakaolin combined with limestone addition for self-compacted concrete: application for precast industry. Cement & concrete composites, v. 44, p. 50-57, 2013.
- [17] PERIM, J. R. Influência do metacaulim na durabilidade de concretos usuais de mercado sujeitos à carbonatação acelerada. 216 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil), Universidade Federal de Goiás, 2013.
- [18] NUNES, D. B.; BORGES, A. V. G.; POSITIERI, M. J.; OSHIRO, A.; CABRAL, A. E. B. Comparação e análise de propriedades físicas e de resistência à compressão de concretos com e sem adição mineral. In: ICEUBI 2015, Covilhã.
- [19] BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. “Traços de concreto para obras de pequeno porte”. Concreto e Construção, v.XXXVI, IBRACON, p.32-36, 2008.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

Capítulo 6



10.37423/230507725

INFLUÊNCIA DE ADIÇÕES MINERAIS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

David Brandão Nunes

Centro Universitário Uninassau

Ana Verônica Gonçalves Borges

Universidade Federal do Cariri

Antônio Eduardo Bezerra Cabral

Universidade Federal do Ceará



1. INTRODUÇÃO

Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ano [1]. Tendo em vista essa informação, é entendível o quão amplo é a área de pesquisa em função de conhecer cada vez melhor as propriedades e processos de melhorias nas características dessa mistura.

O concreto simples é formado a partir da mistura de Cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

Ao longo dos anos, estudos foram e estão sendo feitos em função da obtenção de novas características no concreto, sejam melhorias em seu estado fresco (trabalhabilidade, consistência, etc.) ou endurecido (resistência, aparência, porosidade, etc.).

Novos componentes, que adicionados ao concreto trazem novas características, foram descobertos. Esse componente é chamado aditivo, onde este ao ser adicionado ao concreto simples garantem novas qualidades ao concreto como trabalhabilidade, resistência mecânica, impermeabilidade, incorporação de ar, durabilidade, etc. Cada aditivo tem uma função específica e deve ser selecionado de acordo com a característica que se deseja incorporar ao concreto.

A NBR 11768/2011 define aditivos como "produtos que adicionados em pequenas quantidades a concretos de cimento Portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições". Já a norma americana ASTM C125 define o aditivo como "material, além de água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregado como um constituinte do concreto ou argamassa e adicionado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura" [2].

Ainda de acordo com a NBR 11768/2011, são definidos nove tipos de aditivos para concretos de cimento Portland [3]:

- a) Tipo P - aditivo plastificante: também conhecidos como redutores de água de 1ª geração, permitem a redução da relação água/cimento sem modificar sua consistência;
- b) Tipo R - aditivo retardador: agem aumentando o tempo de início e fim de pega do concreto, tornando mais lento o endurecimento e evolução da resistência;
- c) Tipo A - aditivo acelerador: agem sob o endurecimento, facilitando a hidratação e acelerando os tempos de início e fim de pega do concreto;
- d) Tipo PR - aditivo plastificante retardador: combina os efeitos dos aditivos plastificantes e retardador;

- e) Tipo PA - aditivo plastificante acelerador: combina os efeitos dos aditivos plastificantes e acelerador;
- f) Tipo IAR - aditivo incorporador de ar: incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto, o tornando mais resistente a ciclos de congelamento e descongelamento;
- g) Tipo SP - aditivo hiperplastificante: considerados como aditivos de 3ª geração, comparados aos aditivos plastificantes comuns, podem reduzir o teor de água de 25% a 32%;
- h) Tipo SPR - aditivo hiperplastificante retardador: combina os efeitos dos aditivos hiperplastificante e retardador;
- i) Tipo SPA - aditivo hiperplastificante acelerador: combina os efeitos dos aditivos
- j) hiperplastificante e acelerador.

Outros materiais vêm sendo estudados e usados largamente na produção de concretos especiais. Alguns, inclusive, tem-se dado atenção em prol dos cuidados ao meio ambiente.

Estes são as adições minerais.

O uso de adições minerais que possuam propriedades pozolânicas tais como sílica ativa, cinzas volantes, metacaulim e cinzas de casca de arroz, em substituição parcial ao cimento, é uma alternativa para reduzir custos (substituir parte da massa do cimento), podendo promover ainda melhorias significativas nas propriedades mecânicas de argamassas e concreto [4].

Existem, portanto, vários tipos de adições possíveis e, a escolha da melhor a ser utilizada difere para cada situação de aplicação específica.

Entre os setores industriais, a construção civil consome grande parte dos recursos naturais extraídos no planeta, sendo o concreto o maior responsável por essa utilização, pois é o segundo material mais consumido pela humanidade, depois da água [5]. Nos dias de hoje, grande discussão vem em torno da execução de produtos e serviços de maneira que menos agrida o meio ambiente – ou seja, de maneira sustentável.

O aditivo plastificante garante a menor utilização de água para amassamento. Contudo, ao considerar esse fato do ponto de vista sustentável, é possível afirmar que a utilização desse tipo de aditivo garante benefícios ao meio ambiente e, adicionalmente, garante também que as propriedades desejadas no concreto não sejam afetadas de maneira negativa.

O concreto utilizado em construções civis necessita de alta demanda de energia em sua fabricação. Esse material, na queima do clínquer, libera elevadas quantidades de dióxido de carbono (CO₂) para atmosfera, agravando o efeito estufa. As adições minerais promovem melhorias nas propriedades do concreto e economia de energia, além de trazerem grandes benefícios ao meio ambiente [5].

A adição mineral utilizada no ensaio foi o Metacaulim. Este foi selecionado por ser a adição mais utilizada nas usinas de concreto para comercialização do concreto fresco usinado.

O Produto Metacaulim é constituído principalmente por compostos à base de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) na fase amorfa (vítrea), proporcionando alta reatividade com o hidróxido de cálcio presente no concreto. Este produto é recomendado para uso indiscriminado em concretos de cimento Portland devido às suas características físicas e químicas que melhoram as propriedades mecânicas dos concretos de cimento Portland. Sendo um silicato de alumínio, o Metacaulim é ainda recomendado em diversas aplicações na indústria de refratários, cerâmica, siderúrgica, química e outras [6].

O presente artigo tem a finalidade de explanar sobre concretos de alto desempenho, comparando dois traços de concretos diferentes (com e sem adição mineral) e analisar ambos os concretos no estado fresco, assim como os resultados obtidos nos rompimentos dos corpos de prova moldados para cada concreto.

Em seguida, será feito o Ensaio de Absorção (NBR 9778/2005) [7] para análise de absorção de água no geral, assim como, comparar os resultados de ambos os concretos a fim de identificar possível influência na absorção ao utilizar uma adição mineral na composição do concreto.

2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

2.1 MATERIAIS

Neste capítulo serão informados os materiais e suas quantidades utilizados no traço, assim como os equipamentos necessários no procedimento prático.

Para alcançar os objetivos dos ensaios foram calculados dois traços para análise das resistências dos corpos de prova moldados em laboratório: um com aditivo hiperplastificante e outro com o mesmo aditivo, porém com o emprego de adição mineral. A adição mineral substitui parte da massa dos agregados utilizados. Calculou-se 2% da massa do cimento do traço anterior e esta massa foi diminuída proporcionalmente dos agregados.

Ambos os traços foram calculados para um volume final de 30 dm³ de concreto. Os componentes dos traços são:

a) Traço 1: Cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivo hiperplastificante;

b) Traço 2: Cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água, aditivo hiperplastificante e adição mineral.

Tabela 1 – Materiais utilizados nos traços

COMPONENTES		QTDE. (kg)	
		Traço 1	Traço 2
Cimento CP V ARI		13,50	13,50
Água		4,32	4,32
Agregado Miúdo	Areia fina	10,20	9,90
	Areia grossa	15,30	14,80
Agregado graúdo (brita de diâmetro máximo de 19mm)		31,35	30,40
Aditivo Hiperplastificante(MasterGlenium 150 - BASF)		0,27	0,27
Adição Mineral (Metacaulim)		-	1,25

2.2 EQUIPAMENTOS

- Betoneira;
- Balança;
- Baldes/Recipientes;
- Colher;
- Moldes de corpos de prova;
- Conjunto para teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone;



Figura 1 – Equipamento utilizados

3. PROCEDIMENTO PRÁTICO

De posse de todos os materiais e equipamentos necessários para a realização do ensaio, tomou-se os passos a seguir. Após a moldagem dos corpos de prova, estes foram submetidos a ensaios de compressão e de absorção. O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 9778/2005 e, os ensaios para verificação da resistência à compressão pela NBR 5739/2007 [8].

3.1 TRAÇO 1 (REFERÊNCIA SEM ADIÇÃO MINERAL)

- a) Limpeza dos equipamentos a serem utilizados;
- b) Pesagem de todos os materiais utilizados nos traços, com auxílio de baldes e recipientes;
- c) Um pouco da água de amassamento pesada deve ser reservada para diluição do aditivo hiperplastificante (200 mL);
- d) Início da mistura:
 - Colocam-se todos os agregados (miúdo e graúdo) na betoneira, ligando-a em seguida até que os materiais estejam bem misturados;
 - Em seguida, com a betoneira desligada, coloca-se cerca de 1/3 da água, religando a betoneira em seguida;
 - Desliga-se a betoneira e adiciona o cimento e os 2/3 restantes da água;
 - Em seguida, é colocado metade do aditivo hiperplastificante diluído em metade da água reservada (1% da massa do cimento de aditivo diluído em 100 mL de água) e liga-se a betoneira, cronometrando uma mistura com duração de 3 minutos;
 - Repete-se o item anterior para o restante do aditivo hiperplastificantes diluído no restante da água reservada;
 - Devido o alto teor de absorção dos agregados, adiciona-se uma quantidade de água definida como 1% da soma das massas dos agregados miúdos com agregado graúdo (água de absorção = 570 g) e mistura-se por mais 3 minutos;
- e) Após uma mistura homogênea ser observada, parte-se para o teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone, onde se tem uma melhor conclusão sobre a consistência e trabalhabilidade do concreto produzido;
- f) Por fim, faz-se a moldagem em corpos de prova (CP) padronizados, para posterior rompimento à compressão e verificação das resistências;
 - Foram moldados 8 CPs.

3.2 TRAÇO 2 (COM ADIÇÃO MINERAL)

- a) Limpeza dos equipamentos a serem utilizados;
- b) Pesagem de todos os materiais utilizados nos traços, com auxílio de baldes e recipientes;
- c) Um pouco da água de amassamento pesada deve ser reservada para diluição do aditivo hiperplastificante (cerca de 200 mL);
- d) Início da mistura:
 - Colocam-se todos os agregados (miúdo e graúdo) na betoneira, ligando-a em seguida até que os materiais estejam bem misturados;
 - Em seguida, com a betoneira desligada, coloca-se cerca de 1/3 da água, religando a betoneira em seguida;
 - Desliga-se a betoneira e adiciona o cimento, a adição mineral (Metacaulim) e os 2/3 restantes da água;
 - Em seguida, é colocado metade do aditivo hiperplastificante diluído em metade da água reservada (1% da massa do cimento de aditivo diluído em 100 mL de água) e liga-se a betoneira, cronometrando uma mistura com duração de 3 minutos;
 - Repete-se o item anterior para o restante do aditivo hiperplastificante diluído no restante da água reservada;
 - Devido o alto teor de absorção dos agregados, adiciona-se uma quantidade de água definida como 1% da soma das massas dos agregados miúdos com agregado graúdo (água de absorção = 550 g) e mistura-se por mais 3 minutos;
- e) Após uma mistura homogênea ser observada, parte-se para o teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone, onde se tem uma melhor conclusão sobre a consistência e trabalhabilidade do concreto produzido;
 - Consideraram-se os dois testes de consistência pelo abatimento do tronco de cone com finalidade apenas de visualização da pequena alteração que houvera; fora feito a média dos testes de consistência pelo abatimento do tronco de cone das bordas com intuito de obter apenas um resultado;
- f) por fim, faz-se a moldagem em corpos de prova (CP) padronizados, para posterior rompimento à compressão e verificação das resistências;
 - Foram moldados 8 CPs.

A seguir, tem-se um resumo dos passos tomados para os ensaios. As atividades são as mesmas, diferindo apenas a presença da adição em um dos traços no item “mistura”.



Figura 2 – Mistura final obtida (à esquerda) e 16 corpos de prova (8 para cada traço) moldados (à direita)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TESTE DE CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

O teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone nos fornece um dado no qual é possível a analisar a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco. Abaixo está exposta uma tabela com os valores encontrados no ensaio regido pela NBR NM 67/1998 [9].

Tabela 2 – Teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBR NM 67/1998)

Teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone (cm)		
	Centro	Bordas
Concreto sem Metacaulim	24,0	28,0
Concreto com metacaulim	21,5	26.5
	23,0	27.0

Além de medir o abatimento no centro, mediu-se nas bordas apenas para questão de verificação. Observa-se uma consistência bastante fluída em ambas as misturas. No concreto sem adição mineral tem-se um abatimento maior do que na amostra utilizada no mesmo ensaio com metacaulim.

4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A tabela abaixo mostra os valores de resistência à compressão para cada CP moldado, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 5739/2007.

Tabela 3 – Valores das resistências à compressão (NBR 5739/2007)

Resistências à compressão (MPa)			
Concreto sem Metacaulim			
CP	1 dia	7 dias	28 dias
1	25.0	48.0	58.0
2	26.0	49.0	60.0
Concreto com metacaulim			
CP	1 dia	7 dias	28 dias
1	34.0	66.0	75.0
2	35.0	66.0	75.0

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Os parâmetros avaliados neste ensaio foram à absorção total, índice de vazios e as densidades seca, aparente e real.

Tabela 4 – Resultados obtidos de acordo com a NBR 9776/2005

Resultados - NBR 9778		
	S/ Met	C/ Met.
M_{sat}	3,864	3,730
M_s	3,748	3,633
M_i	2,271	2,179
A	3.09	2.67
I_v	7.28	6.25
ρ_s	2.35	2.34
ρ_{sat}	2.43	2.40
ρ_r	2.54	2.50

Onde M_{sat} (Massa saturada), M_s (Massa seca) e M_i (Massa imersa) são determinadas de acordo com o item 6 da NBR 9778 que mostra a execução do ensaio e, A (Absorção), I_v (Índice de vazios), ρ_s (Densidade seca), ρ_{sat} (Densidade saturada) e ρ_r (Densidade real) são determinadas conforme o item 7 da mesma.

5. CONCLUSÕES

No teste de consistência pelo abatimento do tronco de cone os concretos se apresentaram consistências diferentes. Tal diferença da fluidez dos concretos pode ser evidenciado pela ausência da adição mineral material, que é bastante fino e retém bastante água, no traço para referência, fazendo com que a mistura fique um pouco mais consistente.

Observa-se que com a utilização da adição mineral o concreto endurecido fica menos poroso, logo sua absorção e, consequentemente, índice de vazios, é menor que os mesmo valores para o concreto sem

a adição mineral. Em relação às suas densidades (seca, saturada e real), os valores são bem aproximados, não havendo uma diferença significativa entre os concretos endurecidos com e sem a presença do Metacaulim.

Ao utilizar o Metacaulim na mistura obtém-se maior resistência à compressão do que quando não o utilizamos. Contudo, verifica-se um acréscimo relativamente igual de resistência de 1 para 7 dias: tem-se um aumento de resistência cerca de 90% em ambos os concreto. Já com 28 dias tem-se um aumento de resistência cerca de 20% (com relação à resistência anterior – 7 dias) para o concreto sem Metacaulim e de 13% para o concreto com Metacaulim. Aos 28 dias o concreto com adição mineral apresentou uma resistência 27,1% em relação ao referência, o que prova a importância da adição para o preenchimento de vazios e ganho de resistência à compressão.

O uso do Metacaulim, assim como outras adições minerais, aumenta a resistência do concreto à compressão e a sua durabilidade. Por serem materiais extremamente finos (mais finos que o cimento), preenchem os vazios deixados pelo cimento e agregados o que impulsiona o ganho de resistência. De uma forma geral, a durabilidade de concretos, sejam eles produzidos com constituintes naturais ou reciclados, está relacionada diretamente com a menor ou maior facilidade do transporte de fluidos dentro do concreto. Entre as diversas substâncias que podem comprometer a durabilidade das estruturas de concreto armado, destacam-se a água, pura ou com íons dissolvidos, especialmente íons cloretos e sulfatos, o CO₂ e o oxigênio [10].

O concreto referência é considerado um concreto de alto desempenho por apresentar uma resistência à compressão superior a 40Mpa (o concreto resiste a 59Mpa). O cimento CP V ARI é um cimento Portland empregado para a obtenção de alta resistência inicial e é indicado quando é necessária a retirada em menos tempo das formas do concreto, seja para a reutilização desta ou quando é necessária certa resistência para prosseguimento da construção. Essa maior resistência inicial é obtida pela maior proporção de silicato tricálcio e, também, devido a moagem mais fina do clínquer do cimento [11].

REFERÊNCIAS

- [1] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 2008.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. ASTM C125-15, West Conshohocken, PA, 2015.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- [4] REZENDE, M. L. S.; NASCIMENTO, J. W. B.; NEVES, G. A.; SILVA, F. L. H.; LEAL, A. F.; FERREIRA, H. C. “Uso de metacaulim em concreto seco: uma abordagem por superfície de resposta” Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 135-146, jul./set. 2012.
- [5] ALBUQUERQUE, R. T. O.; LIMA, N. L. “Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade” Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro, p. 57, jul./dez. 2014.
- [6] ESTUDO DA INFLUÊNCIA do MetacaulimHP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Relatório Final.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico. Rio de Janeiro, 2007.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [10] ROCHA, C. A. A. Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de Corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos. 2008. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.
- [11] GALVÃO, J. C. A. Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V – ARI e CP II – F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Capítulo 7



10.37423/230507726

UTILIZAÇÃO DE PLACAS DE FIBRA DE COCO COMO SOLANTE TÉRMICO E ACÚSTICO EM EDIFICAÇÕES

David Brandão Nunes

Centro Universitário Uninassau

João Bosco Pinheiro Dantas Filho

Instituto Federal do Ceará

George Nunes Soares

Universidade Federal do Ceará

Antonio Eduardo Bezerra Cabral

Universidade Federal do Ceará



Resumo: A fibra de coco, material ecológico de fácil reciclagem, pertencem à família das fibras duras e têm como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza. Este tipo de fibra possui boa resistência, durabilidade e resiliência, que o torna um material versátil; encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico(1). Em 2012, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil foi o quarto maior produtor mundial de coco, com 2,88 milhões de toneladas, e foi responsável por mais de 80% da produção de coco da América Latina. As cascas de coco verde são resíduos da agricultura com alto potencial de aproveitamento, mas são descartadas em aterros sanitários. O uso de materiais alternativos baseados em resíduos agrícolas pela indústria da construção civil pode reduzir o impacto em aterros sanitários e diminuir o custo na obtenção de melhores desempenhos das edificações. No presente trabalho desenvolve-se placas, a partir de fibras do coco e do pó residual do processo de beneficiamento da casca do coco, para ensaios térmico e acústico. Os resultados positivos indicam a possibilidade de inserção deste tipo de resíduo na indústria da construção civil como isolantes.

Palavras-chave: fibra de coco, desempenho acústico, desempenho térmico, resíduo.

1. INTRODUÇÃO

Considerando produção e área colhida dos principais países produtores de coco, o Brasil saltou da 10ª posição que ocupava em 1990 para o 4º lugar no ranking mundial em 2008. Isto se deu pelo incremento tecnológico que propiciou o aumento da produtividade e pelo cultivo de coqueiros do tipo Anão e híbridos. Os significativos avanços implicam no aumento da geração de resíduos sólidos. Este resíduo é constituído pelo mesocarpo, que é a parte espessa e fibrosa do fruto, pelo exocarpo ou epicarpo, que constitui a epiderme, e pelo endocarpo, que no fruto imaturo ainda não se apresenta tão duro e rígido como no coco maduro⁽²⁾.

O comércio mundial de pó/fibra da casca de coco ganhou força entre os anos 2003 e 2006 devido a ampliação do consumo mundial de derivados da casca de coco. Naquele período a produção anual de fibras de coco era de 550 mil toneladas, produzidas principalmente pela Índia e Sri Lanka⁽²⁾.

Correspondente a 85% do peso do coco, a casca do coco, em diversos centros urbanos, é descartada sem reaproveitamento após a industrialização da água do coco. O grande volume de resíduo pode se tornar um problema ambiental, podendo ser combatido com o reaproveitamento da casca, tendo importância energética, econômica e social⁽³⁾.

Utilizada há várias décadas como um produto isolante em diversas situações, a fibra de coco tem hoje uma diversidade de aplicações. A fibra em forma de manta geotêxtil é um excelente material para ser usado em superfícies sujeitas à erosão provocada pela ação de chuvas ou ventos, como em taludes nas margens de rodovias e ferrovias, em áreas de reflorestamento, em parques urbanos e em qualquer área de declive acentuado ou de ressecamento rápido.

O desempenho energético de edificações deve ser avaliado não só com a demanda da utilização, mas também com a demanda de energia primária que está vinculada às propriedades dos materiais de construção. Isso proporciona o aumento de demanda de materiais sustentáveis, especialmente materiais de isolamento feitos a partir de recursos renováveis. Existem algumas pesquisas de desenvolvimento e avaliação de materiais de isolamento térmico natural composto de recursos renováveis. Objetiva-se neste trabalho descrever qual a contribuição de placas de fibra de coco para o desempenho térmico e acústico de edificações.

A fibra do coco, material proveniente de uma matéria prima natural e renovável, é versátil e indicado para o isolamento térmico e acústico; cumpre ainda as necessidades técnicas exigidas pelo mercado

tendo resistência e durabilidade. Ao ser adicionada a aglomerantes de cortiça, o produto resultante obtém bons resultados ao absorver baixas e altas frequências⁽⁴⁾.

Os materiais utilizados para isolamento térmico, apesar de apresentarem boas propriedades físicas, podem apresentar características nocivas à saúde humana, podendo causar alergias e problemas respiratórios. Neste ponto, a utilização de materiais naturais ganha força por não serem nocivos, facilitando o manuseio.

A utilização de fibra de coco na elaboração de compósitos (novos materiais conjugados formados por pelo menos dois componentes, sendo um deles um componente de reforço, na forma de fibras) tende a diminuir a densidade do material com bom potencial de alongamento e capacidade de reforço mediana, porém com possibilidades de aumento de desempenho da interação fibra-matriz devido à ação aglutinante da lignina. A ação do calor na formação do compósito tende a aumentar tal capacidade de interação. Apesar do baixo teor de celulose, a estrutura da fibra é bem fechada, devendo ser esta a razão de sua melhor resistência à ação dos álcalis do que fibras de alto teor de celulose⁽⁵⁾.

Materiais de isolamento térmico feitos a partir de recursos de matérias-primas provenientes de fontes agrícolas foram estudados por serem facilmente renováveis. E, além disso, foi concluído que placas de isolamento de fibras orgânicas são totalmente comparáveis com placas isolantes convencionais feitas a partir de lã mineral, poliestireno ou poliuretano⁽⁶⁾. A Tabela 1 mostra as características mecânicas da fibra do coco⁽⁷⁾.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da fibra do coco.

Fibra	Densidade (g/cm ³)	Alongamento (%)	Resistência à Tração (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade (%)
Coco	25	30	175	4,0-6,0

Na Tabela 2 observa-se a composição das fibras orgânicas de subprodutos da agricultura, importante para definir-se o uso destes resíduos.

Tabela 2 - Composição de fibras oriundas de subprodutos da agricultura.

Fonte da fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinza (%)	Água (%)
Casca do coco	36-43	0,15-0,25	20-45	3,0	2,7-10,2	10-12
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32	NA	1,5-5	8.8
Folha da bananeira	60-65	6-8	5-10	NA	4,7	10-15
Palha do trigo	33-38	26-32	17-19	NA	6-8	10
Palha de arroz	28-36	23-28	12-14	NA	14-20	6,5

O trabalho propõe verificar o potencial uso da fibra como isolante, avaliando a eficiência técnica de inovações tecnológicas para o atendimento de requisitos e critérios da Norma de Desempenho em Edificações Habitacionais, a NBR 15.575/2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho(8), que explora conceitos de durabilidade dos sistemas, a manutenibilidade da edificação e o conforto tátil e antropodinâmico dos usuários. Ela estabelece também critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Utilizou-se a fibra do coco beneficiada e o pó residual deste beneficiamento, materiais disponibilizados pela unidade da EMBRAPA em Fortaleza-CE. Os materiais foram misturados, na mesma proporção e prensados por meio de uma prensa hidráulica a uma temperatura de 150°C por serem materiais higroscópicos. Após a prensagem, as placas formadas foram colocadas ao sol e secaram por 15 dias. A Tabela 3 possui a descrição técnica das placas desenvolvidas, com as alterações de massa inicial e de prensagem para cada tipo de placa.

Tabela 3 – Descrição das placas desenvolvidas.

Descrição	Coco #1	Coco #2	Coco #3
Massa inicial (g)	36,5	36,5	72,60
Densidade inicial (g/cm ³)	0,60	0,60	0,60
Porcentagem em massa da fibra (%)	30	30	30
Porcentagem em massa do pó (%)	70	70	70
Dimensões da placa (LxAxE)(mm)	11x11x2	11x11x4	11x11x7
Massa da placa (g)	33,13	34,16	67,48
Densidade da placa (g/cm ³)	1,36	0,7	0,8
Carga da prensa (toneladas)	60	10	10
Tempo de compressão (min)	10	5	5

Também foram utilizadas duas placas para efeito comparativo: uma placa de fibra cimentícia e outra de gesso acartonado. As duas foram cortadas para serem utilizadas com a mesma largura e comprimento das placas fibras de coco. A placa cimentícia possui 12mm de espessura e densidade de 1,7 g/cm³, já a placa de gesso acartonado possui 12,5mm e uma densidade de 0,76 g/cm³.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. ENSAIO ACÚSTICO

As medições serão realizadas nas frequências das bandas de oitava entre 125 Hz e 8 kHz. A construção da mini câmara reverberante foi realizada de acordo com padrões e normas internacionais, especificamente, segundo a ISO 140 (Acoustics - Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Buildings Elements, 1999) e segundo a norma ISO 354 (Acoustics - Measurement of Sound Absorption in Reverberations Rooms, 1999).

A câmara reverberante foi construída com compensado de 20 mm, densidade superficial de 12 kg/m². Foram utilizados também adesivo de silicone, parafusos 4x35mm e puxadores para facilitar o

transporte. Com o intuito de evitar as vibrações do piso para a câmara e a contaminação dos resultados das medições, foram instalados um total de quatro rodízios, funcionando como isoladores. A Caixa acústica possui largura, comprimento e altura de 0,60m, uma área total de 0,36m² e um volume de 0,216m³. A Figura 1 é a imagem da caixa.

Figura 1 – Mini câmara reverberante.



A medição da perda de transmissão sonora (PT), segundo a ISO 140, é avaliada segundo a equação:

$$PT = NPS^1 - NPS^2 \quad (A)$$

Onde: NPS¹ é o nível de pressão sonora na sala de emissão, em decibéis; NPS² é o nível de pressão sonora na sala de recepção.

2.2.2. ENSAIO TÉRMICO

No experimento foram utilizadas as placas desenvolvidas, placas de fibra cimentícia e de gesso acartonado. As placas são colocadas vedando a caixa com a saída de som na parte interna e na parte externa da caixa é feita a aferição do ruído em frente à placa utilizada. A medição da perda de transmissão sonora foi calculada a partir dos resultados obtidos ao se comparar os resultados do isolamento das placas com a aferição sem placas.

Foram construídas duas câmaras idênticas com MDF na espessura de 15 mm e 30cm de largura, comprimento e altura. As caixas foram pintadas interna e externamente de branco, com apenas o fundo preto. A escolha do tipo de câmara advém de pesquisas feitas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte⁽⁹⁾, em que analisou-se vários materiais, inclusive uma manta de coco verde, com mesmo método. Fez-se apenas uma adaptação ao tamanho da caixa, pela não disponibilidade á confecção de placas de coco em quantidade suficiente.

As caixas foram tampadas com MDF e uma placa de aço preta de formato quadrangular com largura de 29,50cm e ambos com 3mm de espessura. Em uma das caixas, entre os dois materiais, colocou-se placas de coco #3, com espessura de 7mm. Este tipo de placa foi escolhida por ser a mais espessa dos três tipos pesquisados. As caixas foram apoiadas em outra maior para evitar interferências do solo na medição, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Caixa térmica com termopares conectados.



A aferição da temperatura foi feita com um medidor portátil N305-M, que mede a temperatura por meio de um sensor do tipo termopar conectado. A medição foi feita durante 4 horas começando às 11 horas e 15 minutos. Sendo que nesse intervalo de tempo as temperaturas foram coletadas a cada 15 minutos.

Os termopares foram colocados no MDF de 3 mm, na chapa de aço e internamente, para verificação da temperatura ambiente nas câmaras. Além da temperatura ambiente também medida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIO ACÚSTICO

Na Tabela 4 observa-se as duas leituras realizadas com cada placa e duas leituras sem a utilização de placa na mini câmara reverberante.

Tabela 4 – Amostras da medição do som.

Nome da leitura	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Referência I	74,4	87,6	70,7	74,5	82,7	90,5	83,7
Referência II	74,9	87,9	69,6	74,3	82,5	90,1	83,9
Coco #1 I	75	79,7	63,4	62,1	62	70,6	50,9
Coco#1 II	75,6	81,6	61,7	61	60	71,2	50
Coco #2 I	74,4	81	63,9	62,1	54,7	69,2	60,3
Coco#2 II	75,5	78,2	65,5	63,3	55,6	66,8	63,2
Coco #3 I	72,4	78,2	67,9	63,5	70,4	71,8	59,1
Coco #3 II	72,3	78,5	68,7	62	68,3	70,8	61,3
Fibra cimentícia I	76,1	79,8	65,8	61,9	63,6	65,5	53,5
Fibra cimentícia II	75,3	81,1	66,2	63,1	67,5	67	55,4
Gesso Acartonado I	74,6	83,1	62,6	61,2	62,2	63,6	53,9
Gesso Acartonado II	75,7	84,8	64,4	60,4	65	66,1	50,2

Com os dados da Tabela 4 foram calculados a variância e o desvio padrão amostral para obter-se a diferença de leitura entre as placas (Tabelas 5 e 6).

Após a análise das tabelas, foram feitos gráficos que possibilitam a melhor visualização e comparação dos resultados.

Tabela 5 – Variância dos resultados.

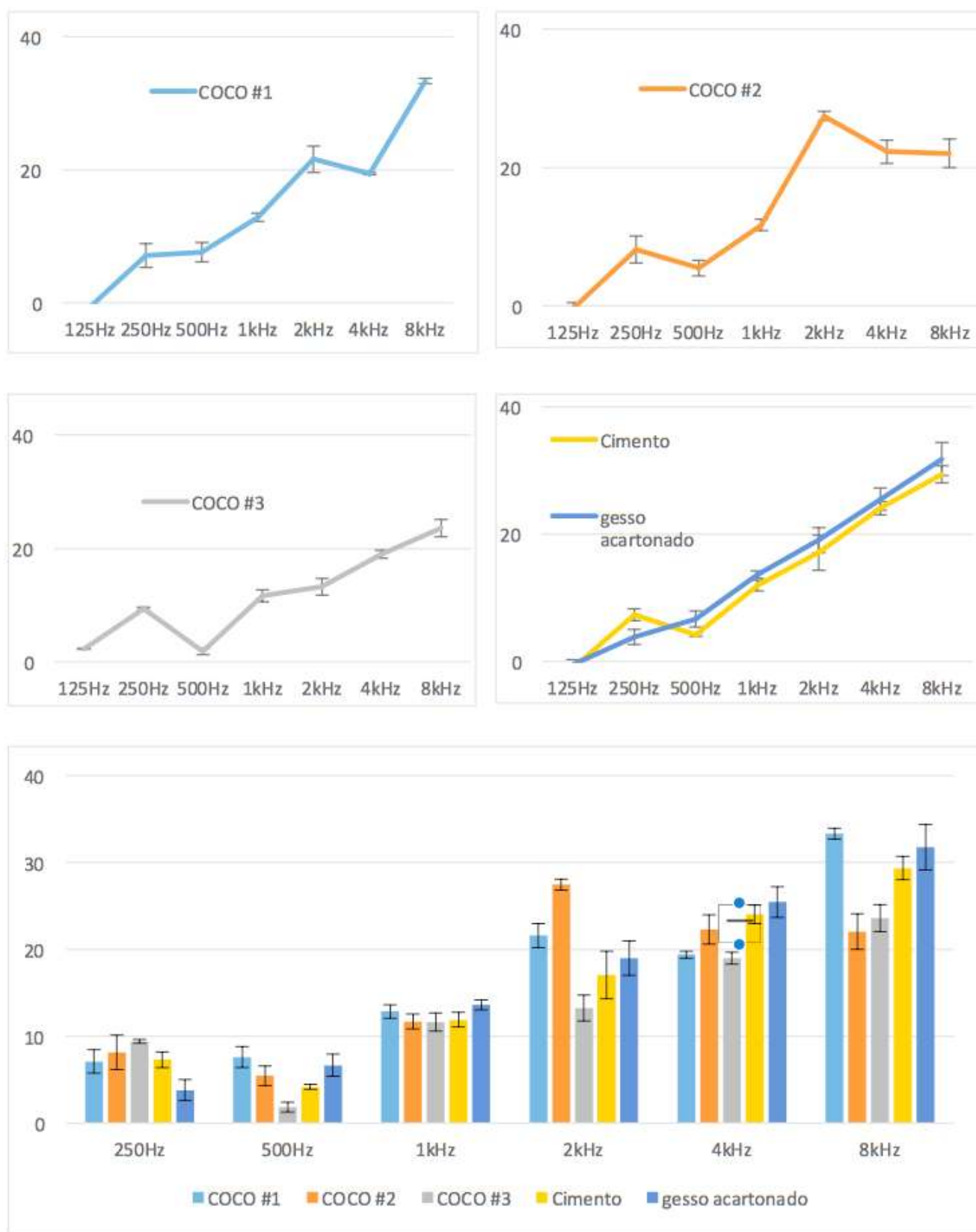
Nome da leitura	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Leitura sem placa	0,125	0,045	0,605	0,02	0,02	0,08	0,02
Coco #1	0,18	1,805	1,445	0,605	2	2,88	0,405
Coco#2	0,605	3,92	1,28	0,72	0,405	0,5	4,205
Coco #3	0,005	0,045	0,32	1,125	2,205	1,125	2,42
Fibra cimentícia	0,32	0,845	0,08	0,72	7,605	3,125	1,805
Gesso Acartonado	0,605	1,445	1,62	0,32	3,92	0,08	6,845

Tabela 6 – Desvio padrão amostral.

Nome da leitura	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Leitura sem placa	0,353553	0,212132	0,777817	0,141421	0,141421	0,282843	0,141421
Coco #1	0,424264	1,343503	1,202082	0,777817	1,414214	0,424264	0,636396
Coco#2	0,777817	1,979899	1,131371	0,848528	0,636396	1,697056	2,05061
Coco #3	0,070711	0,212132	0,565685	1,06066	1,484924	0,707107	1,555635
Fibra cimentícia	0,565685	0,919239	0,282843	0,848528	2,757716	1,06066	1,343503
Gesso Acartonado	0,777817	1,202082	1,272792	0,565685	1,979899	1,767767	2,616295

A Figura 3 mostra a diferença entre as leituras medidas na mini câmara reverberante sem placa e as leituras medidas com cada placa. Este valor possibilita uma melhor análise comparativa entre as três placas de fibra de coco e pó residual, a placa de fibra cimentícia e a placa de gesso acartonado.

Figura 3 – Caixa térmica com termopares conectados.



Dentre as placas de referência, fibra cimentícia e gesso acartonado, a placa de gesso acartonado não obteve o melhor desempenho acústico apenas na frequência de 250Hz. Para todas as placas o

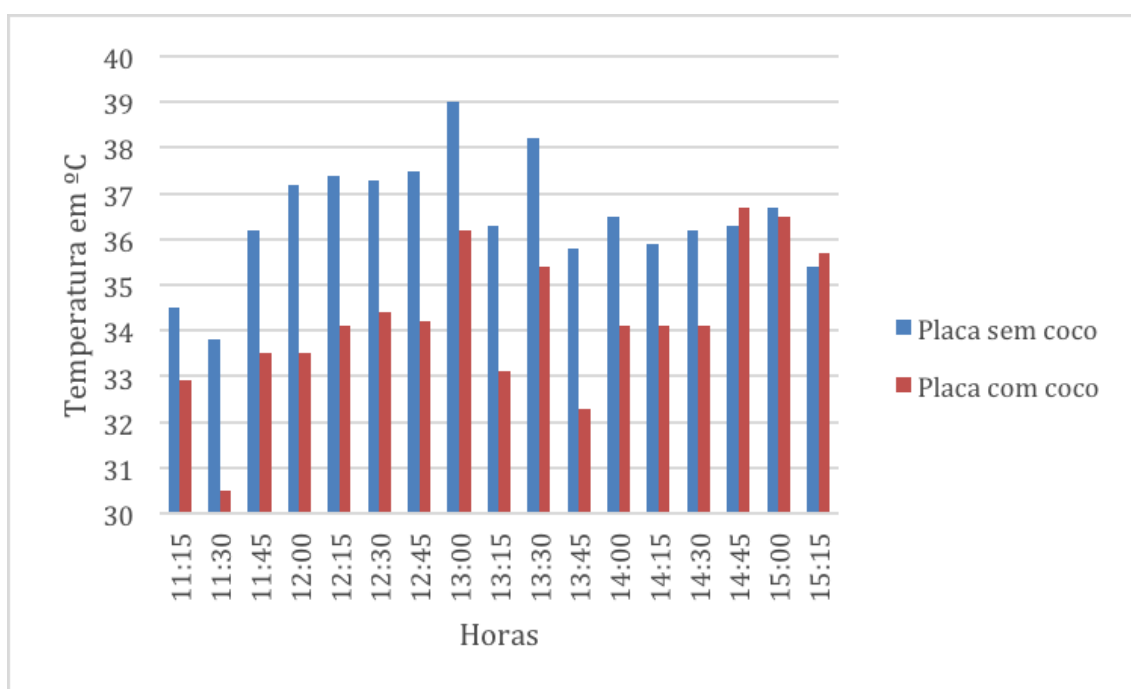
isolamento acústico começa a ser mais expressivo em frequências maiores, a partir de 1kHz, e quanto maior a frequência sonora aplicada maior será a diferença de leitura do som.

As Placas de fibra de coco e pó residual não apresentam uma diferença de leitura de som semelhante, o que era esperado devido a diferença de densidade e espessura das mesmas. Mas não é observado um padrão nos resultados. Nas frequências de 2kHz e 4kHz a placa Coco #2 é a que tem o melhor isolamento, com 27,45db e 22,30db de isolamento respectivamente. A placa Coco #1 teve o melhor desempenho na frequência de 8kHz, isolando 33,35db. Também, vale ressaltar, que as placas de referência tiveram desempenho superior apenas na frequência de 4kHz.

3.2 ENSAIO TÉRMICO

A temperatura ambiente sofreu oscilações durante todo o período de medições. Teve 29,7°C como a menor temperatura na primeira leitura, e teve seu pico ao meio dia com a temperatura de 35,4°C. O Gráfico 1 mostra que na caixa onde não havia placa de fibra de coco foram obtidas as maiores temperaturas, e a maior diferença entre as temperaturas foi de 3,7°C, às 12:00.

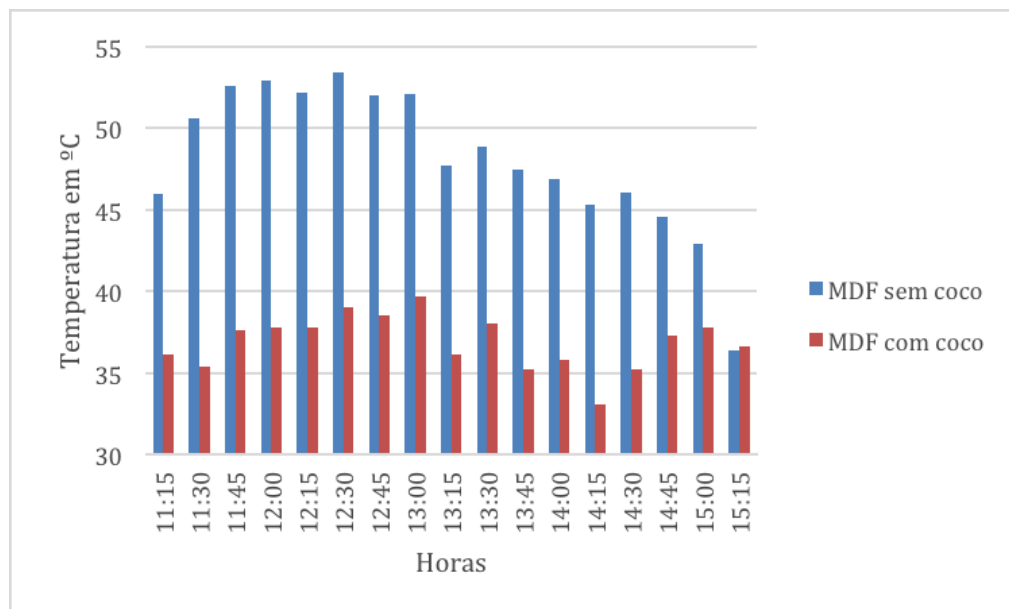
Gráfico 1 – Temperatura interna da caixa.



O Gráfico 2 representa a variação de temperatura do MDF, essa diferença foi acentuada no horário de 11 horas e 30 minutos com o resultado de 15,2 °C. Observando as temperaturas de cada MDF separadamente verifica-se que na caixa sem coco a amplitude da temperatura (máxima - mínima) chegou a 17°C, enquanto na caixa com coco essa variação não passou de 6,6°C. A temperatura sem a

placa de fibra de coco oscila muito em relação ao tempo, mas há equilíbrio com as placas de fibra de coco, demonstrando um isolamento térmico.

Gráfico 2 – Temperatura das placas de MDF.



O Gráfico 3 contém as variações da temperatura interna das caixas no decorrer do período analisado.

Gráfico 3 – Variação da temperatura interna da caixa.



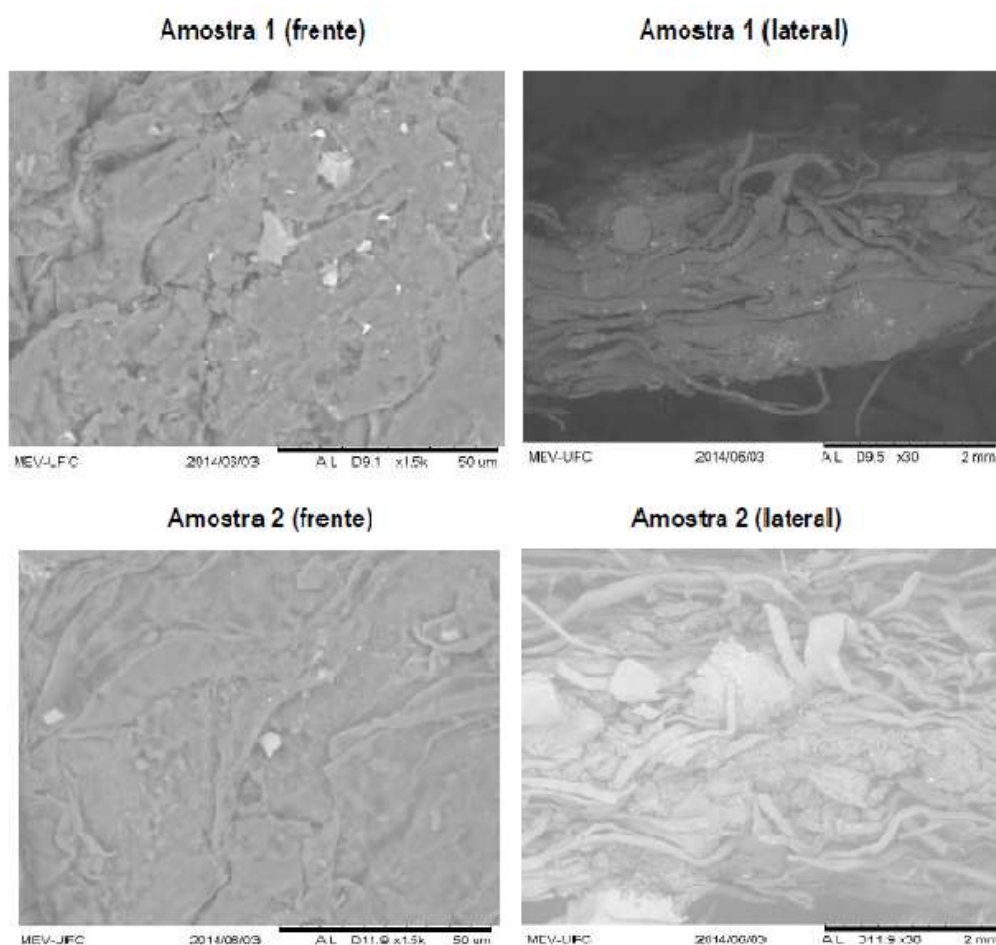
O cálculo dessa variação se dá pela diferença de temperatura da caixa sem a placa de fibra de coco e temperatura da caixa com a placa de fibra de coco. Percebe-se que as placas de fibra de coco tiveram bom desempenho ao reduzir a temperatura. A diferença média de temperatura foi de 2,29°C. A partir das 13:15 horas a temperatura ambiente, externa a caixa, começou a reduzir e na parte interna da

caixa esse fato foi observado a partir das 13:45 horas, ou seja, apenas 30 minutos após a redução da temperatura externa que a interna começou a diminuir. No entanto, a redução interna da temperatura é acentuada atingindo até valores menores que a externa ($-0,5^{\circ}\text{C}$) no horário de 14:45 horas.

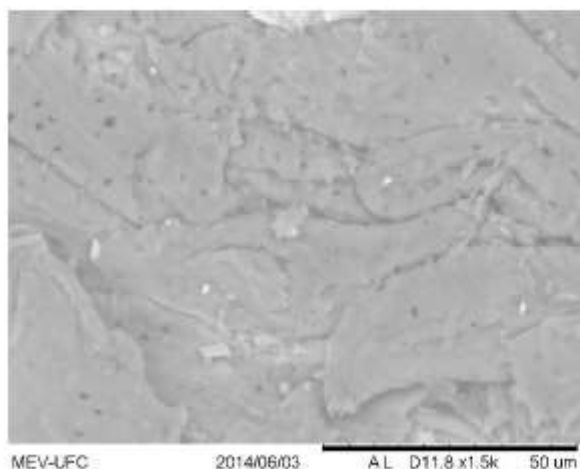
3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Por meio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) capturou-se imagens (Figura 4) das três placas de fibra de coco, permitindo uma visão nítida das fibras e do pó residual das amostras. Os três tipos de placa apresentam semelhança ao se comparar as imagens frontais, com as fibras dispostas em diversos sentidos. As imagens laterais também mostram as fibras dispostas aleatoriamente, mas é possível observar uma aproximação maior dos componentes na placa Coco #1, que apresenta menor massa e maior densidade, que devido ao processo de prensagem as fibras perderam mais água. A placa Coco #3 apresenta possui uma maior distância entre as fibras e a massa de pó residual, o que justifica a maior fragilidade deste tipo de placa no seu manuseio durante o ensaios.

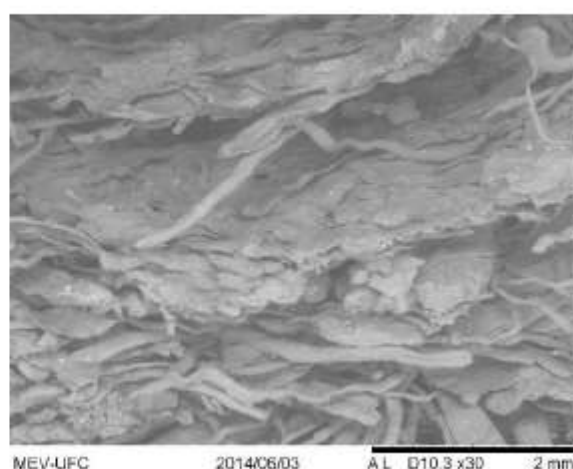
Figura 4 – MEV da parte superior e da lateral das placas de fibra de coco.



Amostra 3 (frente)



Amostra 3 (lateral)



4. CONCLUSÃO

O pó residual, correspondente a 70% da massa inicial utilizada na confecção das placas, é responsável pelo preenchimento dos vazios deixados pela união das fibras, tornando a placa um material homogêneo a olho nu. Mas a partir da microscopia eletrônica de varredura, percebe-se que é um material heterogêneo, com as fibras dispostas aleatoriamente, resultando em uma maior resistência e rigidez da placa ao unir por completo a massa das placas. O método de prensa do pó e da fibra demonstra ser de extrema importância para o resultados de cada tipo de placa, pois determina a consistência e a densidade final das placas.

As placas de fibra e pó da casca do coco desenvolvidas possuem desempenho acústico semelhante à placa de gesso acartonado utilizado no estudo. Estas possuem um isolamento acústico melhor para as frequências de 1 a 8kHz, enquanto nas frequências de 125 a 500 Hz o desempenho é pior. Com o bom desempenho das placas de fibra e pó de coco, uma possível associação destas placas com outras já utilizadas na construção civil pode melhorar o desempenho acústico das edificações.

No ensaio térmico a redução da temperatura interna da caixa com placa de fibra e pó de coco não aconteceu de forma tão rápida quanto na caixa sem estas placas. Isso comprova a capacidade de isolamento térmico e conservação térmica da placa composta pelo resíduo, já que a utilização das placas também acarretou na redução da temperatura interna.

A diferença dos desempenhos dos três tipos placas de fibra e pó de casca de coco possibilitam estudos futuros para se obter uma composição ideal de placas de fibra e pó de coco com a maior abrangência de isolamento nas diferentes frequências acústicas e um melhor isolamento térmico.

5. REFERÊNCIAS

1. MURRAY, N. P. Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Tese de Doutorado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001.
2. MARTINS, C. R.; JESUS JUNIOR, L. A. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2014. Aracaju: 2014. 28 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos,164)
3. ARAÚJO, A. C. Análise SWOT do Gerenciamento de Resíduos do coco verde em duas agroindústrias do Estado do Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
4. SENHORAS, E. M. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde. Revista Urutágua, n. 05, Maringá, PR, 2005.
5. REDDY, N., YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. Trends Biotechnol. 23, 22–27 (2005).
6. KORJENIC, A. et al. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. Energy and Buildings, v. 43, n. 9, p. 2518-2523, 2011.
7. BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science. v. 24, pp. 221-274, 1999.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de janeiro, 2008.
9. MARINHO, G. S.; COSTA, J. F.; OLIVEIRA, C. V. D.; OLIVEIRA, M. M. F. Isolamento térmico de coberturas com fibra da casca do coco. In: Simpósio sobre Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos, 2003, Natal. Simpósio sobre Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos. Natal - RN: UFRN, 2003.

Capítulo 8



10.37423/230507741

ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE UM DISTRITO INDUSTRIAL

Euclides Antônio Pereira de Lima

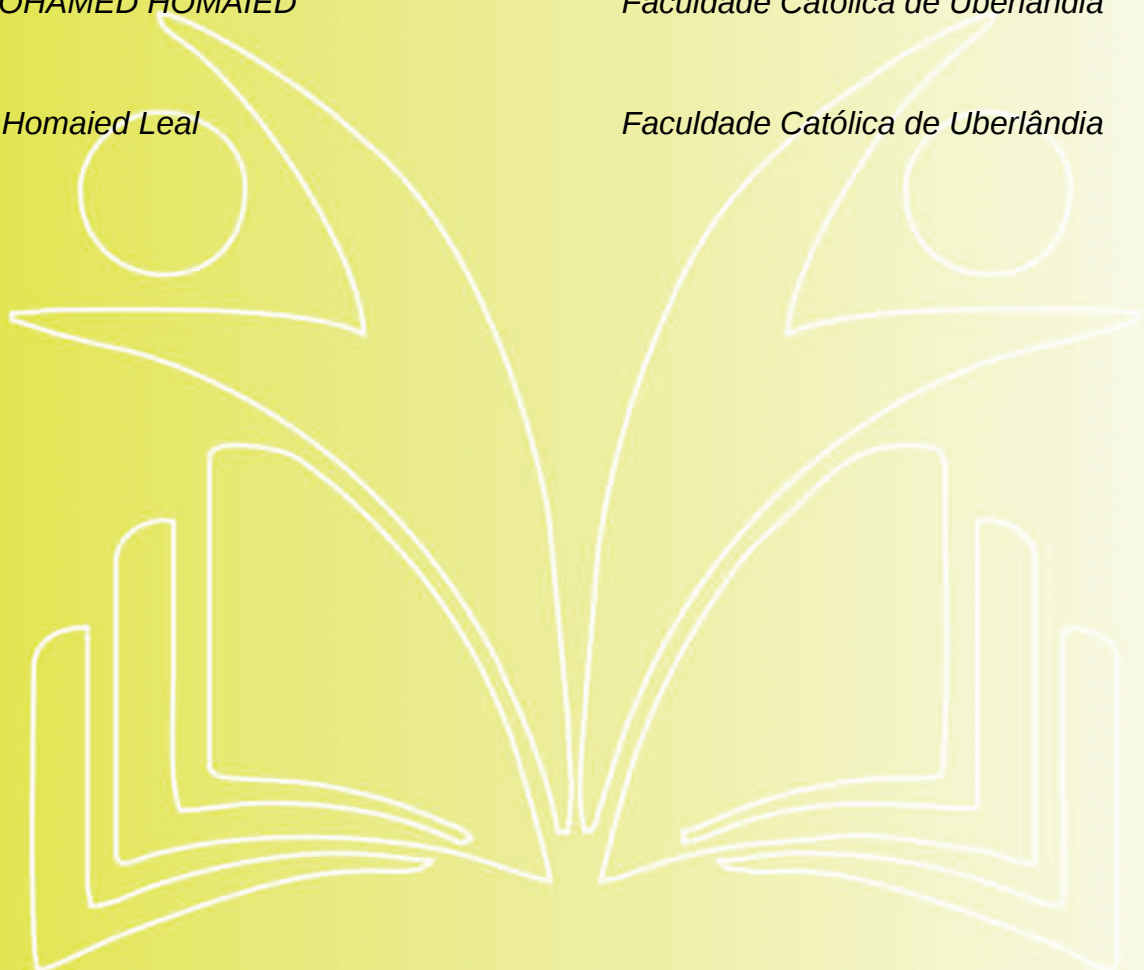
UNIVERSIDADE DE UBERABA

SORAIA MOHAMED HOMAIED

Faculdade Católica de Uberlândia

Pablo Kalil Homaied Leal

Faculdade Católica de Uberlândia



Resumo: A cidade de Uberlândia MG é estratégica para o desenvolvimento de sua região, principalmente devido sua privilegiada localização, seja pelas malhas rodoviárias, ferroviárias ou aeroportuárias, o que proporcionou aumento nas instalações industriais. Associado ao crescimento ocorre também um significativo incremento na geração de poluentes, entre eles destacam-se as emissões atmosféricas. Os poluentes emitidos por fontes pontuais podem ser monitoradas por meio de amostragens isocinéticas, mas quando se trata de qualidade do ar em uma comunidade, torna-se difícil e onerosa a identificação da fonte emissora do mesmo. Uma forma de avaliação da contribuição de determinada fonte sobre a qualidade do ar pode ser com a utilização de modelos matemáticos. Com o uso de um modelo gaussiano de dispersão de poluentes, estimou-se a contribuição dos contaminantes de 48 fontes situadas no Distrito industrial. Os parâmetros estudados foram MP, SO₂ e NO₂, utilizando dados de amostragens isocinéticas. Os resultados encontrados demonstraram que as concentrações dos poluentes estão abaixo do limite máximo permitido, mas a direção predominante dos ventos favorece que a poluição atinja parte significativa da cidade. O modelo utilizado foi eficiente e de fácil operação, mas quando se trata de várias fontes ao mesmo tempo, deve-se utilizar a programação do visual *basic*, seguindo a mesma sistemática do modelo AID.

1. INTRODUÇÃO

O estudo da poluição do ar e seu controle têm sido temas pesquisados extensivamente nas últimas décadas. Os resultados destes estudos são de grande importância na elaboração das políticas sustentáveis, na busca da preservação do meio ambiente. O ar atmosférico é indispensável para ocorrência dos processos físico-químicos que por sua vez proporcionam o desenvolvimento da vida. A poluição do ar afeta de diversas formas o ecossistema, os materiais e a saúde humana (CETESB, 2007). Os principais parâmetros estudados são os materiais particulados totais e respiráveis, monóxido de carbono, dióxido de enxofre e nitrogênio, fumaça e ozônio (CONAMA 03, 1990), esses parâmetros possuem uma importância significativa para garantia da saúde dos seres humanos e ao meio ambiente.

Segundo Amorim (2004), a poluição atmosférica é um problema comprovado nos grandes centros urbanos e cada vez mais se estende para regiões em expansão populacional e industrial. Os planejamentos urbanos levam em consideração a malha viária, desta forma favorecem mais a mobilidade dos veículos do que a da população, isso provoca uma redução da qualidade de vida das pessoas sob vários aspectos.

Uberlândia é uma das microrregiões do estado de Minas Gerais pertencente a mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A população de Uberlândia foi estimada em 662.362 habitantes, sua frota veicular está na ordem de 412.912 veículos, correspondendo a 1,6 habitantes por veículo, IBGE (2016).

Os órgãos ambientais de Minas Gerais estão incentivando os empreendimentos potencialmente poluidores apresentarem voluntariamente seus dados sobre os gases do efeito estufa (GEE). De forma geral, também solicita durante o processo de regularização ambiental, os dados dos monitoramentos atmosféricos, na forma de condicionantes do processo de licenciamento. Com isso, Minas Gerais está organizando um banco de dados que certamente contribuirá para os estudos da qualidade do ar das regiões do estado.

Uma das motivações para realização deste estudo foi a necessidade da identificação da contribuição das fontes poluidoras localizadas no distrito industrial de Uberlândia, na concentração dos poluentes a montante do mesmo, na direção predominante dos ventos. Lima (2007), apresentou dados que demonstram que a direção predominante dos ventos da região é a nordeste. Como o distrito industrial fica situado na região norte, parte dos poluentes lançados pelas indústrias são depositados nas vias públicas, residências e sobre a vegetação de grande parte da cidade.

O estudo quantitativo dos poluentes no ponto receptor é muito mais oneroso e difícil de se obter, por isso o uso de modelagem matemática, associado aos dados das fontes pontuais, obrigatórias pelo órgão ambiental, pode proporcionar um entendimento de uma série de transformações e problemas que surgiram nos últimos tempos em determinadas regiões da cidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar segundo a Resolução CONAMA 03, (1990), é definida como o resultado da alteração das características físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera, de forma a causar danos aos seres humanos, à fauna, à flora aos materiais ou restringir o pleno uso e gozo da propriedade, ou afetar negativamente o bem-estar da população.

2.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

São considerados padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA 03, 1990). De acordo com o Artigo 2º da mesma Resolução, padrão primário de qualidade do ar, são concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Já os secundários, são concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, a flora e aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A competência para determinar se uma área deve ser enquadrada de acordo com o padrão primário ou secundário é do estado. Então o Artigo 7º estabelece que enquanto os estados não estabelecem suas áreas, prevalece em vigor o padrão primário, que é menos restritivo.

Apesar da CONAMA 03, (1990) estabelecer os limites máximos permitidos para material particulado total (PTS) e respirável (menores que 10 micrometros – MP_{10}), fumaça, dióxido de enxofre (SO_2) e nitrogênio (NO_2), ozônio e monóxido de carbono (CO), eles são fixados apenas como estratégia de controle, para fins de orientação para elaboração dos planos regionais de controle de poluição do ar. Apresenta ainda os limites máximos permitidos para partículas totais em suspensão, sendo para o padrão primário diário, a concentração de 240 micrograma por metro cúbico, para o dióxido de enxofre, nas mesmas condições, 365 micrograma por metro cúbico, já para o dióxido de nitrogênio, a média é para 1 hora, com valor máximo de 320 micrograma por metro cúbico.

2.3 AMOSTRAGENS ISOCINÉTICAS

Amostragem isocinética pode ser entendida como amostragens realizada succionando-se o material particulado e os gases de uma fonte por meio de um sistema onde a velocidade de sucção seja a mesma da saída da fonte. Para tanto, uma verificação prévia deve ser feita na fonte, avaliandose diversos parâmetros, tais como a altura, diâmetro, umidade dos gases, pressões dinâmica e estática, ainda deve-se medir a pressão barométrica local. Deve-se adotar diversas legislações para execução deste tipo de amostragem, que podem variar de estado para estado. A maioria dos estados brasileiros adotam as normas da ABNT para realização das amostragens, no entanto, no estado de São Paulo existe legislação própria.

2.2 ESTUDOS DE DISPERSÃO ATMOSFÉRICAS

Após a geração e emissão dos poluentes para a atmosfera, ocorre o transporte dos mesmos, que são altamente influenciados pelas condições meteorológicas e do relevo, em seguida, os poluentes chegam a um receptor, que podem ser os vegetais, animais, materiais e o próprio homem. De maneira geral, pode-se dizer que a recepção tem potencial para provocar danos ao ser humano, a fauna, flora e ao meio ambiente (KAWANO, 2003).

Uma forma de estudar a dispersão dos poluentes é utilizando modelagem. A modelagem é uma ferramenta essencial para esses estudos, os modelos geralmente são divididos em físicos, que são construídos em pequena escala, mas que representam o fenômeno estudado com boa precisão (escala de laboratórios), evidenciam mecanismos e geram dados para validação de modelos matemáticos, e que por sua vez constituem-se de um conjunto de algoritmos numéricos/analíticos, com o objetivo de descrever os aspectos físicos e químicos do problema (KAWANO, 2003).

Existem diversos tipos de softwares disponíveis para utilização, inclusive alguns de forma livre na internet. Alguns dos mais utilizados são ISC3 (*Industrial Source Complex*), CTDMPPLUS (*Coplex Terrain Dispersion*), UK-ADMS (*United Kingdom Meteorological Office Atmospheric Dispersion Modeling System*), PLUME 5 (desenvolvido pela *Pacific Gas & Electric Co., San Ramon, Calif.*). Um exemplo de modelo de dispersão disponível é o modelo AID (Avaliação Instantânea da Dispersão), cujos cálculos levam em consideração as equações gaussianas, (KAWANO, 2003).

Segundo Lora (2002), a equação da teoria estatística de Gauss é uma solução analítica simplificada da equação básica da difusão. Nessa teoria o eixo das abscissas coincide com a direção do percurso da pluma (direção principal do vento). Nessa teoria, quando se observa os planos horizontal e vertical,

nota-se que a concentração dos contaminantes cumpre a distribuição estatística de Gauss (sino de Gauss), justificando a origem do nome desta teoria.

Algumas considerações são relevantes no estudo do modelo Gaussiano, a pluma, viaja com velocidade constante, igual à do vento e na mesma direção. As dimensões da pluma são descritas por meio de coeficientes de dispersão σ (σ_y – determina a expansão vertical da pluma e σ_z – determina a expansão horizontal da pluma). A emissão de contaminantes ocorre a partir de uma fonte pontual a uma taxa constante. Não ocorre deposição ou reação da pluma na superfície, ou seja, a reflexão da pluma é total na superfície da terra. A Equação 1 apresenta a equação principal da dispersão, de acordo com a teoria estatística de Gauss (LORA, 2002).

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (1)$$

Onde: C = concentração do contaminante em qualquer ponto de coordenadas (x, y, z), g/m³.

Q = emissão, g/s.

H = altura efetiva, m.

σ_z e σ_y = coeficientes de dispersão vertical e horizontal,

2.3 MODELO DE AVALIAÇÃO INSTANTÂNEA DA DISPERSÃO – AID - (KAWANO, 2003).

O modelo AID foi desenvolvido considerando as equações gaussianas para emissões contínuas e instantâneas (puff). Ele é de fácil aplicação e pode ser utilizado para verificação de dispersão de poluentes provenientes de fontes fixas. Ele apresenta duas opções para os cálculos de elevação da pluma, sendo uma utilizando as equações de Holland e outra de Briggs.

O modelo AID é de fácil operação, pois é feito em Excel-2000, utiliza a ferramenta *Visual Basic*, possui como vantagem a interface gráfica. Disponibiliza orientações ao usuário, pode ser utilizado para o estudo de gases leves com densidade igual ou inferior ao ar, aplicação para terrenos planos não complexos, coordenadas polares para direção do vento e posição do receptor. Proporciona a simulação instantânea das concentrações, tem como saída resultados na forma gráfica com curvas de isoconcentrações, além fornecer informações sobre padrões de qualidade do ar, características e efeitos de alguns poluentes emitidos por fontes fixas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi delimitada de acordo com a disponibilidade de dados de poluentes atmosféricos na região do distrito industrial de Uberlândia- Minas Gerais.

Foram utilizados os resultados dos monitoramentos atmosféricos realizados pelas empresas Powdertech Serviços e Consultoria Ltda e QSE Consultoria Ambiental Ltda. Usou-se também dados fornecidos pelas empresas da região do estudo. Os métodos utilizados para realização das amostragens foram de acordo com as normas da ABNT e CETESB para amostragens isocinéticas. Após a tabulação dos dados das amostragens atmosféricas, utilizou-se o modelo matemático AID (Avaliação Instantânea da Dispersão), O modelo apresenta os resultados na forma de tabelas e mapas com isoconcentrações (médias de 10 minutos), elaborado por Kawano (2003).

O programa utilizado (AID), fornece os resultados para cada fonte individualmente. Então para efetuar os cálculos foram inseridos os dados de cada fonte individualmente no programa. Adotou-se posteriormente um ponto médio na área de estudo e considerou-se que todos os lançamentos de poluentes foram do referido ponto. Com isso, os resultados foram calculados considerando que os receptores dos poluentes estavam a distâncias de 1, 3 e 6 quilômetros, nas direções a montante do ponto médio de lançamento, em relação a direção predominante dos ventos.

Para a elaboração dos mapas finais de isoconcentrações (MP, SO₂ e NO₂), considerou-se os valores médios dos dados iniciais, assim pode-se apresentar apenas um mapa geral e não 48 (nº de fontes) individuais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Figura 01 apresenta a área delimitada objeto deste estudo, bem como o ponto médio adotado e os pontos considerados receptores de poluentes.

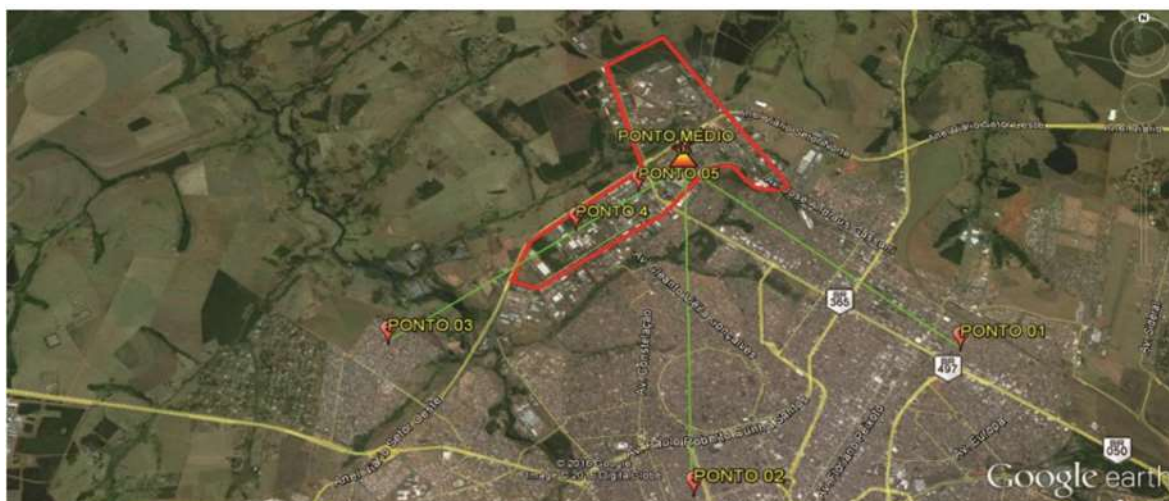


Figura 01 – Delimitação da área de estudo – Fonte: Google, 2016.

Como pode ser visto na Figura 1, o ponto 1 está localizado a sudeste do ponto médio em relação a direção predominante dos ventos (que é nordeste) a uma distância de 6 km. O ponto 2 está ao sul e também distante 6 km. Já os pontos 3, 4 e 5 estão a sudoeste do ponto médio, distantes 6, 3 e 1 km, respectivamente.

4.1 DADOS DAS AMOSTRAGENS ATMOSFÉRICAS

Para realização dos cálculos, foram adquiridos dados de 48 fontes de poluição distribuídas na área de estudo. Os dados utilizados basicamente foram os da parte física da chaminé, diâmetro e altura física, temperatura e velocidade dos gases, concentração e taxa dos poluentes. Os dados foram tabulados e posteriormente inseridos no AID, fonte por fonte, ponto receptor por ponto receptor.

Utilizando o programa AID, foram inseridos os dados de entrada para cada fonte individualmente, tendo como receptores os pontos distantes do ponto médio 1, 3 e 6 quilômetros, em todas as direções. Para melhor visualização, foram apresentados apenas os resultados para os pontos de 1 a 5 (Figura 01). Em todas as direções a jusante do ponto médio em relação a direção predominante dos ventos.

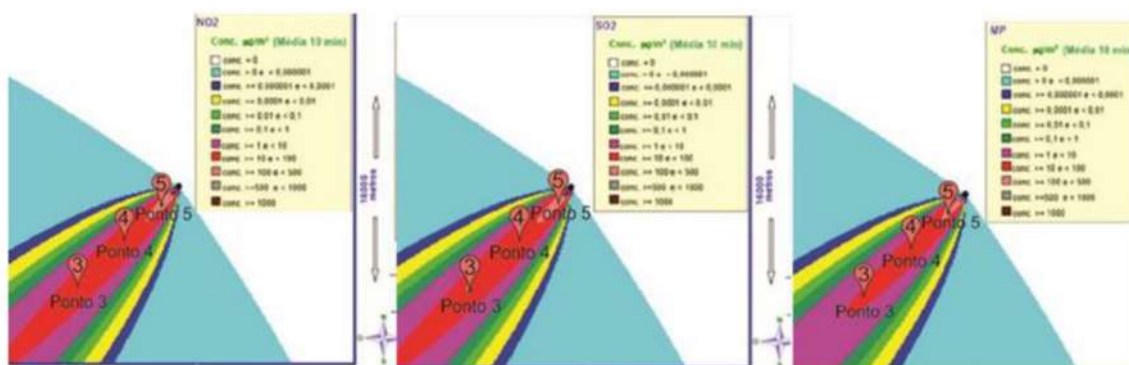
A Tabela 01 apresenta os resultados de concentrações de material particulado, dióxido de enxofre e de nitrogênio. Os resultados são provenientes dos cálculos no programa AID, nos pontos 3, 4 e 5, bem como os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 e a comparação entre eles.

Tabela 01 - Concentração de poluentes – Modelagem usando AID

RESULTADOS DE CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES								
PONTO	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	MP			SO ₂			NO ₂	
	RESULTADO AID	* CONAMA 03/90 (24 horas)	COMPARAÇÃO	RESULTADO AID	* CONAMA 03/90 (24 horas)	COMPARAÇÃO	RESULTADO AID	* CONAMA 03/90 (1 hora)
1	0	240 (padrão primário)	Abaixo do limite máximo permitido	0	365 (padrão primário)	Abaixo do limite máximo permitido	0	320 (padrão primário)
2	0			0			0	
3	12,48			21,40			0,02	
4	30,75			52,74			0,04	
5	130,53			223,84			0,18	

Como pode ser visto na Tabela 01, os resultados obtidos para os pontos 1 e 2, não foram significativos (zero) em função de sua localização. Já os pontos 3, 4 e 5, que estão posicionados a sudoeste da direção predominante dos ventos (nordeste), tiveram resultados significativos, destacando-se o ponto 5 (distância de 1 Km), para todos os parâmetros estudados. Porém, nenhum resultado ultrapassou o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 03/90.

Ao observar a Figura 02, pode-se verificar os resultados das concentrações de SO₂, NO₂ e MP.


Figura 02 – Resultados da estimativa de concentração de SO₂ – Adaptado de AID.

5. CONCLUSÕES

Este estudo proporcionou o cálculo da estimativa de concentração dos poluentes atmosféricos, MP, SO₂ e NO₂, utilizando os dados de amostragens isocinéticas e o modelo AID e ainda realizar a comparação com os padrões estabelecidos pela CONAMA 03, (1990). Os resultados encontrados não ultrapassaram os limites máximos permitidos pela legislação.

O modelo AID, utilizado neste trabalho demonstrou facilidade na sua operação, principalmente em função da confecção de gráficos que demonstram as curvas de isoconcentração.

Para utilização de muitas fontes ao mesmo tempo, e melhor utilizar a ferramenta Visual Basic diretamente. Para isso, deverá ser feita uma programação específica para caso em estudo, visando a obtenção dos resultados.

6. BIBLIOGRAFIA

AMORIM, W. B., Monitoramento da Concentração e Caracterização de Material Particulado Suspenso na Atmosfera. Campinas, 165 p., SP. 2004;

BARAD, M.L., Project Prairie Grass. A Field Program in Diffusion. Geophys. Res. Paper 59, vol I e II, Air Force Cambridge Research Center, Bedford, MA, USA, 1958;

CETESB, Relatório da Qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2006. São Paulo. CETESB 2007, 167p. Disponível na internet: <http://www.cetesb.sp.gov.br>;

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº. 03 de 28/06/90. s.n.t.;

DE MELO LISBOA, H. Contribution à la mise en oeuvre et à la validation de modèles de dispersion atmosphérique applicables aux composés odorants. Tese de doutorado. Université de Pau et des Pays et de l'adour – Ecole des Mines d'Als, 196p., outubro de 1996.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2016. Disponível na internet <http://www.ibge.gov.br>.

KAWANO M. Desenvolvimento, Validação e Aplicação de um Modelo Matemático para Dispersão de Poluentes Atmosféricos. Dissertação de Mestrado, 198 p., Florianópolis S.C., 2003.

LIMA E. A. P. Um Estudo Sobre a Qualidade do Ar de Uberlândia: Material Particulado em Suspensão. Tese de Doutorado, 148p., Uberlândia MG. 2007

Capítulo 9



10.37423/230507743

CONFORTO VISUAL EM AMBIENTE DE TRABALHO: ESTUDO DE CASO EM UM LABORATÓRIO DE PESQUISA

Diego A. Custódio

Universidade Federal de Santa Catarina

Thayane L. Bilésimo

Universidade Federal de Santa Catarina

Aline Schaefer da Rosa

Universidade Federal de Santa Catarina

Enedir Ghisi

Universidade Federal de Santa Catarina



Resumo: O objetivo desta pesquisa é avaliar a adequação da iluminação de um laboratório de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina a partir de medições de luminâncias e iluminâncias e da obtenção das percepções subjetivas dos ocupantes. O método aplicado combina o procedimento de medição e verificação de níveis mínimos de iluminância propostos pelas normas, identificação de fontes potenciais de ofuscamento e a aplicação de questionários aos ocupantes. Os resultados demonstram que a quantidade da iluminação do ambiente não é atendida totalmente pela iluminação natural. Tal constatação foi comprovada tanto pelas medições quanto pelas respostas dos ocupantes, que demonstraram estar satisfeitos com o ambiente luminoso, mas apresentaram queixas pontuais.

Palavras-chave: Conforto visual. Luminância. Iluminância. Levantamento de dados. Percepção do usuário.

INTRODUÇÃO

O conforto visual é uma condição subjetiva de bem-estar visual induzida pelo ambiente (EUROPEAN STANDARDS, 2018). Essa condição depende da fisiologia do olho humano e da quantidade de luz, bem como da sua distribuição no espaço e no espectro de emissão da fonte luminosa. Os estudos de conforto visual têm sido feitos avaliando os fatores que relacionam as necessidades humanas e a luminosidade do ambiente. Neste sentido, são analisados aspectos como quantidade, uniformidade, cores de renderização e ofuscamento (CARLUCCI et al., 2015).

Pesquisas em ambientes de ensino revelaram que em salas bem iluminadas naturalmente discentes apresentaram maior produtividade (BAKMOHAMMADI; NOORZAI, 2020, MORENO; LABARCA, 2015). Quanto melhores as condições de iluminação em um ambiente de trabalho, melhores serão os resultados das tarefas a serem executadas, com menor esforço visual (RENNHACKKAMP, 1964, KONSTANTZOS et al., 2020).

O desconforto luminoso em ambientes de trabalho também foi objeto de estudo em diversas pesquisas, cujos fatores mais recorrentes são o ofuscamento e o brilho excessivo. Comparações de Jakubiec e Reinhart (2015) entre os diferentes índices de brilho ao longo de um dia em um escritório mostraram que o *Visual Comfort Probability*, que é derivado de brilho proveniente de fontes artificiais de luz, muitas vezes prediz probabilidades de desconforto muito superiores a de outros índices, independentemente de terem sido desenvolvidas para uso sob condições de luz artificial ou luz do dia. Pierson, Wienold e Bodart (2018) complementam que o brilho ou o ofuscamento podem ser fonte potencial de problemas devido ao excesso de luz ou de contraste. O brilho provoca insatisfação e fechamento das persianas e, conseqüentemente, uso de iluminação artificial durante o dia (FARIA, 2007).

De forma a contribuir com o tema, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade da iluminação de um laboratório de pesquisa a partir de medições de luminâncias e iluminâncias e da obtenção das percepções subjetivas dos ocupantes.

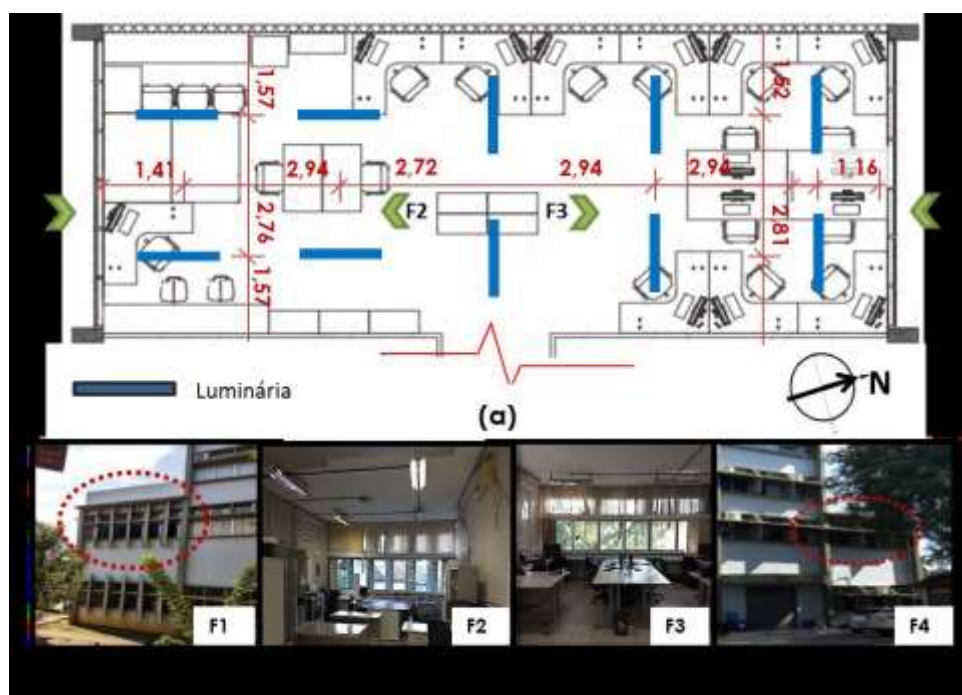
2 MÉTODO

O método utilizado para a avaliação do conforto luminoso foi elaborado a partir do levantamento de dados quantitativos (medição das luminâncias e iluminâncias) e qualitativos (percepção subjetiva do usuário) em um ambiente de trabalho.

O objeto de estudo foi o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), localizado na UFSC (Florianópolis, SC). O ambiente é configurado em formato retangular (14,10m x 5,90m, aproximadamente), com janelas em fita nas extremidades (fachadas nordeste, parcialmente obstruída por vegetação, e sudoeste) e persianas internas para controle da incidência solar direta. É ocupado por doze pesquisadores, prioritariamente em horário comercial, e iluminado artificialmente por onze luminárias, compostas por duas lâmpadas tubulares T5 (32W cada), fixadas na laje (aproximadamente 2,70m de altura do piso). A Figura 1 apresenta as principais características do ambiente. As medições foram realizadas em 01/08/2019, com céu parcialmente encoberto, considerado representativo em simulações de iluminação natural que consideram o céu estático (MICHEL; LARANJA, 2020), e pôr do sol às 17h45.

Os procedimentos de medições de luminância e iluminância foram realizados conforme as normas NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) e NBR 15215-4 (ABNT, 2005). A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) estabelece níveis de iluminância, ofuscamento, uniformidade, aspectos e aparência da cor, entre outros fatores. A NBR 15215-4 (ABNT, 2005) estabelece os procedimentos para realizar a verificação experimental da condição de iluminação natural no interior das edificações, devendo ser condizentes com o que é proposto pela NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013).

Figura 1 – Caracterização do objeto de estudo: (a) planta baixa com *layout*, disposição das luminárias e indicação de referência das imagens (b) fotos externas e internas do ambiente de trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A análise de luminâncias das superfícies e fontes de ofuscamento foi realizada a partir de fotografias HDR (obtidas por meio do programa Aftab, a partir do tratamento do conjunto de fotos com diferentes exposições) e um luminômetro da marca Minolta (modelo LS-160) com precisão $\pm 2\%$ (10 cd/m^2 ou mais). Para as fotografias HDR escolheu-se locais com potencial de ofuscamento em função da posição e altura de visão dos ocupantes que utilizam as estações de trabalho próximas às janelas. Utilizou-se uma folha cinza para calibração das iluminâncias no campo visual onde se desejava avaliar o ofuscamento. Os índices de ofuscamento foram calculados por meio do programa Aftab, que considera a iluminância média do campo de visão para determinar as luminâncias em planos específicos da cena avaliada, como janelas e paredes. Os seguintes índices foram obtidos: DGP (*Daylight Glare Probability*); DGI (*Daylight Glare Index*); UGR (*Unified Glare Rating*), CGI (*CIE Glare Index*) e VCP (*Visual Comfort Probability*). Os índices concentram-se na avaliação da intensidade de brilho percebida. Valores altos de DGP, DGI, UGR e CGI indicam problemas de ofuscamento. No caso do VCP, que indica a probabilidade de conforto visual dos ocupantes, quanto maior o valor, menores serão os problemas de ofuscamento.

Para obtenção das iluminâncias, definiu-se, primeiramente, uma malha de pontos para medição, obtida por meio da Equação 1 (ABNT, 2005). Obteve-se inicialmente o total de 25 pontos (com $k=2,22$), resultando em uma malha de $1,63\text{m} \times 1,63\text{m}$ e 37 pontos, recuados $0,5\text{m}$ em relação às paredes (Figura 2). As iluminâncias em cada ponto foram medidas por meio de um luxímetro digital (marca Minipa, modelo MLM-1011, com precisão de $\pm 4\%$ para leituras menores do que 10000 lx). As medições foram realizadas a cada duas horas: 10h, 12h, 14h, 16h (apenas iluminação natural) e 18h (apenas iluminação artificial). Como os ocupantes costumam utilizar o sistema de iluminação artificial durante todo o dia, as iluminâncias totais foram calculadas por meio da Equação 2.

$$K = (C \times L) / [H \times (C + L)] \quad (1)$$

$$IT_i = IN_i + IA \quad (2)$$

Onde:

K é o índice local que define o número de pontos da malha;

C é o comprimento da sala (m);

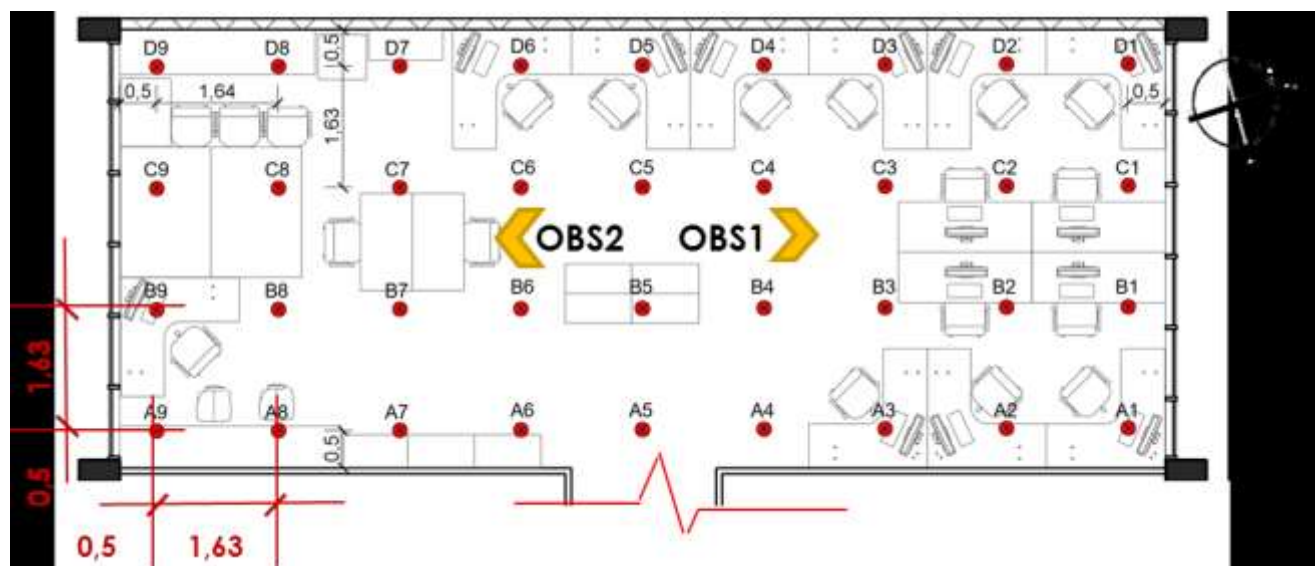
L é a largura da sala (m);

H é a altura entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias (m);

IT_i é a iluminância total na i -ésima medição (lx);

IN_i é a iluminância devido à iluminação natural na i -ésima medição (lx); IA é a iluminância devido à iluminação artificial (lx).

Figura 2 – Distribuição dos pontos de medição das iluminâncias e indicação dos pontos de referência para fotografia HDR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Para obtenção da percepção subjetiva dos ocupantes quanto ao conforto luminoso, foram aplicados questionários semiestruturados, elaborados com base no questionário proposto por Boyce (1996). Abordou-se questões sobre a preferência quanto ao uso de iluminação natural, artificial ou a combinação delas, sobre a satisfação quanto às condições do ambiente para realização de atividades específicas e sobre a percepção ou interferência quanto ao ofuscamento. Devido a sua geometria, o ambiente possui estações de trabalho em áreas com maior disponibilidade de iluminação de natural (próximo às janelas) e menor disponibilidade (áreas centrais), onde o uso da iluminação artificial é necessário para o desenvolvimento das tarefas. As respostas em relação ao incômodo por excesso de brilho foram comparadas com os índices de ofuscamento. A percepção em relação à iluminação do ambiente foi comparada com as iluminâncias medidas no local.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados referentes à percepção dos ocupantes quanto ao conforto luminoso no local. Cerca de 90% dos ocupantes consideram importante a qualidade da iluminação em um ambiente de trabalho, preferindo a combinação entre iluminação natural e artificial (63% dos ocupantes). Não houve preferência pelo uso exclusivo da iluminação artificial (Figura 3a). Quanto à

satisfação com a iluminação do ambiente de trabalho, 62% dos ocupantes permaneceram neutros quanto às condições de iluminação para leitura e 75% mostraram-se satisfeitos quanto às condições para digitação (Figura 3b). Por fim, alguns ocupantes indicaram certo incômodo por ofuscamento (Figura 3c), devido ao reflexo no plano de trabalho e janelas (25% dos ocupantes) ou ao brilho na tela do computador (37% dos ocupantes).

Figura 3 – Percepção subjetiva da iluminação natural: (a) preferência dos ocupantes, (b) classificação do ambiente luminoso, (c) incômodos relacionados ao ofuscamento e brilho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Com relação à percepção dos ocupantes, 67,5% alegaram que a sala apresenta zonas escuras, mas que são amenizadas com o uso da iluminação combinada. Foi reportando também interesse em obter luminária individual em cada posto de trabalho, ao que se atribui à necessidade de uso em dias nublados ou em trabalhos desenvolvidos durante a noite.

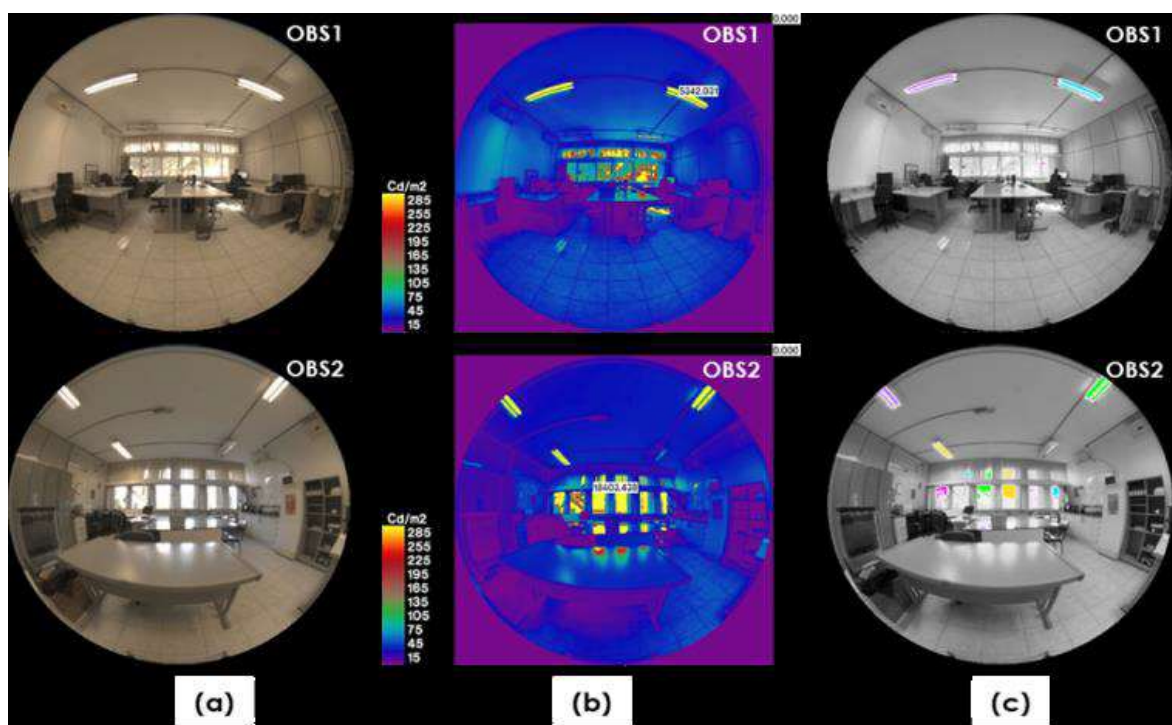
A Figura 4 mostra as imagens obtidas a partir das fotografias HDR, para as cenas OBS1 (janelas voltadas a nordeste) e OBS2 (janelas voltadas a sudoeste). Para a cena OBS1 (fachada nordeste), observou-se que as luminâncias das superfícies em geral são baixas e uniformes, com exceção das luminâncias das janelas, devido à presença da iluminação natural. As luminárias também apresentaram luminâncias altas (chegando a 5342,03 cd/m²). A luminância média usada para a calibração da foto foi de 29,75 cd/m², e a iluminância média da lente da câmera foi 209,5 lx. Em termos de ofuscamento, os índices obtidos pela avaliação do programa foram verificados conforme as normas e estão classificados na Tabela 1. Percebe-se, comparando os índices com a Figura 4, que o ambiente não apresenta ofuscamento perceptível, apesar das altas luminâncias das lâmpadas.

Observou-se comportamento semelhante para a cena OBS2. O ponto de máxima luminância ocorreu nas janelas, devido a iluminação natural, atingindo 18403,4 cd/m². No restante da sala, as luminâncias se mantiveram entre 15 e 45 cd/m² (com exceção dos pontos em que houve a incidência da radiação

solar direta). A luminância média utilizada para a calibração da foto foi 19,8 cd/m², e a iluminância 321,5 lx.

Os índices apresentados na Tabela 1 demonstram que, ao contrário da cena em OBS1, este lado apresenta ofuscamento perceptível. Neste sentido, pode-se dizer que os ocupantes não estão em conforto. O desconforto também é confirmado pelo VCP (probabilidade de conforto visual) que na cena OBS2 é de 19,31%. Em relação à percepção subjetiva, 75% dos ocupantes responderam que o brilho externo não interfere ou interfere pouco em suas atividades. As respostas dos ocupantes são explicadas, pois a maioria deles possui estações de trabalho localizadas na cena OBS1, local onde a probabilidade de conforto visual em relação ao ofuscamento é maior. De acordo com Jakubiec e Reinhart (2010), valores de VCP entre 80% e 100% classificam o ofuscamento como imperceptível. Os autores afirmam que valores de VPC menores do que 40% são intoleráveis e que valores de DGP menores do que 0,35 representam situações de ofuscamento imperceptível. No entanto, para a cena OBS2 um usuário relatou incomodo pelo brilho excessivo da luz natural através da janela. Portanto, é possível afirmar que neste estudo, os índices de ofuscamento não puderam prever adequadamente a expectativa dos ocupantes. Tal conclusão também foi relatada por Suk et al. (2016).

Figura 4 – Fotografias HDR: (a) fotografia da cena, (b) luminâncias, (c) avaliação do ofuscamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Tabela 1 – Índices de ofuscamento.

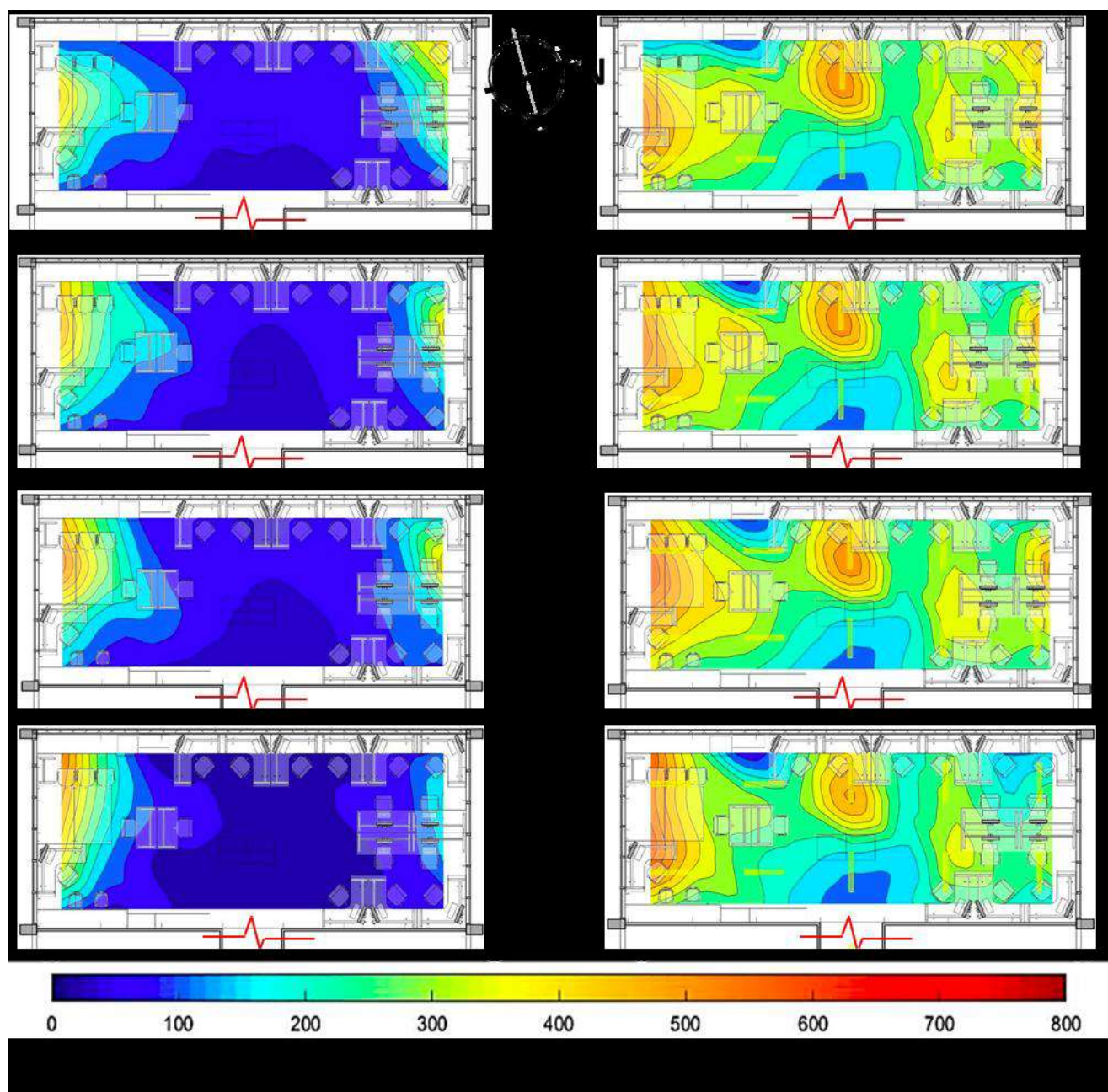
Cena	Índice				
	DGI	DGP	UGR	CGI	VCP
OBS1	7,94	0,13	9,81	12,59	83,97
OBS2	23,38	0,26	25,86	27,79	19,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A Figura 5 apresenta os mapas de iluminância para a condição de iluminação natural (Figura 5a) e iluminação natural e artificial combinadas (Figura 5b). Conforme apontado pelos ocupantes no questionário aplicado, a incidência da iluminação natural na sala não é suficiente para satisfazer as condições de conforto. Em nenhum momento do dia os níveis de iluminância atendem aos limites da norma de 500 lx nos planos de trabalho e 200 lx na circulação.

Nos planos de trabalho, considerando apenas a iluminação artificial, as iluminâncias médias foram de 156 lx, 151 lx, 153 lx e 127 lx para as 10h, 12h, 14h e 16h, respectivamente. Quando se considerou a iluminação natural e artificial juntas, as iluminâncias médias foram de 349 lx, 344 lx, 347 lx e 320 lx para as 10h, 12h, 14h e 16h, respectivamente. Com a iluminação natural e artificial, a iluminância média do laboratório foi de 317 lx, com pontos cuja iluminância era de 54 lx. Assim, pode-se verificar que não há uniformidade na distribuição de iluminâncias no laboratório, o que pode ser confirmado visualmente por meio dos mapas de iluminância da Figura 5. A NBR ISO/CIE 8995 (ABNT, 2013) ainda recomenda que a iluminação seja controlável em ambientes de leitura, o que não ocorre neste ambiente.

Figura 5 - Mapas de iluminâncias para a condição de iluminação natural (a) e iluminação natural e artificial combinadas (b).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4 CONCLUSÕES

A partir dos dados coletados, foi possível observar que a iluminação não se distribui de maneira uniforme ao longo da sala. Isto se deve, principalmente, às dimensões da sala, ao posicionamento das janelas e a existência de brises verticais nas mesmas. A sala apresenta ainda alguns pontos de

ofuscamento que, somados aos níveis de iluminância relativamente baixos, interferem no conforto visual dos ocupantes, conforme os mesmos apontaram no questionário.

Apesar de possuir pontos com iluminâncias abaixo do recomendado, a maior parte dos ocupantes afirmou se sentir satisfeito com as condições de iluminação. Isto condiz com o que foi relatado por Boyce (1996). O autor afirma que não há definições exatas de valores de iluminâncias adequadas para as tarefas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15215-4 - Iluminação natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

BAKMOHAMMADI, Parnian; NOORZAI, Esmatullah. Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. *Energy Reports*, v. 6, p. 1590-1607, 2020.

BOYCE, P. Illuminance selection based on visual performance – and other fairy stories. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, v. 25 n.2, p. 562-577. 1996.

CARLUCCI, S.; CAUSONE, F.; DE ROSA, F. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 47, p. 1016–1033. 2015.

EUROPEAN STANDARDS. EN 12665 – Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements. 2018.

FARIA, J. R. G. Análises de distribuição de luminâncias através de imagens HDR compostas por fotos de câmeras snapshot. In: ENCAC-ELACAC 2007 - IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Anais... Ouro Preto. 2007.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C.F. The Use of Glare Metrics in the Design of Daylit Spaces: Recommendations for Practice. Freiburg, 9th International Radiance Workshop, 2010.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C.F. A concept for predicting occupants's long-term visual comfort within daylit spaces. *The Journal of the illuminating Engineering Society of North America*, v. 12, p. 1-18. 2015.

KONSTANTZOS, Iason et al. The effect of lighting environment on task performance in buildings—a review. *Energy and Buildings*, p. 110394, 2020.

MICHEL, Mariana Vallory; LARANJA, Andréa Coelho. Condições e tipos de céu para simulações de iluminação natural com céu estático. *Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 11, p. e020001, 2020.

MORENO, María Beatriz Piderit; LABARCA, Constanza Yañez. Methodology for assessing daylighting design strategies in classroom with a climate-based method. *Sustainability*, v. 7, n. 1, p. 880-897, 2015.

PIERSON, Clotilde; WIENOLD, Jan; BODART, Magali. Review of factors influencing discomfort glare perception from daylight. *Leukos*, v. 14, n. 3, p. 111-148, 2018.

RENNHACKKAMP, W. M. H. School Lighting: technical report by the National Building Research Institute on an aspect of school building research. Pretoria, South African Council for Scientific and Industrial Research. 1964.

SUK, J. Y.; SCHILER, M.; KENSEK, K. Discomfort glare metrics: Investigating their accuracy and consistency in daylight glare evaluation by using human subject study data. Los Angeles, Facade Tectonics World Congress. 2016.

Capítulo 10



10.37423/230507749

PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL: CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO DO METABOLISMO ESTENDIDO APLICADO À CIDADE DE CRICIÚMA, SC

Giovana Leticia Schindler Milaneze

Instituto Federal de Santa Catarina

Pedro Rosso

Instituto Federal de Santa Catarina

Arnoldo Debatin Neto

Universidade Federal de Santa Catarina



Resumo: *O presente artigo é resultado da análise de um método a ser aplicado em fase anterior ao planejamento para o desenvolvimento urbano, tendo como premissa o modelo do metabolismo estendido para assentamentos urbanos proposto por Newman e Kenworthy (1999). Neste modelo, a partir de dados levantados relativos ao uso de recursos, como água, energia e materiais, e produção de resíduos, como lixo e poluentes, os quais promovem a dinâmica da cidade, torna-se possível planejar o desenvolvimento de um município com foco na sustentabilidade a partir de uma análise temporal e comparativa entre os dados. Para ilustrar esta análise, buscou-se comparar dados de uma série histórica, a fim de avaliar o desenvolvimento urbano do município de Criciúma, SC. O resultado permitiria sugerir diretrizes para redução do consumo e também dos resíduos, na intenção de beneficiar os cidadãos e o meio ambiente. Esta intenção não se concretizou na totalidade em razão da ausência ou da inconsistência de dados provenientes órgãos públicos e associações, sobre o município em estudo, o que não permitiu uma avaliação da situação e evolução de Criciúma quanto ao consumo de recursos de entrada e a produção de dejetos de saída, no contexto do modelo de metabolismo estendido. A pesquisa demonstrou que para a aplicação do modelo proposto, há a necessidade de manter um banco de dados atualizado.*

Palavras-Chave: *Sustentabilidade urbana, Metabolismo da cidade, Resíduos.*

1 INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo irreversível em todo o planeta, evidenciado pelo crescimento da população urbana ao longo do último século, que passou de 10 para 50% (SIRKIS, 2003). As cidades foram produzidas para promover a cidadania, isto é para ser um palco de trocas e de satisfação das necessidades. Porém, “para centenas de milhões de pessoas, as condições de vida sofríveis das zonas e periferias urbanas estão destruindo vidas, saúde e valores sociais e morais” (AGENDA 21, 1994, Cap. 6). Assim, a cidade como espaço de cidadania ainda não é uma realidade para todos e, talvez, não venha a ser tão facilmente, pelo menos num futuro próximo.

A materialidade das cidades é politicamente construída (ACSELRAD, 1999). Por isto, sua sustentabilidade está vinculada a aplicação das políticas urbanas e sua insustentabilidade se evidencia quando essas políticas são incapazes de equacionarem a oferta de serviços urbanos em quantidade e qualidade condizentes com as demandas sociais.

Newman e Kenworthy (1999), no livro “Sustentabilidade e cidades: a superação da dependência do automóvel”, tentam mostrar uma possibilidade para promover a Agenda de Sustentabilidade para as cidades. Oriunda da Agenda 21, a Agenda de Sustentabilidade é uma grande questão global e local. Comunidades do mundo estão tentando determinar o quanto podem simultaneamente reduzir o impacto na terra e melhorar sua qualidade de vida. Isso está acontecendo, em maior ou menor extensão, em todas as cidades.

A partir da Agenda de Sustentabilidade, foi aprovada e sancionada a Lei n. 10.257, em 10 de julho de 2001 (BRASIL, 2001). Conhecida como Estatuto da Cidade, esta Lei trata do planejamento urbano municipal e traça as diretrizes gerais para o ordenamento urbano. Dentre os seus instrumentos, destaca-se o planejamento municipal e o Plano Diretor, que é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana.

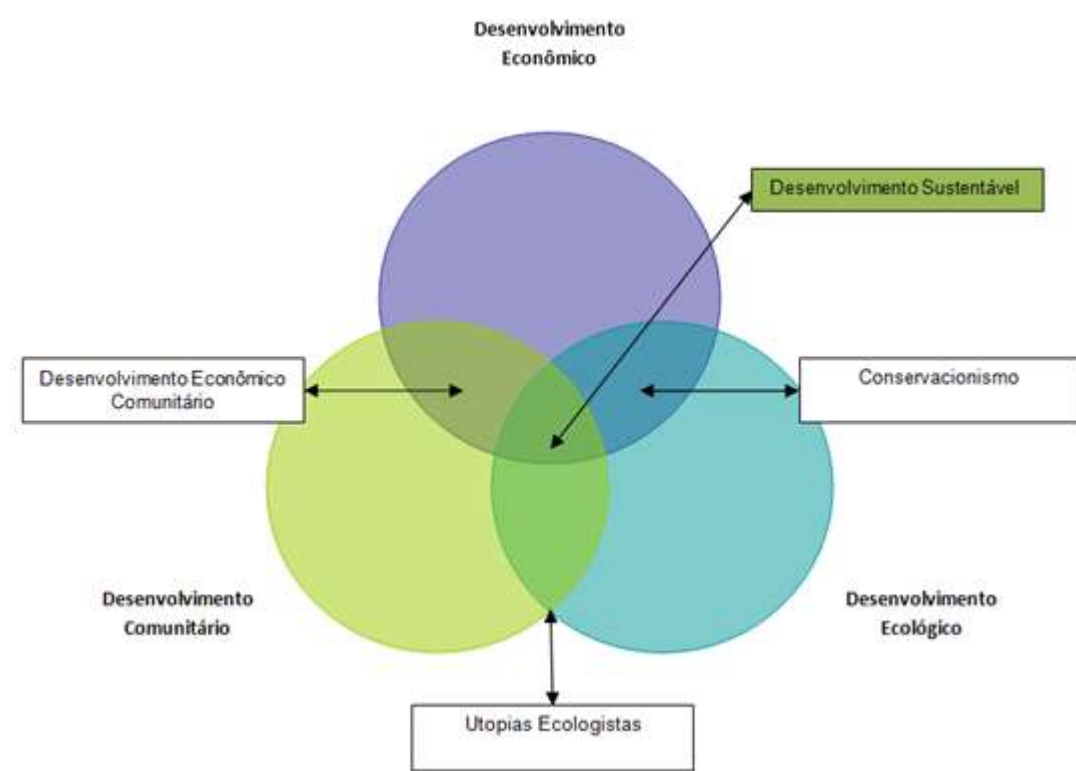
A grande ênfase dada ao planejamento municipal diz respeito ao desenvolvimento urbano e ao equilíbrio ambiental numa preocupação constante com a necessidade de preservar a natureza, para legar às gerações futuras uma cidade que ofereça todas as condições de vida saudável e bem estar dos munícipes (COELHO, 2003, p. 1).

Pensar a cidade implica pensar em espacialidades e temporalidades, pois as cidades são produzidas em determinados espaços e tempos históricos, em que a dinâmica da cidade vai modelando seus contornos (GONÇALVES, 2010). Para Newman e Kenworthy (1999), para planejar a cidade, com foco na sustentabilidade, o primeiro passo é criar um modelo, seguido do desenho urbano e de uma série

de práticas de projeto e planejamento para trabalhar, no sentido de estabelecer metas de sustentabilidade para determinada cidade.

A sustentabilidade diz respeito às futuras gerações, mas um importante aspecto quando se fala de sustentabilidade nas cidades é que a mesma deve ser tratada como um caminho para a cidade ideal, levando em conta as questões do mundo real. Para Newman e Kenworthy (1999), o conceito de sustentabilidade emerge do processo de política global, onde o encontro do Desenvolvimento Econômico, do Desenvolvimento das Comunidades e do Desenvolvimento Ecológico produz o Desenvolvimento Sustentável, reunindo utopias ecologistas, comunidades economicamente desenvolvidas e conservacionismo, conforme demonstrado na figura 01.

Figura 1 – Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Newman e Kenworthy (1999).

1.1 CIDADES E ECOSISTEMAS

Como os ecossistemas, a cidade é um sistema com entradas e saídas de energia e de materiais. Os principais problemas ambientais e custos econômicos estão relacionados ao aumento de entradas e, inevitavelmente, de saídas. Ao olhar a cidade como um todo e analisar os caminhos de energia e materiais, é possível conceber um sistema de gestão e tecnologia que permita reintegrar processos

naturais, aumentar a eficiência no uso dos recursos, reciclar materiais de alto valor e conservar e até mesmo produzir energia (NEWMAN; KENWORTHY, 1999, p.15).

Tabela 1 – Características de ecossistemas jovens e maduros e suas aplicações para o Desenvolvimento Sustentável nas cidades

Ecossistemas de Sucessão		Cidades em Desenvolvimento Sustentável	
ECOSSISTEMAS JOVENS	ECOSSISTEMAS MADUROS	CIDADES JOVENS	CIDADES MADURAS
Alta atividade fotossintética bruta e baixa eficiência.	Redução da atividade fotossintética bruta e alta eficiência.	Alta energia e baixa eficiência.	Redução da energia e alta eficiência
Perda de nutrientes	Reciclagem de nutrientes	Perda de nutrientes e materiais	Reciclagem de nutrientes e materiais

Fonte: Adaptado de Newman e Kenworthy (1999), p. 15.

A cidade é um sistema aberto com elevada complexidade nos fluxos de energia e materiais, assim como os ecossistemas. No entanto, diferente destes, a cidade não é um sistema homeostático nem possui tendência homeostática no curso do tempo, do mesmo modo que os ecossistemas. Esta condição está relacionada à necessidade constante de novos aportes de energia e materiais, em face do aumento do consumo, e de elevação da produção de resíduos, em razão das deficiências nos seus processos internos. Por este motivo, pensar e planejar a cidade com foco na sustentabilidade é buscar alternativas para aumentar a eficiência no uso de energia e materiais, reduzir a quantidade de novos aportes, aumentar a reciclagem e reduzir a produção de resíduos.

1.2 O MODELO DO METABOLISMO ESTENDIDO DE ASSENTAMENTOS HUMANOS

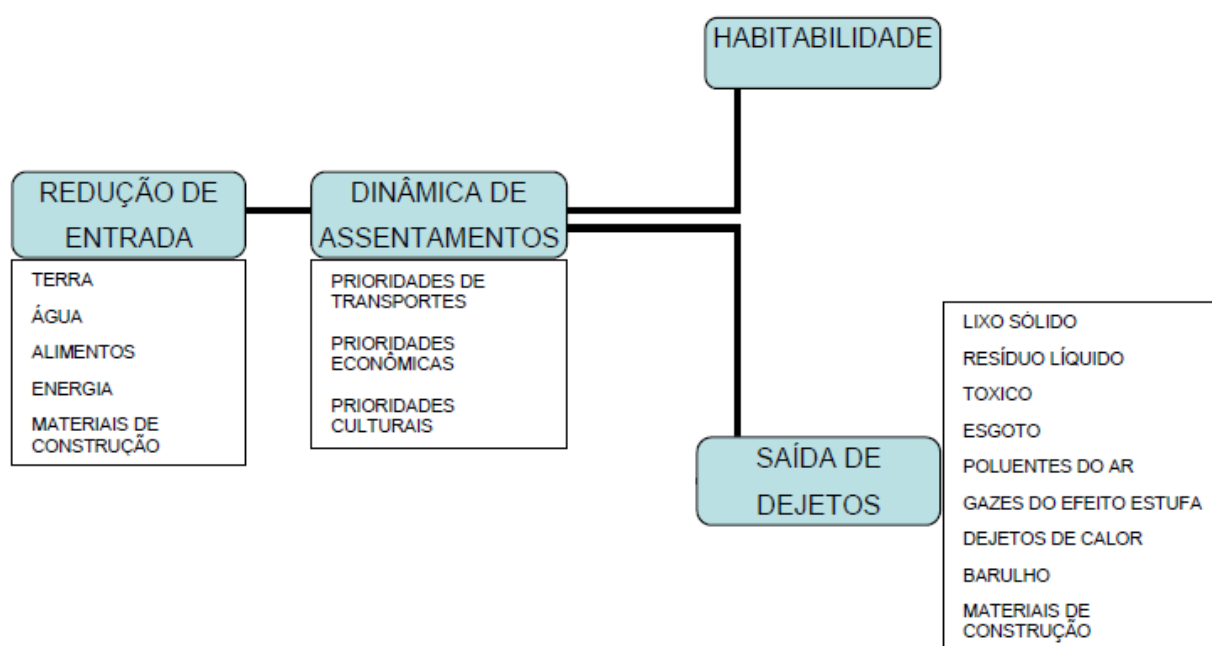
Um dos Princípios da Sustentabilidade Global é que o primeiro mundo deve reduzir o consumo dos recursos e a produção de resíduos. A tarefa de aplicar os princípios sustentabilidade pode parecer bastante avassaladora no âmbito global, mas ao nível das cidades, torna-se significativa.

Newman e Kenworthy (1999, p.8) afirmam que o processo biológico e físico do metabolismo humano ou de qualquer ecossistema é converter recursos em produtos e em dejetos. Esses metabolismos são baseados nas leis da termodinâmica, onde tudo dentro de um sistema biológico deve passar por um processo em que a quantidade de dejetos produzidos depende da quantidade de recursos.

O Modelo do Metabolismo Estendido de Assentamentos Humanos fornece uma maneira de integrar as questões ambientais com os aspectos sociais e econômicos das cidades. Trata-se de

uma forma eficaz para cidades tentarem criar uma visão holística para sua agenda de sustentabilidade. Isso permite ao gerenciamento urbano, criar indicadores de Sustentabilidade que juntos podem dar noção de se estão reduzindo ou aumentando a sua entrada e saídas de recursos de resíduos e ao mesmo tempo reduzindo ou melhorando a habitabilidade. Estes indicadores podem ser usados para tentar mostrar para as cidades o quanto têm contribuído para os problemas globais, como gases do efeito estufa e esgotamento do petróleo, e para mostrar cidadãos locais como estão conseguindo administrar questões de sustentabilidade que os impactam diretamente. No entanto se uma cidade se concentra em uma só questão local, é provável que perca grandes componentes da agenda de Sustentabilidade, como descrito acima (NEWMAN; KENWORTHY, 1999, p. 24).

Figura 2 – Modelo do Metabolismo Estendido de Assentamentos Humanos



Fonte: Newman; Kenworthy, 1999, p. 8.

2 METODOLOGIA

Para avaliar o Modelo de Metabolismo Estendido de Assentamentos Humanos, aplicou-se o mesmo de forma parcial ao município de Criciúma, SC, de modo a verificar a relação entre os recursos de entrada e a produção de dejetos de saída, itens que promovem a dinâmica da cidade.

Foram comparados dados referentes a ocupação do solo, consumo de energia elétrica, consumo de água tratada, lixo sólido, produção de rejeitos da mineração de carvão, rede de esgoto e poluição atmosférica. Este conjunto de dados estatísticos permite descobrir qual a adequação da cidade ao modelo sustentável e definir estratégias para o planejamento do desenvolvimento urbano com foco na sustentabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Município de Criciúma localiza-se no extremo sul de Santa Catarina, a 200 km de Florianópolis. É município sede da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (ANREC), juntamente outros dez municípios, que são: Cocal do Sul, Lauro Müller, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Treviso e Urussanga.

Atualmente, Criciúma é o maior município do Sul Catarinense e um dos cinco maiores de Santa Catarina, sendo rota de escoamento da produção da maioria desses, além de ser polo de comércio, serviços, atendimento à saúde e até mesmo como origem para transportes intermunicipais (Figura 3).

Figura 3 – Mapas de localização do município de Criciúma no Estado e principais municípios limítrofes.



Fonte: IPAT (2011)

A população de Criciúma cresceu nos últimos 40 anos mais de 135%, situando o município entre os mais populosos do Estado (Tabela 2).

Tabela 2 – Evolução populacional de Criciúma.

Município	População		
	1970	1991	2010
Criciúma	81.451	146.320	192.308

Fonte: IBGE (2010)

3.1 APLICAÇÃO PARCIAL DO MODELO DO METABOLISMO ESTENDIDO PARA ASSENTAMENTOS HUMANOS

A partir de consulta bibliográfica, de levantamentos junto aos órgãos competentes e consultas disponíveis nas *home pages* de instituições oficiais construíram-se as tabelas a seguir contendo os dados de entrada (Tabela 3) e de saídas (Tabela 4) para o município de Criciúma.

Tabela 03 – Dados de entrada para o município de Criciúma, SC.

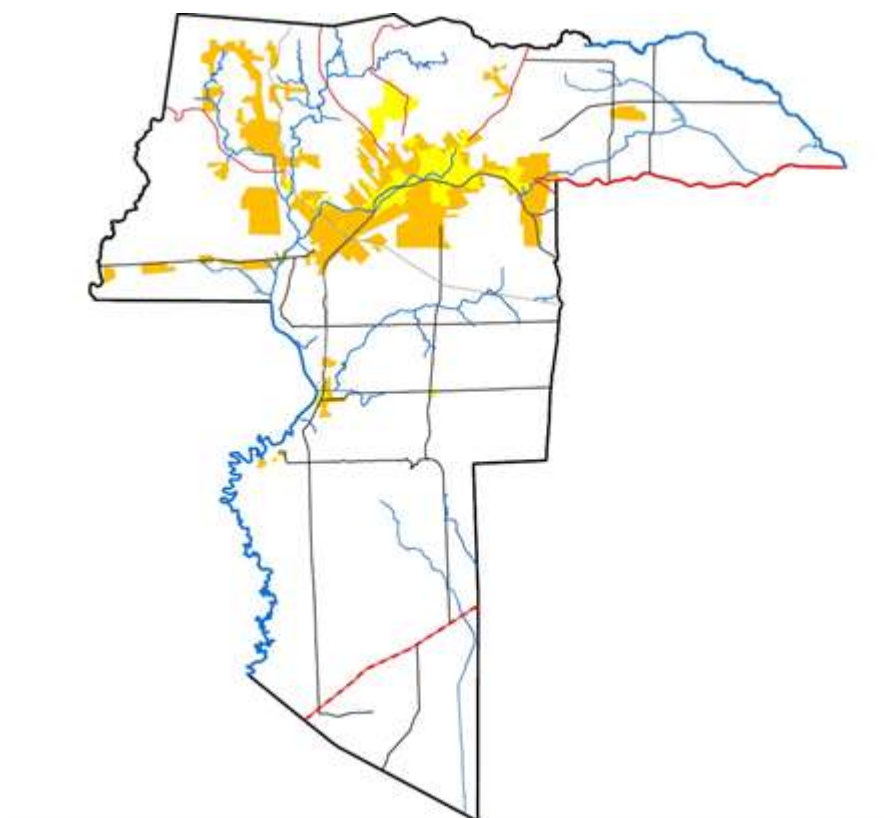
	ANO	QUANTIDADE	ANO	QUANTIDADE	OBSERVAÇÃO
OCUPAÇÃO DO SOLO	1978	Ver Mapa (fig. 4) 22,74 km ²	2001	Ver Mapa (fig. 5) 50,36 km ²	Aumento de mais de 100%
CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	1995	335.749.811 kw/h	2010	374.112.083 kw/h	O consumo aumentou apenas 11,42%
CONSUMO DE ÁGUA TRATADA	X	X	2010	8.077.977m ³ 190.545 habitantes em dezembro de 2010	X

Tabela 04 – Dados de saída para o município de Criciúma, SC.

	ANO	QUANTIDADE	ANO	QUANTIDADE	OBSERVAÇÃO
LIXO SÓLIDO	X	X	2010	90 toneladas	X
PIRITA	X	X	2010	39 mil toneladas	X
REDE DE ESGOTO	Anterior a 2008	Zero	2010	150 km 11 mil ligações prediais	35% da população urbanizada
POLUENTES DO AR – PTS ¹	1982	146,62 µg/m ³	1995	59,43 µg/m ³	Redução de 59,5%
POLUENTES DO AR – SO ₂	1982	107,67 µg/m ³	1995	39,46 µg/m ³	Redução de 63,5%

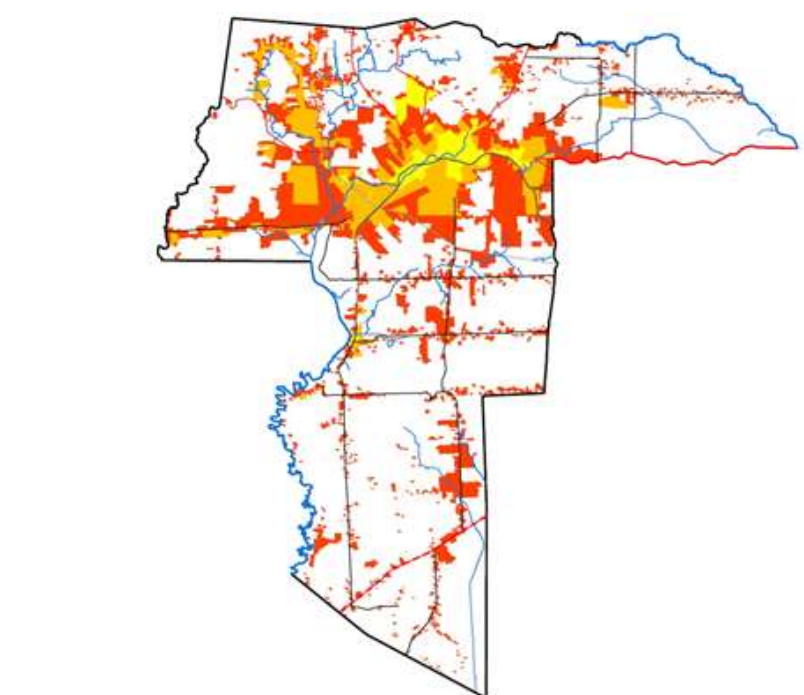
¹ Partículas Totais em Suspensão.

Figura 4 – Mapa da área urbanizada em 1978 (sem escala)



Fonte: IPAT (2011); manipulado por Guilherme Manenti (2011)

Figura 5 - Mapa de evolução da área urbanizada em 2001 (sem escala)



Fonte: IPAT (2011), manipulado por Guilherme Manenti (2011)

3.2 AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO PARCIAL DO MODELO DO METABOLISMO ESTENDIDO PARA O MUNICÍPIO DE CRICIÚMA E RECOMENDAÇÕES

Mesmo tendo selecionado apenas alguns dos indicadores propostos por Newman e Kenworthy (1999) para fazer uma análise parcial do modelo, não foi possível acessar todos os dados necessários, seja por inexistência de dados em acervo ou ainda por uma gestão deficiente da organização do acervo de dados. Dentro do possível, procedeu-se a análise e a produção dos resultados plausíveis.

- a) Avaliação da ocupação do solo no município para urbanização – Num intervalo de 23 anos, entre 1978 e 2001, a área urbanizada teve aumento em 121%. Isto significa que da área total de Criciúma (236 km²), em 2001, 21,34% (50,36 km²) estava urbanizada. Este processo se deu em razão do aumento acentuado da população urbana em Criciúma, que no último censo atingiu 98,6% (IBGE, 2010), além do crescimento populacional já mencionado. A expansão territorial de Criciúma deve ser cuidadosamente planejada, com limites previamente estabelecidos, para evitar sua total urbanização e conurbação com as cidades vizinhas bem como de vazios urbanos.
- b) Avaliação do consumo de Energia Elétrica – Num intervalo de 15 anos, entre 1995 e 2010, o consumo em kw/h aumentou 11,42%, enquanto que o incremento populacional foi de 17,3%. Esta diferença demonstra que ocorreu uma otimização do consumo de energia elétrica com um número maior de usuários para um consumo que, apesar do crescimento, foi em menor escala.
- c) Avaliação dos poluentes atmosféricos (PTS e SO₂) – Em relação aos poluentes atmosféricos, no período de 1982 a 1995, houve uma redução na emissão média anual na ordem de 60%. Este fato está ligado, entre outros fatores, a redução da atividade mineradora e a uma crescente exigência legal para a recuperação das áreas degradadas com depósitos de rejeitos da mineração de carvão. É um fato positivo, porém requer atenção por parte dos planejadores da cidade para que a destinação para uso destas áreas seja precedido por estudos técnicos, tendo em vista a presença de contaminantes nos rejeitos ali depositados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aporte da bibliografia e do levantamento dos dados, a intenção inicial de mensurar os recursos de entrada e a produção de dejetos de saídas, realizar a aplicação parcial do Modelo do Metabolismo Estendido para Assentamentos Humanos (NEWMAN; KENWORTHY, 1999) e, a partir disso, estabelecer

comparação entre dados anteriores e dados atuais para analisar a cidade de Criciúma, não foi possível da maneira prevista.

A inexistência ou falta de disponibilidade de dados, que são de competência de diversos órgãos e associações municipais, em Criciúma, geraram grande dificuldade no levantamento, análise e resultados. A pesquisa demonstrou que para a aplicação do modelo proposto, que proporciona uma forma de se “ler” a cidade com vistas a um Planejamento para o Desenvolvimento Urbano Sustentável, há a necessidade de manter um banco de dados atualizado.

Como recomendação, alerta-se para a necessidade e importância em se constituir e organizar um acervo de dados relativos aos municípios, de maneira integrada, permitindo desta forma, além de estudos de cunho acadêmico e científico, a gerência pública das informações referentes ao planejamento urbano na busca do desenvolvimento sustentável, econômico e social.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais. Campinas: Anpur, n. 1, maio/1999. p. 79-90.

AGENDA 21. Versão eletrônica 1.1. Projeto PNUB BRA/94/016. 1994. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2004.

BRASIL. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: 10 maio. 2011.

COELHO, João E. L. Significações do Estatuto da Cidade no contexto municipal e perspectivas no desenvolvimento regional. Disponível em: <http://www.professorallan.com.br/UserFiles/Arquivo/Artigo/artigo_significacoes_do_estatuto_da_cidade_no_contexto_municipal_e_perspectivas_no_developmento_regional.pdf>. Acesso em: 10 maio 2011.

DEBATIN NETO, A.: Notas de Aula: Disciplina de Mobilidade e Acessibilidade em áreas urbanas, PósArq, CTC – UFSC, 2011.

GONÇALVES, T. M. A cidade como palco da urbanidade. In: GONÇALVES, T. M.; SANTOS, R. dos (Orgs.). Cidade e Meio Ambiente: Estudos interdisciplinares. Criciúma, SC: UNESC, 2010. p. 17-32.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 maio 2012.

_____. IBGE Cidades@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>>. Acesso em: 17 maio 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS (IPAT) – UNESC: Mapa de Localização de Criciúma, SC. 2007.

_____. Mapa da área urbanizada em 1978 - Criciúma, SC. 2007.

_____. Mapa da evolução da área urbanizada em 2001 - Criciúma, SC. 2007.

NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. The Concept of Sustainability and Its Relationship to Cities. In: NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. Sustainability and Cities: Overcoming automobile dependence. Island Press: Washington, DC, 1999, p.1-27.

SIRKIS, A. O desafio ecológico das cidades. In: TRIGUEIRO, A. (Coord.). Meio Ambiente no século XXI. 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 215-230.

ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME V

 conhecimentolivre.org/home

 contato@conhecimentolivre.org

 [editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE