

REVISTA

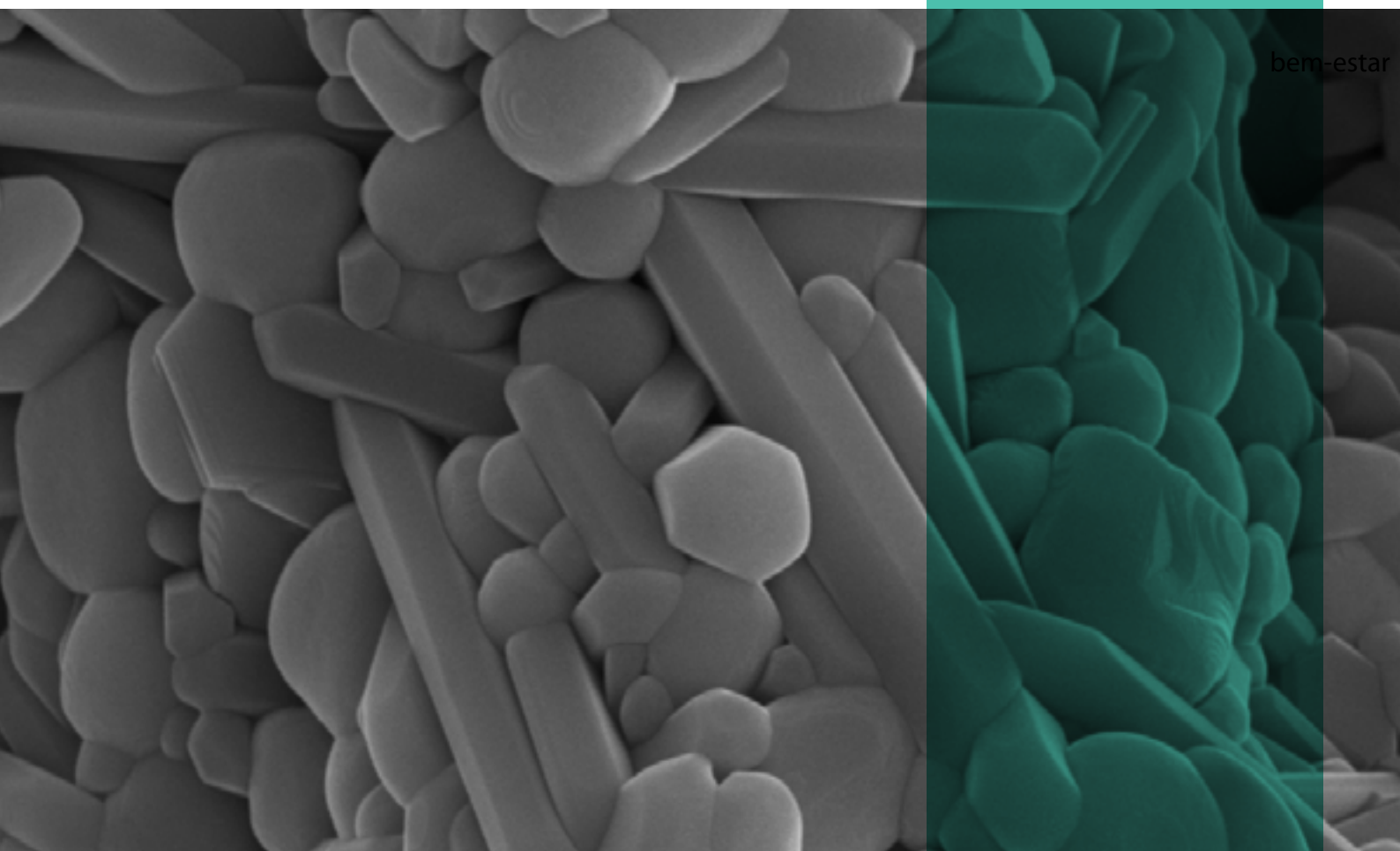
09

IPT

Tecnologia
e inovação

ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

Dezembro/2018



HABITAÇÃO

Avaliação da iluminação natural em habitações de interesse social contribui para o bem-estar

QUALIDADE

Promoção do uso da mentalidade de risco para prover produtos e serviços em conformidade

GASEIFICAÇÃO

Estudo sobre a sinterização de CeO_2 - La_2O_3 -silicato em diferentes temperaturas



REVISTA IPT | Tecnologia e Inovação

v.2, n.9, dezembro, 2018

Quadrimestral

Conselho Editorial

Adriana Camargo de Brito

Alex Fedozzi Vallone

Denis Bruno Virissimo

Juliana Lopes Cardoso

Luciana Aparecida Alves

Conselho técnico administrativo

Edna Baptista dos S. Gubitoso

Zehbour Panossian

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO:

Augusto Max Colin

ARTE:

Augusto Max Colin

Mariana Barbosa Firigato

Marina de Almeida Nunes

REVISÃO:

Edna Baptista dos S. Gubitoso

Zehbour Panossian

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã

05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830

#09

Revista IPT:
Tecnologia
e inovação

Artigos técnicos

SUMÁRIO

p.06	Contribuições para o aprimoramento do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de coberturas previsto na norma NBR 15575
p.14	Contribuições para o dimensionamento de aberturas para iluminação natural em habitações de interesse social
p.24	Limitações do método vigente para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem
p.39	Método para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos para hidromassagem
p.52	Identificação dos riscos e oportunidades do sistema de gestão da qualidade a partir do estímulo do exercício da mentalidade de risco
p.62	Baterias de íons lítio para veículos elétricos
p.83	<i>Effect of the temperature on the sintering behavior of $CeO_2-La_2O_3$ doped with silicate</i>

EDITORIAL



Zehbour Panossian
Diretora-Presidente do IPT

Servimos nesta nona edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação' um cardápio recheado de inovações, em sete artigos técnicos. Foram elaborados por nossos pesquisadores e colaboradores. O Instituto renova sua missão estratégica de compartilhar o conhecimento produzido.

Abre esta edição o artigo 'Contribuições para o aprimoramento do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de coberturas previsto na norma NBR 15575'. O objetivo do trabalho é subsidiar o aprimoramento da norma no quesito referente à avaliação do desempenho de edificações pelo método simplificado para o componente 'Coberturas'.

Em 'Contribuições para o dimensionamento de aberturas para iluminação natural em habitações de interesse social', uma perspectiva de racionalização. A pesquisa procura contribuir para aprimorar critérios de avaliação da iluminação natural em habitações.

Segue-se o estudo 'Limitações do método vigente para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem'. O aumento no consumo de energia elétrica e as recentes crises hídricas, tornaram a geração de eletricidade mais cara no País. É imprescindível o desenvolvimento de equipamentos elétricos mais eficientes.

O trabalho 'Método para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos para hidromassagem' apresenta outra abordagem do tema, relevante pelo potencial econômico. O aquecimento de água para o banho é uma necessidade em diversas cidades. O método proposto preconiza a avaliação da eficiência energética visando maior confiabilidade dos resultados, quando comparados aos obtidos pelo método atual.

O artigo 'Identificação dos riscos e oportunidades do sistema de gestão da qualidade a partir do estímulo do exercício da mentalidade de risco – Estudo de caso do IPT' é desafiador. Parte da norma ABNT NBR ISO 9001:2015, que especifica os requisitos para que o sistema de gestão demonstre sua capacidade de prover produtos e serviços em conformidade, capazes de aumentar a satisfação do cliente. Um deles é promover o uso da mentalidade de risco.

Mais um artigo, 'Baterias de íons Li para veículos elétricos', mostra a preocupação com ações voltadas à economia de recursos naturais para suprir as demandas provocadas pelo grande consumo de aparelhos celulares, laptops e, mais recentemente, a introdução dos carros elétricos. As baterias de íons lítio são as mais usadas devido ao seu elevado potencial elétrico e baixo peso.

Completa esta edição o artigo 'Efeito da temperatura no comportamento de sinterização de $\text{CeO}_2\text{-La}_2\text{O}_3$ dopado com silicato'. A matéria-prima foi analisada por distribuição granulométrica, análise térmica diferencial e microscopia eletrônica de varredura, entre outros. O compacto sinterizado pode ser um candidato para uso como revestimento refratário em gaseificadores de biomassa.

Contribuições para o aprimoramento do método simplificado de avaliação do desempenho térmico de coberturas previsto na norma NBR 15575

Contributions for the improvement of the simplified method for evaluating the thermal performance of roofs provided by standard NBR 15575:2013

Adriana Camargo de Brito^{a*}, Henrique Lima Pires^b, Maria Akutsu^a

^a Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^b Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: adrianab@ipt.br

Palavras-chave:
NBR 15575; desempenho térmico; ventilação; material isolante.

Keywords:
NBR 15575; thermal performance; ventilation; insulation material.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo subsidiar o aprimoramento da norma NBR 15575:2013 no quesito referente à avaliação do desempenho térmico de edificações pelo método simplificado, para o componente "Coberturas". No Anexo I da parte 5 da referida norma, há uma observação quanto a esse método, no rodapé da tabela I.4, informando que, para a Zona Bioclimática 8, coberturas de telha cerâmica, mesmo sem forro, atenderiam o nível "Mínimo" de desempenho. Neste sentido, existem trabalhos publicados que demonstram exatamente o oposto. Para elucidar essa questão, foram realizadas avaliações do desempenho térmico por meio do método de simulações computacionais, considerando-se uma habitação localizada na Zona Bioclimática 8, com vários tipos de coberturas e diferentes condições de ventilação em um dia típico de verão. Os resultados obtidos indicam que, em edificações com cobertura sem material isolante térmico, um aumento da ventilação do ático não é suficiente para melhorar o desempenho térmico da habitação, por não afetar as trocas térmicas que ocorrem por radiação. Somente com o uso de materiais isolantes térmicos há uma melhora significativa no desempenho térmico da habitação.

Abstract

The objective of this paper is to support the improvement of the standard NBR 15575:2013 regarding the assessment of thermal performance of roofs through the simplified method. In Annex I of part 5 of this standard, there is an observation regarding this method, in the foot note of table I.4, stating that, for Bioclimatic Zone 8, ceramic roof tiles, even without a ceiling, would achieve the "Minimum" performance. In this sense, there are works that demonstrate exactly an opposite conclusion. In order to elucidate this issue, thermal simulations of housing located in Bioclimatic Zone 8, with several types of roofing and different ventilation conditions on a typical summer day, were performed. The obtained results indicate that, for roofs without thermal insulation, just an increase in attic ventilation is not enough to improve the thermal performance of the dwelling, since it does not affect the heat exchange which occurs by radiation. Only with the use of thermal-insulation materials, a significant improvement in the thermal performance of the housing is achieved.

1 Introdução

A norma NBR 15575:2013 apresenta requisitos e critérios para avaliação do desempenho de edificações habitacionais, visando garantir condições de habitabilidade. Para a avaliação do desempenho térmico, a norma dispõe de três métodos de avaliação: simplificado, simulação e medição. O método simplificado estabelece, para coberturas, um valor limite máximo para a transmitância térmica, em função da Zona Bioclimática, da cor da superfície externa (absortância à radiação solar) e para as Zonas 7 e 8 é considerado também um fator de ventilação.

No Anexo I da parte 5 da referida norma, há uma observação quanto a esse método, no rodapé da Tabela I.4, informando que, para a Zona Bioclimática 8, coberturas de telha cerâmica, mesmo sem forro, atenderiam ao nível "mínimo". Todavia, vários autores demonstram que isso pode não ocorrer em edificações reais. Brito e Akutsu (2015) apontam a importância da isolação térmica da cobertura de habitações no atendimento ao nível de desempenho térmico "mínimo" que, geralmente, não ocorre sem a presença de laje ou forro, especialmente, em função da cor utilizada na face externa da cobertura e de elementos isolantes. Ferreira, Souza e Assis (2017) apontam a necessidade de se utilizar coberturas isolantes, ao invés de somente refletoras, em edificações na Zona Bioclimática 8, o que requer que haja forro ou barreiras radiantes nesse componente.

Os objetivos deste trabalho foram: a) identificar o efeito do uso de forros, com e sem materiais isolantes térmicos, na cobertura de habitação e da taxa de ventilação do ático no desempenho térmico da edificação; b) apontar fatores a serem aprimorados no método simplificado de avaliação do desempenho térmico de habitações quanto à cobertura.

2 Procedimento metodológico

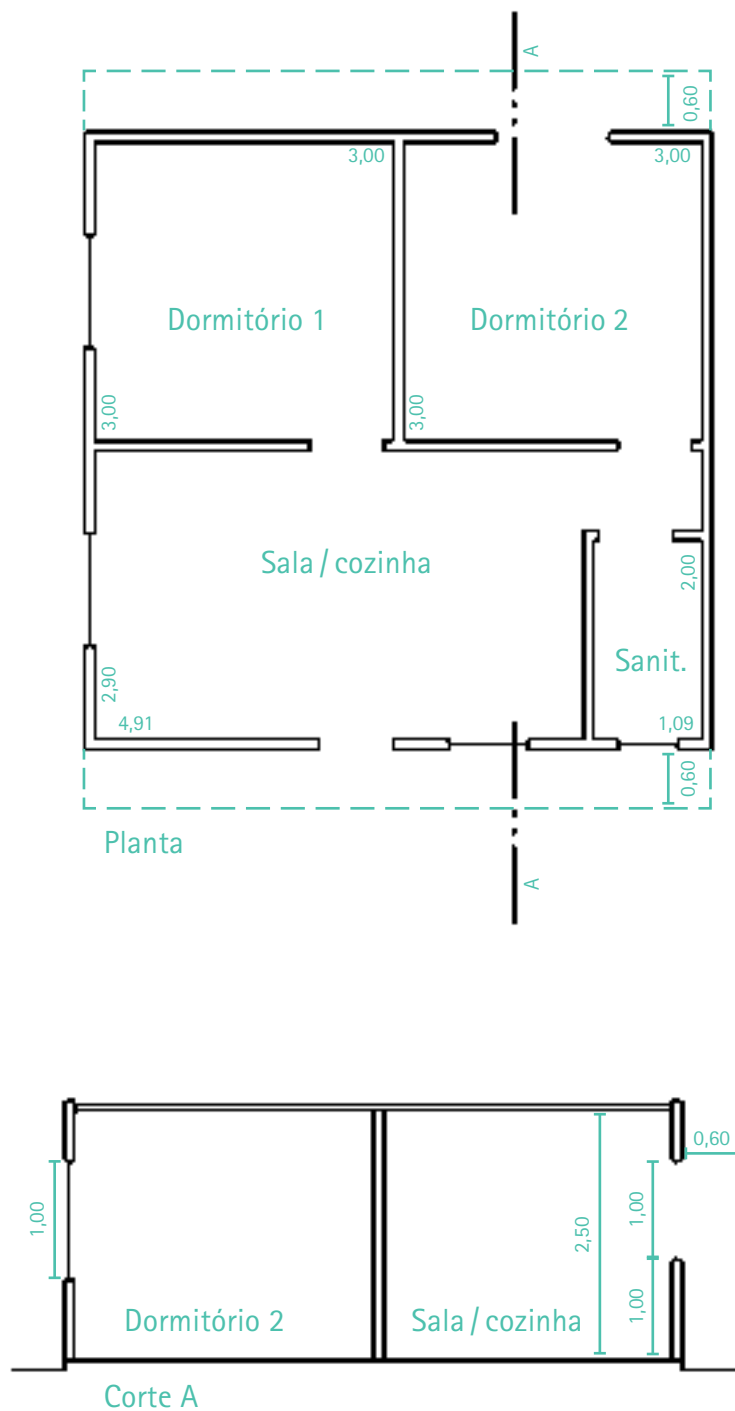
Foram realizadas simulações computacionais da resposta térmica de uma habitação térrea (**Figura 1**), com paredes de 10 cm de concreto comum e telhado em telhas cerâmicas, sem forro e com forro em *drywall*. A habitação foi simulada sem fontes internas de calor, com janelas de dormitórios e sala voltadas para a direção oeste, com ventilação a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1 Ren/h).

Foram consideradas várias situações de isolamento térmica e de condições de ventilação da cobertura, conforme disposto nas **tabelas 1 e 3**. A habitação foi exposta às condições climáticas de um dia típico de verão da cidade de Manaus – AM (Zona Bioclimática 8), como descrito na **Tabela 2**.

Foram analisados os dados obtidos para o ambiente do ático e do "Dormitório 1", indicados nos gráficos como "D1". Esse recinto (D1) foi selecionado para ilustrar os resultados por apresentar valores mais críticos em comparação com os outros ambientes da habitação. Foram verificadas situações nas quais o recinto atende ao nível "mínimo" de desempenho térmico, segundo a norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), ou seja, quando a temperatura máxima do ar interior é menor ou igual à temperatura máxima do ar exterior.

Figura 1 - Projeto da habitação (unidade em m)

Casa térrea isolada 2 dormitórios



Fonte: Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (1997)

Tabela 1 – Condições de isolamento térmica e de taxas de ventilação da cobertura

Item	Componente	Lã de rocha sobre o forro (cm)	Taxa de renovação do ar na cobertura (Ren/h)
1	Sem forro	-	1
2		-	1
3	Forro de <i>drywall</i> com 1,2 cm de espessura	-	5
4		-	10
5		2,5	1
6		5	1
7		10	1

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 2 – Dados climáticos de um dia típico de verão da cidade de Manaus

Dia do ano	Temperatura do solo (°C)	Temperatura Máxima de Bulbo Seco (°C)	Amplitude diária da temperatura do ar (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	Radiação solar global incidente no plano horizontal (kW/m ²)
15/set	26,7	34,9	9,1	26,4	5,18

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 3 – Características dos materiais

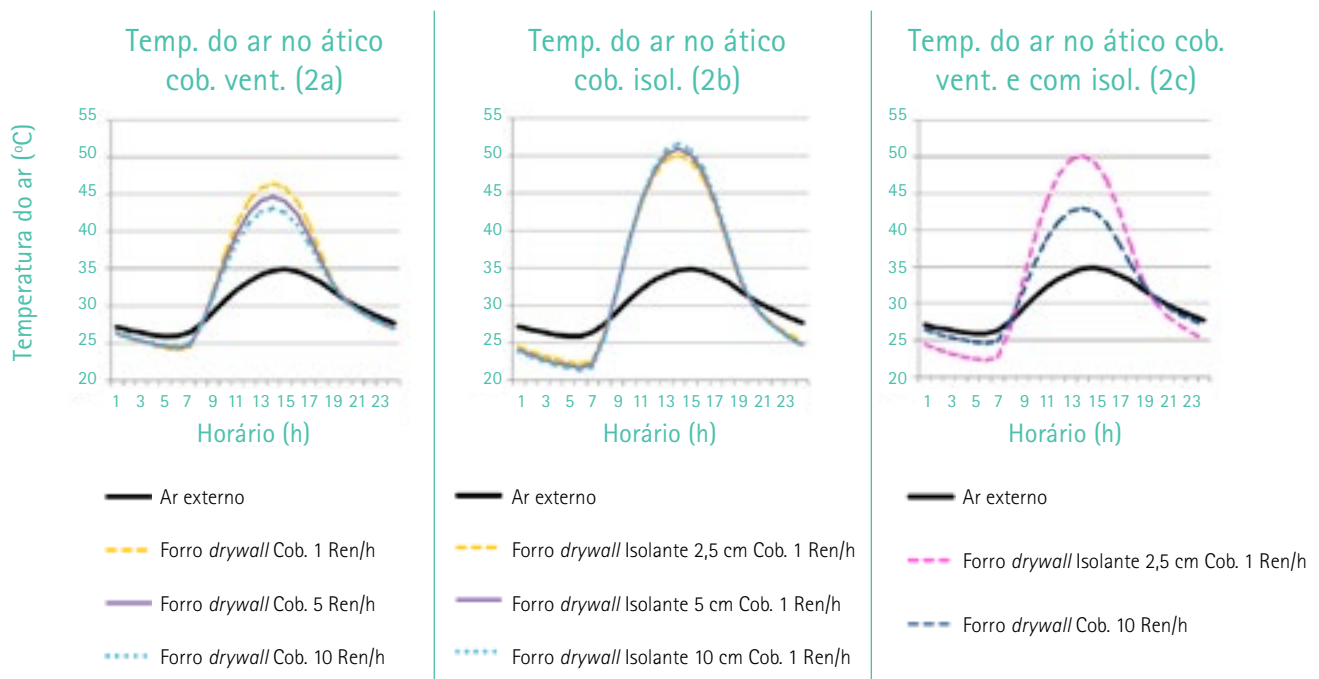
Material	Condutividade térmica (W/m·K)	Massa específica (kg/m ³)	Calor específico (kJ/m ³ ·K)	Absortância da superfície externa
Concreto	1,7	2400	1000	0,5
Cerâmica	0,8	1800	840	0,7
<i>Drywall</i>	0,3	720	840	-
Lã de rocha	0,05	100	750	-

Fonte: norma NBR 15220 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008)

3 Resultados e discussão

A **Figura 2** apresenta os valores da temperatura horária do ar no interior do ambiente do ático e a **Figura 3** apresenta os mesmos parâmetros para o "dormitório 1", incluindo a situação sem forro na cobertura.

Figura 2 – Temperatura do ar no ático para cobertura com forro em *drywall*: 2a) sem isolante e várias taxas de ventilação; 2b) sem ventilação (1 Ren/h) com diferentes espessuras de isolante; 2c) comparação entre sem ventilação (1 Ren/h) com isolante (2,5 cm) e sem isolante com ventilação de 10 Ren/h



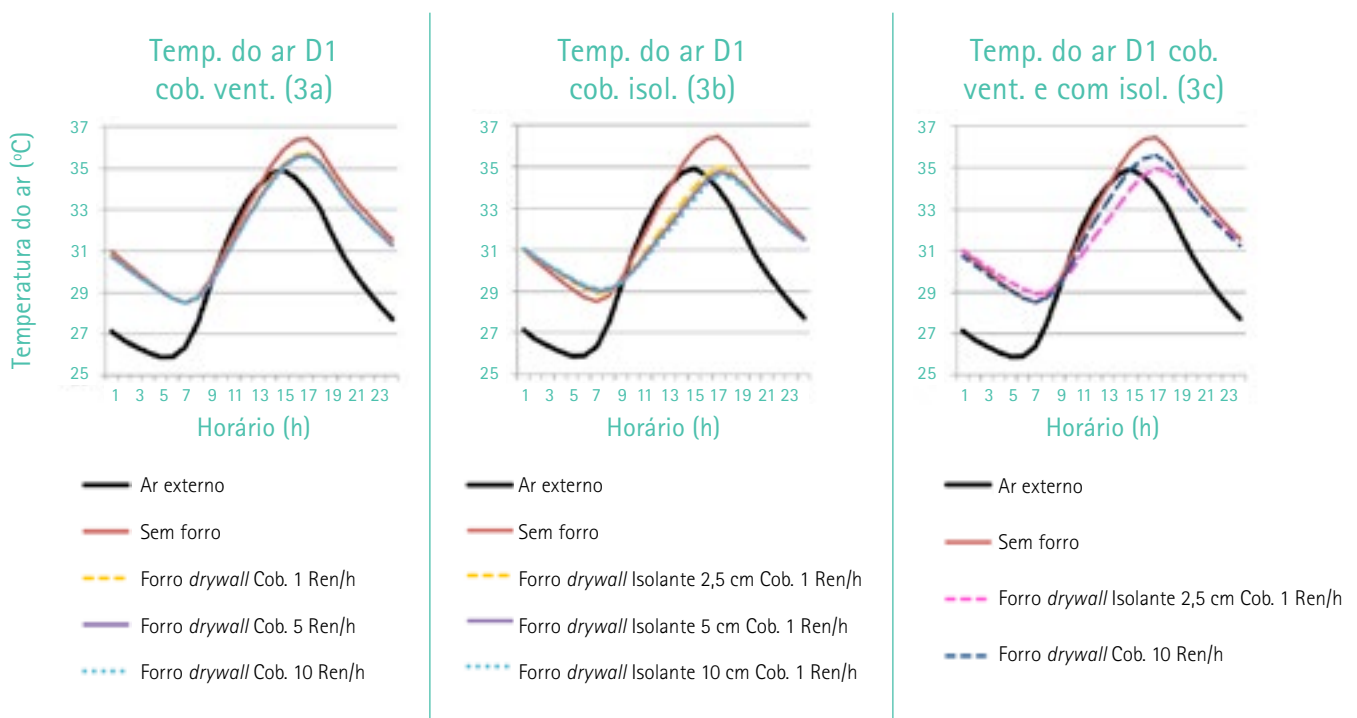
Fonte: elaborado pelos autores

Verificou-se que nas situações com forro de *drywall* e ático ventilado, a temperatura máxima do ar desse ambiente é, significativamente, menor com a taxa de ventilação de 10 Ren/h (43 °C), enquanto na situação com menor ventilação (1 Ren/h), a temperatura máxima do ar é de 46,5 °C .

Com o acréscimo de material isolante térmico sobre o forro e taxa de ventilação de 1 Ren/h, o valor máximo da temperatura do ar no ático é da ordem de 50 °C, independente da espessura do material isolante (2,5 cm a 10 cm).

Nota-se que, nas situações com material isolante térmico, o valor da temperatura máxima do ar no ático é significativamente maior em comparação com as situações com o ático ventilado, com uma diferença de 4 °C a 7 °C, dependendo da taxa de ventilação considerada.

Figura 3 – Temperatura do ar no "dormitório 1", para cobertura com forro em *drywall*: 3a) sem isolante e várias taxas de ventilação da cobertura; 3b) sem ventilação da cobertura (1 Ren/h) com diferentes espessuras de isolante; 3c) comparação entre sem ventilação (1 Ren/h) com isolante (2,5 cm) e sem isolante com ventilação de 10 Ren/h



Fonte: elaborado pelos autores

No "dormitório 1", na condição sem forro, a temperatura máxima do ar interior é de 36,5 °C, enquanto que nas situações com forro de *drywall* e ventilação de até 10 Ren/h no ático, a temperatura máxima é da ordem de 35,5 °C. Em ambos os casos não é atendido o nível "mínimo" de desempenho térmico, conforme a norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Com o acréscimo de, pelo menos, 2,5 cm de material isolante térmico sobre o forro, a temperatura máxima do ar interior é da ordem de 34,6 °C, atendendo ao critério referente ao nível "mínimo" de desempenho térmico, além de proporcionar uma redução de 2 °C, em comparação com a temperatura máxima do ar interior no recinto sem forro.

4 Conclusões

De modo geral, nota-se que, embora no ático o efeito da ventilação da cobertura seja significativo para reduzir a temperatura máxima do ar nesse ambiente, não é suficiente para proporcionar desempenho térmico adequado à habitação, por não afetar as trocas térmicas decorrentes da radiação.

Ventilar o ático pode ser uma opção adequada em comparação com uma situação sem forro. Porém, somente com o uso de elementos isolantes térmicos na cobertura há uma melhora significativa nas condições térmicas da habitação, proporcionando o atendimento ao nível "mínimo" de desempenho térmico. Os resultados deste estudo indicam que isolante térmico do tipo resistivo, com espessura de pelo menos 2,5 cm, colocado sobre o forro da cobertura é suficiente para atender ao critério do nível de desempenho térmico "mínimo".

Vale ressaltar que isso é válido para ambientes habitacionais nos moldes dos analisados, com fontes internas de calor pouco significativas. Para outros modelos de edificação, ou ambientes com fontes internas de calor significativas, é necessário realizar estudos específicos para verificar a adequação de se utilizar materiais isolantes térmicos em componentes construtivos.

É necessário revisar o critério do método simplificado para coberturas, indicado na norma NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), especialmente, quanto ao isolamento térmico da cobertura em função da ventilação do recinto, visto que ventilar a cobertura nem sempre compensará o uso de componentes com baixa isolação térmica ou sem forro.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Desempenho –Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M. Contribuição da cor da cobertura na melhoria do desempenho térmico de habitação no período de verão. In: ENCONTRO NACIONAL, 13., / ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2015, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: Antac, 2015.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Caderno de Tipologias**. São Paulo: CDHU, 1997.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A.; ASSIS, E. S. de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183- 200, jan./mar. 2017. ISSN 1678-862.

Contribuições para o dimensionamento de aberturas para iluminação natural em habitações de interesse social

Contributions to the sizing of openings for natural lighting in popular homes

Ary Rodrigues Alves Netto^a, Douglas Barreto^a,
Adriana Camargo de Brito^{b*}, Maria Akutsu^b

^a Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

^b Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: adrianab@ipt.br

Palavras-chave:
janelas; luz natural; fator de luz diurna.

Keywords:
windows; natural light; daylight factor.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o aprimoramento dos critérios de avaliação da iluminação natural em habitações, apresentados na norma ABNT NBR 15575-5:2013. Os valores mínimos de iluminância estabelecidos nessa norma, tanto para iluminação natural como para iluminação artificial não atendem aos valores mínimos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, que trata das condições para o conforto visual dos ocupantes. Dessa forma, ambientes projetados para atender somente ao critério mínimo para iluminação natural podem ter como consequência não somente o desconforto visual, como também gastos adicionais pelo consumo de energia elétrica com a iluminação artificial, visando atingir o conforto visual mínimo, com impactos mais significativos para a população de baixa renda. Foi estimada a melhoria do uso de luz natural considerando as áreas efetivas de iluminação proporcionadas por janelas, comumente, encontradas no mercado brasileiro para uso em habitações, comparando-se os valores do "Fator de Luz Diurna" (*FLD*) obtidos de um conjunto de simulações computacionais. As simulações foram realizadas para determinar a iluminância em um ponto central de um recinto, sob três condições de céu, para os solstícios e equinócios, das 8 h às 17 h, em intervalos de 30 min. Além disso, foi determinado o "Fator de Luz Diurna referência" (*FLDr*), definido como a relação entre os valores da iluminância estabelecida na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 e da iluminância externa. Os resultados mostram que é possível distinguir, claramente, entre os tipos de janela que podem atender aos requisitos de conforto visual conforme as relações entre a dimensão do ambiente e a área útil para iluminação da janela. Com base nesses aspectos, os requisitos e critérios da norma

ABNT NBR 15575-5:2013 podem ser aprimorados tendo em vista garantir um conforto visual mínimo e reduzir o consumo de energia para iluminação artificial.

Abstract

The objective of this paper is to contribute to the improvement of the criteria for the evaluation of natural lighting in dwellings, presented in the Brazilian Standard ABNT NBR 15575-5:2013. The minimum values of illuminance established in this standard, both for natural lighting and artificial lighting, do not achieve the minimum values established in the Brazilian Standard ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 which deals with the conditions for the visual comfort of the occupants. Thus, environments designed to meet only the minimum criteria for natural lighting may have, as a consequence, not only the visual discomfort, but also additional expenses for the electric energy consumption with the artificial lighting. An estimation was made for the improvement of the use of natural light considering the effective areas of illumination provided by windows found in the Brazilian market for use in dwellings and was compared to the "Daylight Factor" (FLD) values obtained from a set of computational simulations. The simulations were made to determine an illuminance at a central point of the enclosure under three sky conditions for the solstices and equinoxes, from 8:00 a.m. to 5:00 p.m., at 30-minute intervals. In addition, the "Reference Daylight Factor" (FLDr), defined as the relationship between the values of the illuminance established in the Brazilian Standard ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 and the external illuminance, was determined. The results show that it is possible to clearly distinguish between window types that can meet the requirements of visual comfort according to the relationship between the size of the environment and the window lighting area. Based on these aspects, the requirements and the criteria of ABNT NBR 15575-5:2013 can be improved to ensure minimal visual comfort and to reduce energy consumption for artificial lighting.

1 Introdução

O aproveitamento da iluminação natural nos ambientes internos das edificações, além de ser importante recurso para promover o bem-estar dos ocupantes, pode reduzir o consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação artificial. Em habitações de interesse social, tal fator torna-se ainda mais importante, visto que os proprietários dessas edificações nem sempre dispõem de recursos suficientes para arcar com custos elevados de energia elétrica.

Geralmente, a luz natural é obtida por meio das aberturas laterais, dimensionadas de modo a proporcionar valores mínimos de iluminância interna, conforme estabelecido em normas técnicas ou para atender a dimensões mínimas das esquadrias previstas em documentos como os Códigos de Obras e Edificações.

Na norma ABNT NBR 15575-5:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) há dois métodos de avaliação da iluminação natural e um método para avaliação da iluminação artificial. Para iluminação natural, o método por cálculos permite a obtenção da iluminância nos ambientes considerando céu parcialmente encoberto, com 50 % de nuvens, para dias específicos do

ano, das 9 h até às 15 h 30 min. É exigida uma iluminância mínima de 60 lx, obtida somente com a iluminação natural. Para o método de medições, devem ser feitas medições da iluminância interna e externa do recinto, em dias com cobertura de nuvens maior que 50 %, das 9 h às 15 h, para calcular o Fator de Luz Diurna – FLD, que deve ser de, no mínimo, 0,5 %.

Para a iluminação artificial a norma ABNT NBR 15575-5:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) indica que podem ser feitos cálculos ou medições no local para obter o valor da iluminância, exigindo-se uma iluminância mínima de 100 lx para sala, dormitório, banheiro e área de serviço e 200 lx para a cozinha.

Com base na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b), para recintos como dormitórios, salas e cozinhas de habitações, em que podem ser realizadas tarefas de leitura, seria necessária uma iluminância mínima de 300 lx, que pode ser obtida com iluminação artificial, natural ou ambas.

Foram observadas incompatibilidades entre os critérios indicados nas normas ABNT NBR 15575-5:2013 e ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a; 2013b). Um exemplo são os valores mínimos da iluminância, exigidos para iluminação natural e artificial indicados na NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), para a sala, respectivamente, 60 lx e 100 lx. Mesmo se houver a possibilidade de utilizar iluminação natural e artificial de modo conjunto para obter tais valores, a iluminância do recinto é de 160 lx, não atendendo ao valor mínimo da iluminância para o ambiente, com base na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

Em Códigos de Obras e Edificações de várias cidades brasileiras, geralmente há exigências para as dimensões mínimas das aberturas para iluminação e ventilação naturais em habitações, considerando uma relação de área entre o tamanho da abertura e o tamanho do piso do recinto. Entretanto, há documentos, como o Código de Obras da cidade de São Carlos (SÃO CARLOS, 2011), que estabelecem recuos mínimos de divisas para a disposição de aberturas para iluminação e ventilação naturais em fachadas, sem, no entanto, indicar as dimensões mínimas das aberturas.

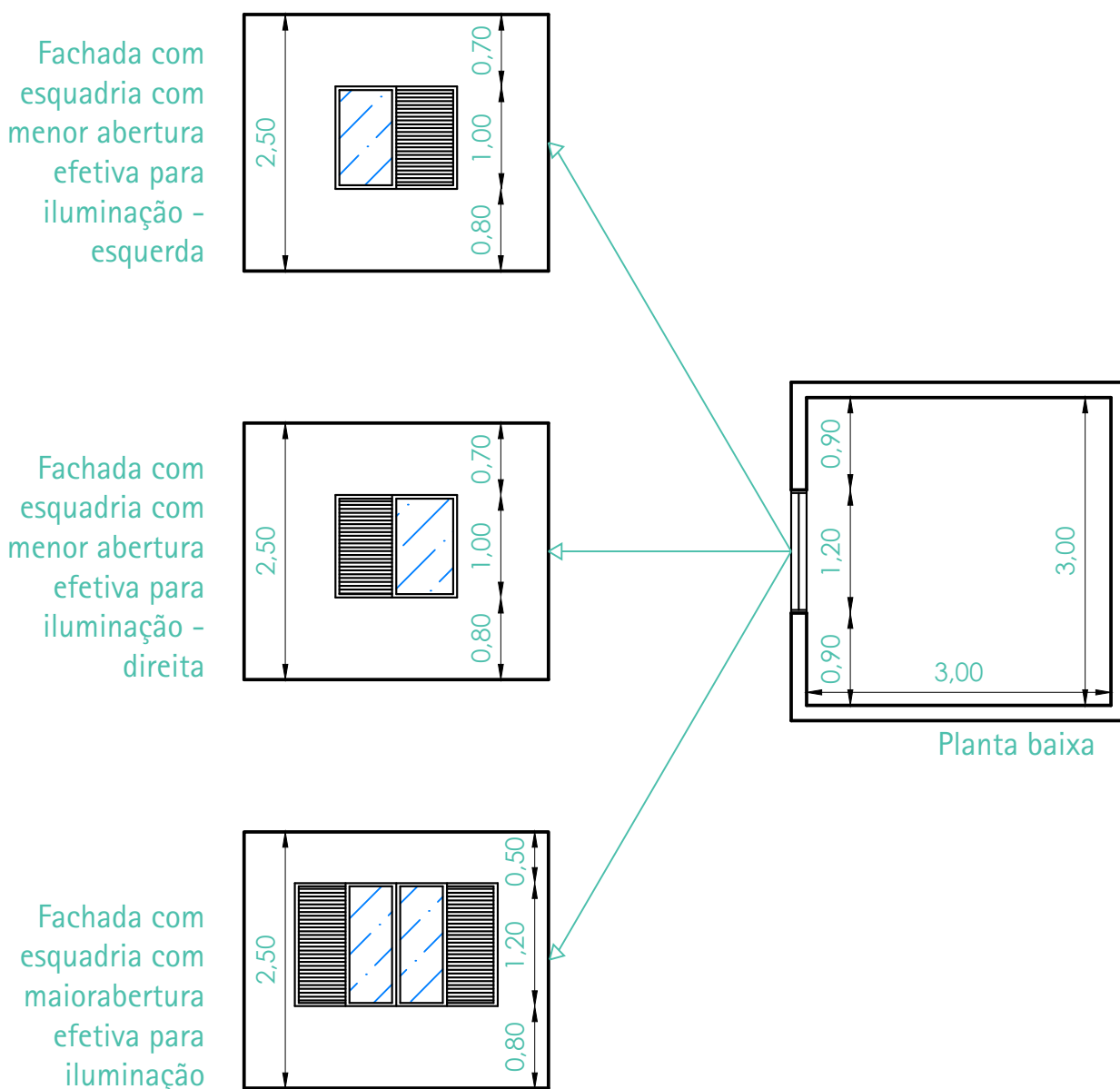
Embora haja vários instrumentos normativos sobre o tema, na prática, mesmo com o atendimento de seus critérios, nem sempre é obtida a quantidade de luz natural necessária à realização das tarefas no interior dos recintos (CASTRO et. al., 2015). Além de poder causar desconforto ao usuário, isso implica em maior uso de iluminação artificial, muitas vezes em locais com disponibilidade significativa de luz natural.

O objetivo do trabalho é gerar contribuições para o dimensionamento de aberturas para iluminação natural em habitações de interesse social, visando maior aproveitamento da iluminação natural e economia de energia com iluminação artificial.

2 Procedimento metodológico

Foram selecionadas esquadrias disponíveis no mercado nacional, com a menor e maior abertura efetiva para iluminação, fabricadas em alumínio e certificadas pelo Programa Setorial da Qualidade – PSQ do Ministério das Cidades do governo federal brasileiro. Consideraram-se as esquadrias em um cômodo típico de uma habitação de interesse social (**figuras 1 a 3**), na cidade de São Carlos, com janela orientada à direção norte.

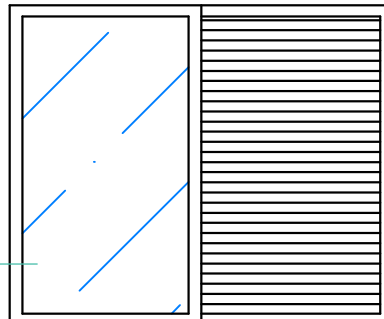
Figura 1 – Dimensões (em m) do ambiente analisado e fachadas



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 2 – Dimensões da abertura efetiva para iluminação – esquadria menor

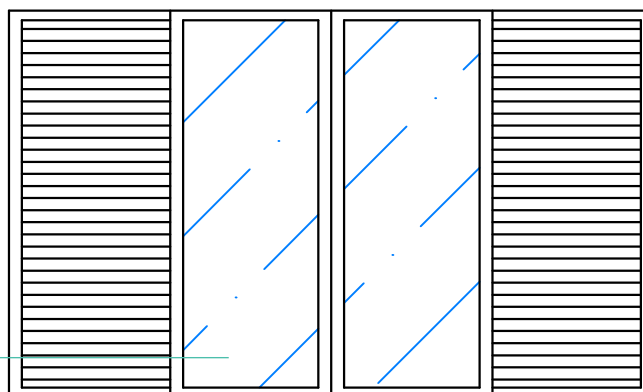
Abertura efetiva para iluminação
 $0,52 \text{ m} \times 0,93 \text{ m} = 0,48 \text{ m}^2$
(5 % da área de piso do recinto)



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 3 – Dimensões da abertura efetiva para iluminação – esquadria maior

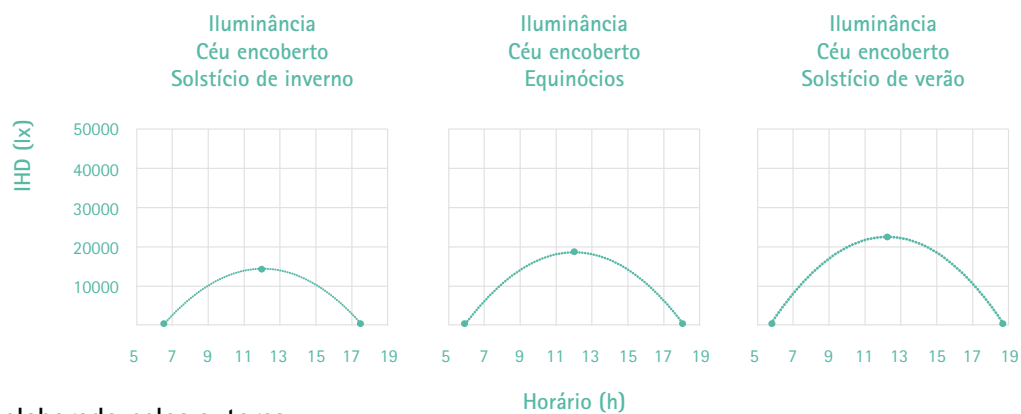
Abertura efetiva para iluminação
 $0,84 \text{ m} \times 1,12 \text{ m} = 0,94 \text{ m}^2$
(10 % da área de piso do recinto)



Fonte: elaborado pelos autores

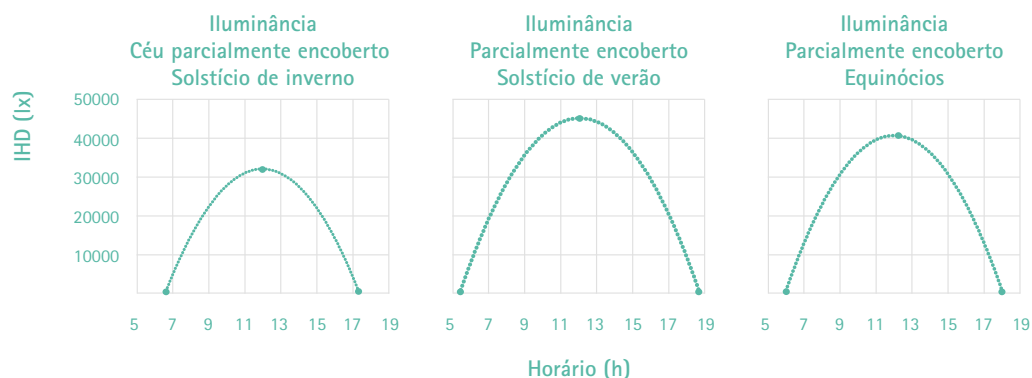
Foram feitas simulações computacionais com o programa TropLux (CABÚS, 2011) para se determinar a iluminância no local, com os tipos de céu 1, 8 e 12, padrão CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE, 2003), respectivamente, um céu encoberto, parcialmente encoberto e, claro, nos solstícios e equinócios (**figuras 4 a 6**). Esses tipos de céu correspondem aos tipos encontrados em cidades brasileiras.

Figura 4 – Iluminância para o céu encoberto



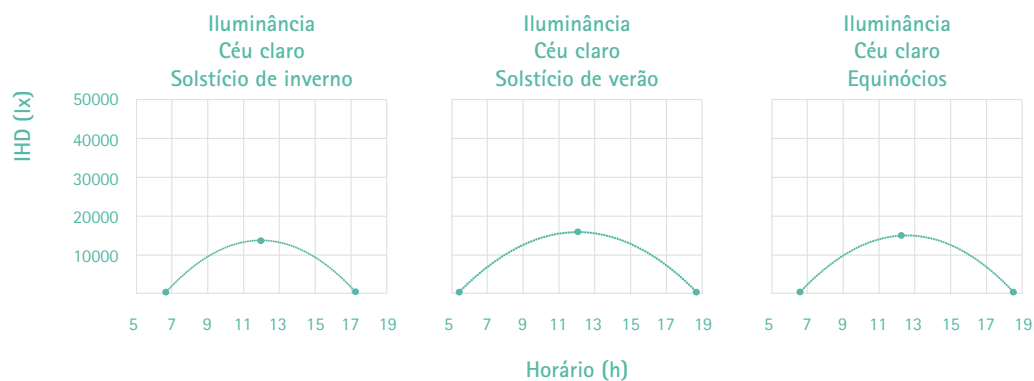
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 – Iluminância para o céu parcialmente encoberto



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 6 – Iluminância para o céu claro



Fonte: elaborado pelos autores

As simulações foram feitas para um ponto de referência localizado no centro do ambiente a 0,75 m do piso acabado, para os solstícios de verão e de inverno e para os equinócios de primavera e outono, das 8 h às 17 h, em intervalos de 30 min.

Foi calculado o fator de luz diurna – *FLD* para cada período e comparado com o fator de luz diurna referência – *FLDr*, definido como sendo a iluminância mínima recomendada pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b), com o uso da **Equação 1**. O *FLDr* foi obtido substituindo-se na equação o valor da iluminância no ponto de referência pelo valor de iluminância de 300 lx para esse tipo de ambiente, com base na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b).

$$FLD = (E_p / E_{h_{ext}}) \times 100 \% \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

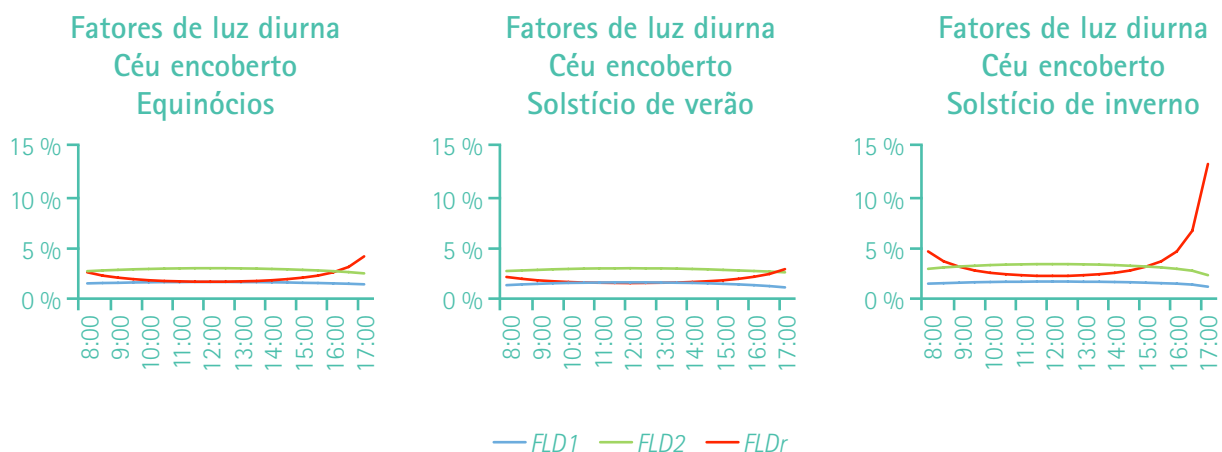
E_p é a iluminância no ponto de referência

$E_{h_{ext}}$ é a iluminância externa

3 Resultados e discussão

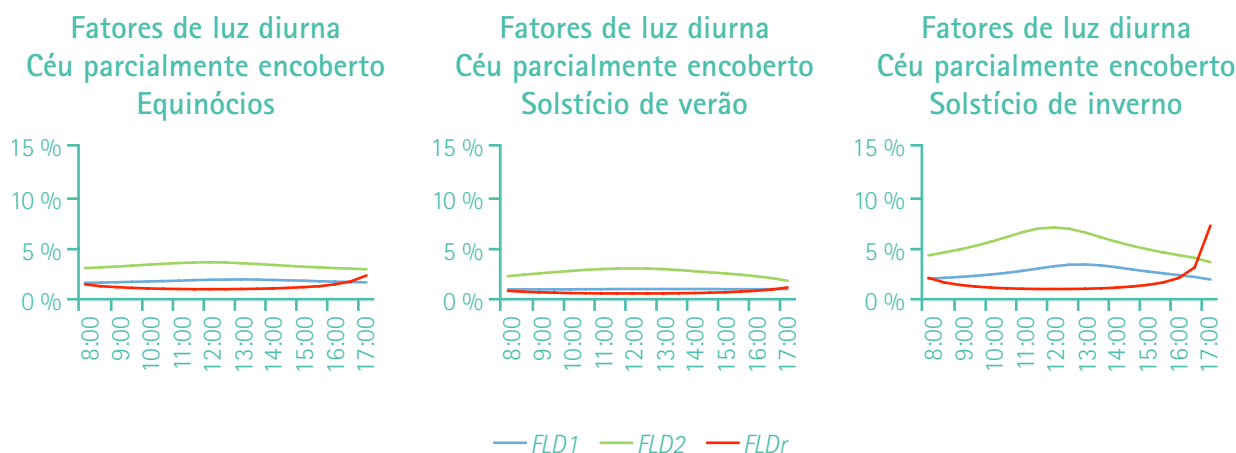
A **Figura 7** indica os valores do *FLD1* (janela menor), *FLD2* (janela maior) e *FLDr*, para céu encoberto, nos equinócios e solstícios. As **figuras 8 e 9** apresentam os mesmos parâmetros para os tipos de céu parcialmente encoberto e claro, respectivamente.

Figura 7 – Curvas dos *FLD1*, *FLD2* e *FLDr* para o céu encoberto



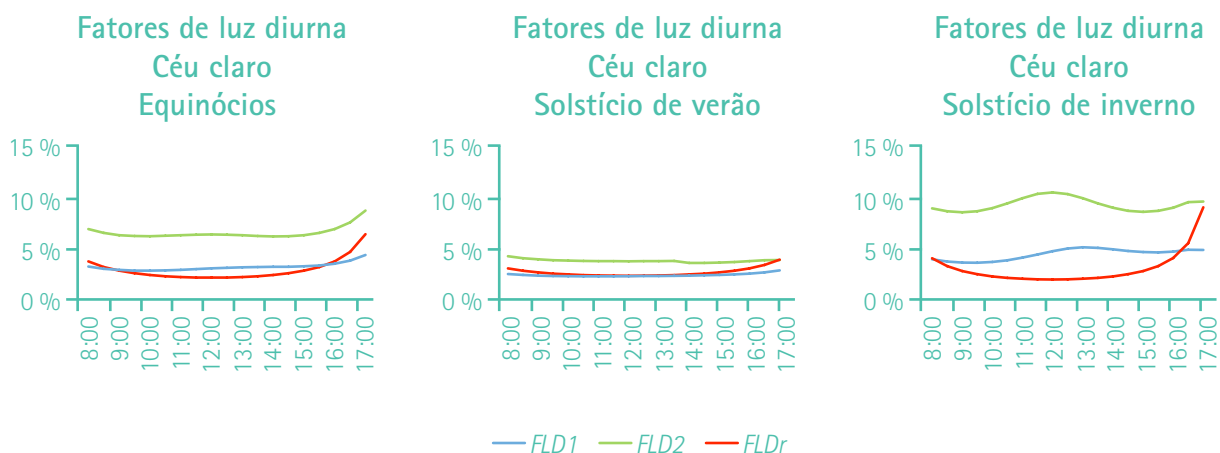
Fonte: elaborado pelos autores

Figura 8 – Curvas dos *FLD1*, *FLD2* e *FLDr* para o céu parcialmente encoberto



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 9 – Curvas dos *FLD1*, *FLD2* e *FLDr* para o céu claro



Fonte: elaborado pelos autores

3.1 Tamanho da abertura e tipo de céu

Com a esquadria maior, é atendido o valor do *FLD* referência em todas as condições consideradas e tipos de céu. Com a esquadria menor, observa-se que, com céu encoberto, não é atendido o valor do *FLD* referência em parte significativa do solstício de verão e equinócios. A iluminância de referência não é alcançada no solstício de inverno.

Por outro lado, para o céu parcialmente encoberto, ocorre o atendimento do *FLDr* em todas as situações analisadas. Para o céu claro, no solstício de verão, não é obtido o valor do *FLDr* em parte significativa do dia.

3.2 Atendimento ao Código de Obras de São Carlos

O fato do Código de Obras da cidade de São Carlos (SÃO CARLOS, 2011) não citar aspectos quanto ao dimensionamento de aberturas permite o uso da janela menor, que não fornece quantidade de luz natural adequada em várias situações, dependendo do tipo de céu considerado. Isso acarreta a necessidade do emprego de iluminação artificial no recinto, mesmo durante o dia.

3.3 Atendimento do valor do *FLD* previsto na norma ABNT NBR 15575-5:2013

Para todos os tipos de céu, as duas janelas proporcionariam a obtenção de, no mínimo, um *FLD* superior a 0,5 %, atendendo ao critério referente a esse fator, indicado na norma ABNT NBR 15575-5:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

4 Conclusões

A atual forma de dimensionar aberturas para iluminação natural, seja com base em códigos de obras (Código de Obras de São Carlos) ou normas que abordam o assunto (norma ABNT NBR 15575-5:2013), não garantem a obtenção da quantidade de luz necessária para a realização das atividades no interior dos ambientes somente com o uso de iluminação natural, acarretando a necessidade de usar luz artificial durante o dia. Isso ocorre mesmo em casos em que os critérios normativos são atendidos, o que implica na necessidade de revisão para que possam incorporar questões referentes à eficiência energética, priorizando o uso da luz natural durante o dia para atender às necessidades do usuário.

Para estabelecer critérios para o dimensionamento de aberturas para iluminação natural, é necessário levar em conta as condições de céu mais frequentes no local, visto que pode haver uma variação significativa na iluminância no interior do recinto em virtude desse fator, o que nem sempre é abordado em documentos técnicos. Isso é ainda mais relevante, com o uso de janelas de pequenas dimensões (área de 0,48 m²), disponíveis no mercado brasileiro e, frequentemente, utilizadas em habitações de interesse social.

No Código de Obras da cidade de São Carlos é de suma importância a adoção de critérios que compreendam o tamanho das aberturas, não somente sua distância de anteparos (recuos).

Na norma ABNT NBR 15575-5:2013 é necessário estabelecer critérios mais exigentes para o fator de luz diurna, visto que um *FLD* de 0,5 % não proporciona quantidade adequada de luz natural no interior do recinto.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 46 p.

CABÚS, R. C. **TropLux 5: Guia do Usuário**. Maceió: [s.n.], 2011.

CASTRO, G. N. et al. Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares: análise de um código de obras. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 25-45, 2015.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **ISO 15469:2003**: Spational Distribution of Daylight - CIE Standard General Sky. Viena: CIE, 2003. 10 p.

SÃO CARLOS (Cidade). Lei no. 15.958, de 29 de dezembro de 2011. **Código de Obras e Edificações do Município de São Carlos**. São Carlos: Prefeitura Municipal de São Carlos, dez. 2011.

Limitações do método vigente para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem

Limitations of the current method for energy efficiency assessment of electric appliances for instantaneous water heating used in whirlpool tubs

Flavio da Silva Ladeira^{a*}, Luciano Zanella^a

^a Laboratório de Instalações Prediais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: fladeira@ipt.br

Palavras-chave:

eficiência energética; aquecedor elétrico de passagem para água; banheira de hidromassagem; método de ensaio; aquecimento de água.

Keywords:

energy efficiency; fixed electric appliances for instantaneous water heating; whirlpool tub; test method; water heating.

Resumo

O crescente aumento no consumo de energia elétrica aliado às recentes crises hídricas que vêm tornando a geração de energia elétrica mais onerosa no Brasil tem, cada vez mais, tornado imprescindível o desenvolvimento de equipamentos elétricos eficientes. Dentre esses equipamentos citam-se os aquecedores de água para banheiras de hidromassagem. O método vigente utilizado para a avaliação desse tipo de equipamento foi aplicado em duas amostras e os resultados foram analisados. A avaliação da eficiência energética, pelos métodos descritos nas normas vigentes, de aquecedores elétricos de passagem utilizados para o aquecimento de água em banheiras de hidromassagem não leva em consideração as especificidades inerentes à arquitetura de funcionamento desses aquecedores. O método preconiza a avaliação da eficiência energética a partir da obtenção indireta dos valores do consumo de energia elétrica, calculados a partir das leituras instantâneas de tensão e corrente elétrica. O equipamento é instalado de forma semelhante a um chuveiro elétrico em uma bancada de ensaios que conta com um recipiente coletor e é alimentado com água corrente sem recirculação, fatores que podem distanciar os resultados obtidos daqueles efetivamente alcançados quando do uso desses equipamentos no dia-a-dia. O método de ensaios vigente apresenta dificuldades de aplicação e reprodução de resultados quando utilizado para avaliação de aquecedores para hidromassagem a ponto de justificar a necessidade de elaboração de um novo método que considere as características de funcionamento desse tipo de equipamento.

Abstract

Electric power generation in Brazil is becoming more expensive in the last years due the recent water crisis because of a decrease of rainfall and the increase of electric energy consumption. These facts have become increasingly essential for the development of efficient electrical equipment. Whirlpool tub water heating appliances are an example of the devices that can be improved and evaluated. The current method used for the evaluation of this type of equipment was applied in two different heater samples and the results were analyzed. The specificities inherent to the operation mode of these devices are not considered when the energy efficiency evaluation test is performed using the current Brazilian Standards. This method recommends the energy efficiency evaluation from calculated values of the electric energy consumption, obtained from instantaneous readings of the voltage and the electric current. This same method is used for an electric shower evaluation. The heater was installed in a test bench with a collecting vessel, similarly to an electric shower, fed with running water with no recirculation, factors which may hold off the obtained results from those effectively achieved when using these devices in real condition. The current test method come up with difficulties in its application and reproduction of results when used for water heater and for whirlpool tub evaluations in such a way that justifies the need of a new method that adopts the operating characteristics of this type of equipment.

1 Introdução

As atividades humanas têm evoluído na busca de conforto e praticidade na execução das atividades corriqueiras, levando a mudanças significativas no estilo de vida que implicam, via de regra, no aumento do consumo de recursos como água e energia.

Em contrapartida, eficiência energética e uso eficiente de água são, atualmente, dois temas indissociáveis quando se analisa o ambiente urbano e as atividades desempenhadas em edificações de qualquer natureza com a busca de redução de consumo de recursos.

A melhoria no conforto e a necessidade de economia de recursos, aspectos aparentemente contraditórios, tornam imprescindíveis o desenvolvimento tecnológico e o aprimoramento dos equipamentos, de modo que seja possível responder aos anseios de conforto da população, sem perder o foco na economia de recursos e insumos.

O Brasil, país com matriz de geração energética fortemente calcada em fontes hídricas, vivencia um crescente aumento no consumo de energia elétrica. Em paralelo, o país tem sido acometido por flutuações no regime hídrico decorrentes de períodos recorrentes de seca intensa, o que tem prejudicado a geração de energia elétrica e ocasionado o aumento dos preços desse recurso aos consumidores finais, fato que força a necessidade do desenvolvimento de equipamentos elétricos cada vez mais eficientes (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016; 2017).

O desempenho de diversos produtos, considerando atributos como a eficiência energética, é verificado no Brasil de acordo com os requisitos instituídos pelo Inmetro em seus programas de etiquetagem. A avaliação, quer seja voluntária ou compulsória, é realizada com base em normas e regulamentos aplicáveis a cada classe de produto.

Aquecedores de água a gás, aquecedores elétricos de passagem, aquecedores elétricos de acumulação, chuveiros elétricos, condicionadores de ar, refrigeradores, congeladores, lâmpadas, lavadoras de roupa e ventiladores são alguns dos produtos que fazem parte do programa.

A pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso (ano base 2005) realizada pela Eletrobrás em parceria com o Procel no ano de 2007 (ELETROBRÁS, 2007) apresentou dados relativos ao aquecimento de água, principalmente para banho. Uma das conclusões a que chega o trabalho é que, devido à frequente utilização e às altas potências de funcionamento dos equipamentos destinados a essa atividade, o setor de aquecimento de água é considerado de grande importância para ações de políticas direcionadas à eficiência energética. De acordo com os dados divulgados, 80,9 % dos domicílios brasileiros aquecem a água para banho de alguma forma. Desses, 73,5 % eram sistemas que utilizavam a energia elétrica para o aquecimento da água.

Dentre os equipamentos destinados ao aquecimento instantâneo de água, são avaliados pelo programa de eficiência energética do Inmetro: chuveiros elétricos, torneiras elétricas e aquecedores elétricos para banheiras de hidromassagem.

Apesar da avaliação da eficiência elétrica desses tipos equipamentos ser realizada de forma idêntica, os aquecedores para banheiras de hidromassagem apresentam funcionamento distinto em relação aos chuveiros e torneiras elétricas. Os aquecedores para banheiras de hidromassagem são considerados aquecedores de passagem que, apesar de atenderem a apenas um ponto de consumo, como os aquecedores instantâneos, são instalados em um sistema de recirculação de água, aquecendo-a gradativamente.

Com base nos dados de 2016 da Tabela de consumo de energia elétrica – aquecedores elétricos de hidromassagem – edição 01/2016 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2016), 33 modelos de aquecedores específicos para banheira de hidromassagem, de cinco marcas diferentes, estão inscritos no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO.

Conforme o PBE, todos os modelos de aquecedores comercializados em território nacional devem ser avaliados quanto aos níveis mínimos e máximos de consumo de energia, segurança elétrica e eficiência energética dentre outros requisitos, com base em valores técnicos e economicamente viáveis, considerando a vida útil do equipamento (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2017).

2 Avaliação de aquecedores

Atualmente, a avaliação de aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem é realizada com base na norma ABNT NBR 16305:2014 - *Aparelhos elétricos de aquecimento instantâneo de água – Requisitos de desempenho e segurança*, que, em seu item 11.3, remete à ABNT NBR 15001:2003 - *Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água – Determinação da eficiência energética*, com referência aos procedimentos aplicáveis à avaliação da eficiência energética dos aquecedores elétricos de água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003; 2014).

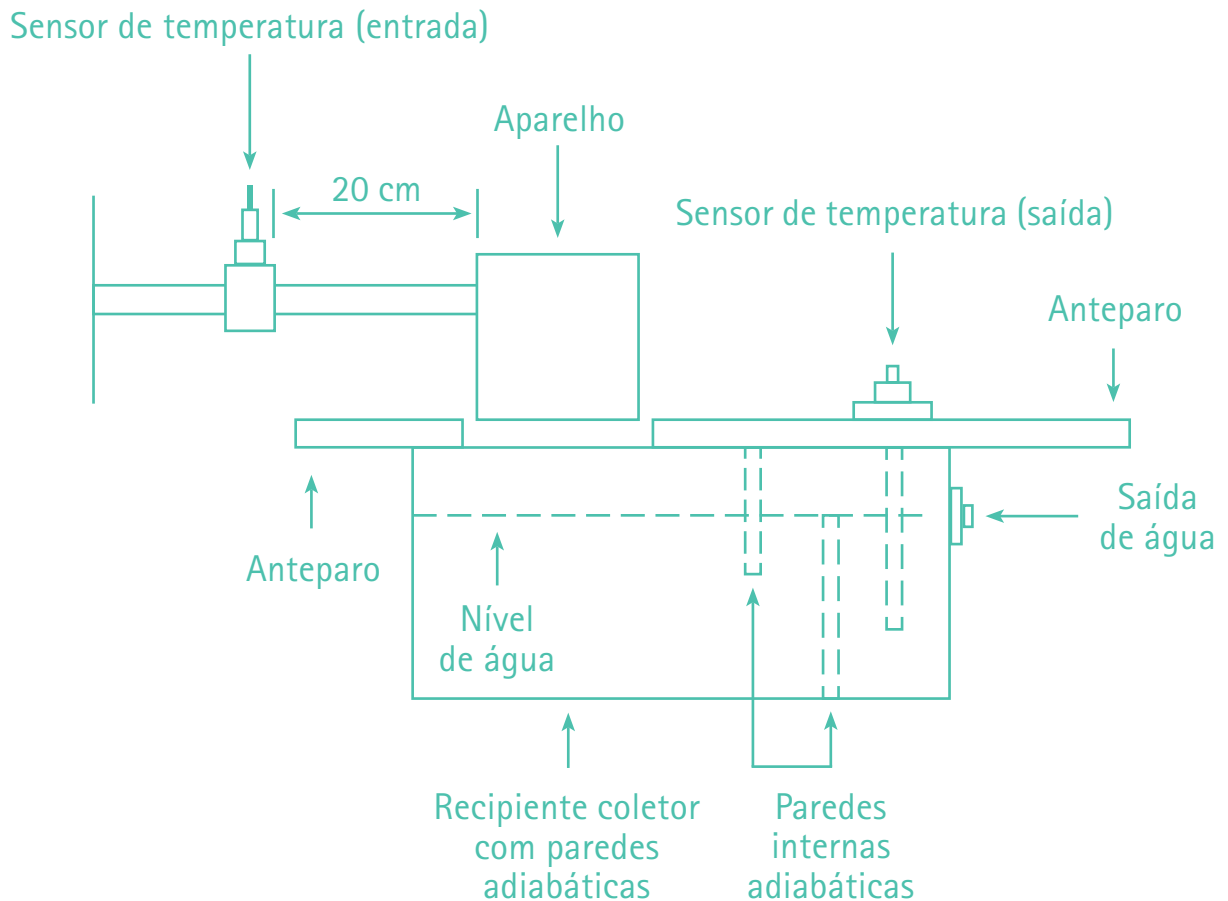
Pelo método vigente, as condições necessárias à realização do ensaio de avaliação de aquecedores devem contemplar:

- instalação hidráulica com capacidade de fornecer água em escoamento forçado, regime permanente, vazão máxima de 0,5 L/s com uma variação máxima de 0,01 L/s, pressão máxima de 10 mca estável em uma tubulação com diâmetro de 1/2";
- alimentação elétrica estável em corrente alternada a 60 Hz, corrente mínima de 50 A e tensões nominais de 127 V e 220 V, com variação máxima de ± 1 V;
- instrumentos para medição de corrente elétrica com resolução de 0,1 A e tensão elétrica com resolução de 0,1 V;
- para medição da temperatura da água de alimentação é utilizado um instrumento de medida com faixa de 0 °C a 50 °C e com resolução de 0,1 °C. A medição da temperatura da água na saída do aparelho é realizada por meio de instrumento com faixa de medida entre 0 °C a 100 °C e resolução de 0,1 °C;
- as condições ambientais para realização dos testes devem ser mantidas em (22 ± 3) °C para temperatura ambiente e umidade de (65 ± 10) %; e
- utilização de um recipiente coletor com paredes adiabáticas.

2.1 Procedimentos de ensaio pelo método vigente

O aquecedor é colocado na bancada de testes com instalações elétricas e hidráulicas adequadas, segundo a norma vigente, mantendo o dispositivo de alimentação elétrica desligado, com a comutação da potência elétrica do aparelho para a condição de maior potência disponível e com o recipiente coletor (**Figura 1**) posicionado próximo a sua saída.

Figura 1 – Representação esquemática do recipiente coletor



Fonte: NBR 15001 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003)

O dispositivo de medição da temperatura da água de entrada é posicionado na tubulação de entrada a uma distância de 20 cm da amostra a ser testada e o de saída, no interior do recipiente coletor, de modo a ficar o mais próximo possível da saída de água do dispositivo (aparelho), impedindo o contato entre o termômetro e o recipiente, permitindo a livre passagem do jato de água.

Os equipamentos para medição de tensão e corrente são conectados ao condutor de alimentação do aparelho testado. As medições das condições ambientais, temperatura e umidade, são realizadas a mais de um metro de distância do aparelho.

Após a montagem do aparelho na bancada, regula-se o fornecimento de água para a vazão de 0,05 L/s e aciona-se o dispositivo de alimentação elétrica. O sistema é mantido funcionando por, no mínimo, 5 min antes do início das leituras de temperatura, tensão e corrente elétrica.

A norma vigente ainda prevê que, caso o equipamento seja desligado pela ação de algum dispositivo de segurança, a vazão de alimentação deve ser aumentada de forma a manter o aparelho funcionando, evitando que esse dispositivo seja acionado novamente. A nova vazão de alimentação é registrada e repete-se o procedimento de ensaio. Se, mesmo com o aumento de vazão, o aparelho não se mantiver ligado, deve-se encerrar o ensaio e registrar no relatório "não funciona nas condições estabelecidas", descrevendo o ocorrido.

Se a temperatura de saída da água do aparelho for superior a 40 °C deve-se aumentar a vazão da água até que a temperatura fique dentro da faixa de (38 ± 2) °C.

Os valores de temperatura da água na entrada e na saída do sistema devem ser registrados após o sistema atingir a estabilidade. Com os valores registrados, calcula-se a eficiência energética utilizando-se a **Equação 1**, determinada pela norma vigente:

$$\eta = \frac{[Q \cdot 418000 \cdot (T_s - T_e)]}{V \cdot I} \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

η – eficiência energética (%);

Q – vazão de água (L/s);

T_s – temperatura de saída da água (°C);

T_e – temperatura de entrada da água (°C);

V – tensão elétrica (V);

I – corrente elétrica (A).

O ensaio é repetido por três vezes, tomando-se como eficiência energética do equipamento a média aritmética dos três valores calculados.

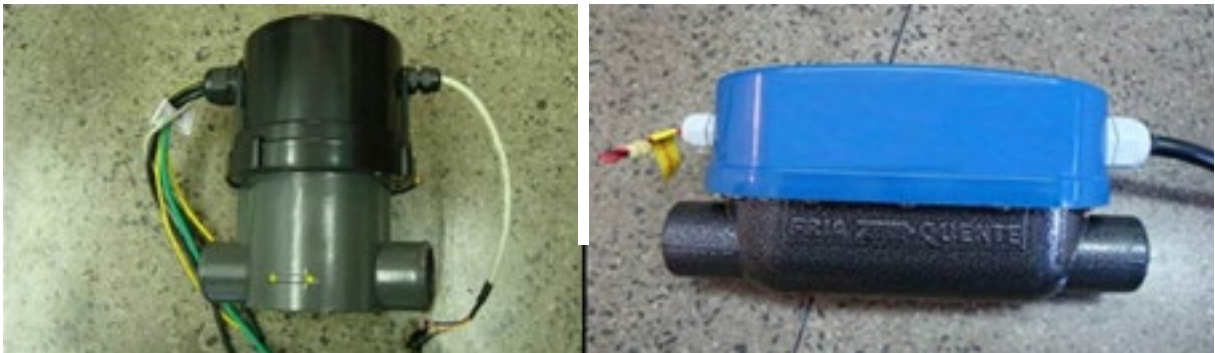
3 Resultados

Com o objetivo de avaliar sua aplicabilidade e eventuais limitações, o método vigente para determinação de eficiência energética foi aplicado a dois aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem.

Ambas as amostras utilizadas nesse trabalho são de aquecedores elétricos de passagem com resistência blindada de 220 V, com 8.000 W de potência nominal, específicos para instalação no circuito hidráulico de recirculação em banheiras de hidromassagem e disponíveis no mercado.

Os equipamentos utilizados para a execução do presente trabalho podem ser vistos na **Figura 2**.

Figura 2 – Aquecedores de hidromassagem



Fonte: elaborado pelos autores

3.1 Ensaio de eficiência energética, amostra 1

A amostra 1 foi instalada na bancada, a vazão de alimentação foi ajustada para 0,05 L/s, conforme determinado pela NBR 15001:2003. Ressalta-se que o aquecedor não permite a regulagem de potência como preconizado pela referida norma. O aquecedor foi acionado e, após 4 s de funcionamento, houve o acionamento do dispositivo interno de segurança do equipamento, provavelmente decorrente de superaquecimento dos componentes devido à vazão utilizada, levando-o ao desligamento automático.

A vazão de teste foi aumentada gradativamente até que o aquecedor permanecesse ligado sem o acionamento do dispositivo de segurança, de modo que fosse possível realizar o ensaio (LADEIRA, 2017).

Os resultados de eficiência energética obtidos para a amostra 1, a partir da aplicação à **Equação 1** dos valores de tensão, corrente e variação de temperatura obtidos no ensaio, podem ser observados na **Tabela 1**.

A estabilização da temperatura para os ensaios com a amostra 1 foi obtida após cerca de 15 minutos para cada uma das três repetições.

Seguindo-se o procedimento descrito na NBR 15001:2003, foi calculada a média dos três valores, obtendo-se eficiência 88,5 %.

Tabela 1 – Resultados de eficiência energética para a amostra 1

Repetição	Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Vazão (L/s)	Diferença de temperatura de entrada e saída (°C)	Eficiência (%)
1	220,9	34,4	9,2	17,8	0,20	8,6	96,3
2	221,2	34,2	9,1	15,7	0,20	6,6	74,2
3	221,5	34,3	9,1	17,6	0,20	8,5	95,0

Fonte: elaborado pelos autores

A diferença do valor de eficiência obtida para a segunda repetição pode ser reflexo da inadequação do método de ensaio às especificidades de funcionamento desse tipo de aquecedor. As leituras podem ter sido realizadas logo após um ciclo de desligamento do aquecedor ou de modulação de sua potência para valores baixos. Apesar dos valores de tensão e corrente registrados estarem próximos aos das demais repetições, a temperatura da água registrada para o momento da leitura foi inferior aquela registrada para as demais repetições, fato que pode ser explicado devido à vazão de água utilizada para o teste, para que o dispositivo de segurança do aquecedor não entrasse em ação, ser significativamente superior à indicada no método vigente, o que levou à redução da temperatura da água armazenada no recipiente coletor em um curto período de tempo com o aquecedor desligado ou funcionando com potência reduzida.

3.2 Ensaio de eficiência energética, amostra 2

A amostra 2 foi instalada na bancada padrão seguindo os procedimentos metodológicos descritos pelas normas vigentes.

Assim como para a amostra 1, houve a necessidade de ajustes de vazão para valores diferentes daqueles preconizados pelo método vigente. Após várias tentativas, em vazões diferentes, foi possível manter o aquecedor em funcionamento, sem que o dispositivo de segurança atuasse, com vazão de 0,31 L/s, permitindo, assim, a realização dos ensaios. A vazão de operação possível para o equipamento, mais de seis vezes superior à vazão prevista pelo método vigente, mostrou-se

incompatível com a bancada de testes normalizada. A incompatibilidade entre a vazão utilizada e o volume do reservatório levou ao transbordamento da água pelas laterais do recipiente coletor após alguns minutos de operação. Mesmo com a água transbordando pelas laterais o ensaio foi concluído, com coleta dos dados a partir de 5 min de funcionamento.

Os resultados para o ensaio da amostra 2 podem ser observados na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Resultados de eficiência energética para a amostra 2

Repetição	Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de saída (°C)	Vazão (L/s)	Diferença de temperatura de entrada e saída (°C)	Eficiência (%)
1	220,7	32,7	10,7	14,1	0,31	3,4	61,1
2	220,4	32,7	10,8	14,3	0,31	3,5	63,0
3	220,5	32,6	10,5	13,9	0,31	3,4	61,3

Fonte: elaborado pelos autores

Apesar do transbordamento da água, a estabilização da temperatura para o ensaio com a amostra 2 foi obtida com 5 min, bem mais rápida do que para a amostra 1, permitindo que o ensaio fosse realizado em um período de tempo bem menor.

Aplicando-se os procedimentos de cálculo indicados na NBR 15001:2003, obteve-se uma média de eficiência de 61,8 %, bem abaixo do mínimo de 95 % definido pelo programa de etiquetagem para equipamentos elétricos de passagem para aquecimento de água. As baixas eficiências são reflexo da vazão utilizada que fez com que muita água quente tenha sido perdida pelo transbordamento do recipiente coletor.

O transbordamento de água pelas laterais do recipiente coletor fez com que parte da água não passasse pelo sensor de temperatura posicionado na saída do recipiente, fato que não permite assegurar que houve uma homogeneização adequada da água aquecida. Por isso a confiabilidade do cálculo de eficiência ficou prejudicada.

4 Discussões

4.1 Funcionamento dos aquecedores

Durante a realização de ensaios em laboratório para a determinação da eficiência energética em diversos modelos de aquecedores elétricos para banheiras de hidromassagem, constatou-se que o funcionamento desses equipamentos tem especificidades distintas de outros aquecedores elétricos de passagem.

Nos aquecedores elétricos de passagem, como torneiras elétricas e chuveiros elétricos, o usuário regula a temperatura da água ajustando a potência do equipamento, que se mantém constante durante todo o período de funcionamento, visto que esses equipamentos, usualmente, não admitem recirculação da água. O equipamento permanece ligado o tempo todo e deve fazer com que a água atinja a temperatura desejada instantaneamente, durante uma única passagem pelo sistema de aquecimento.

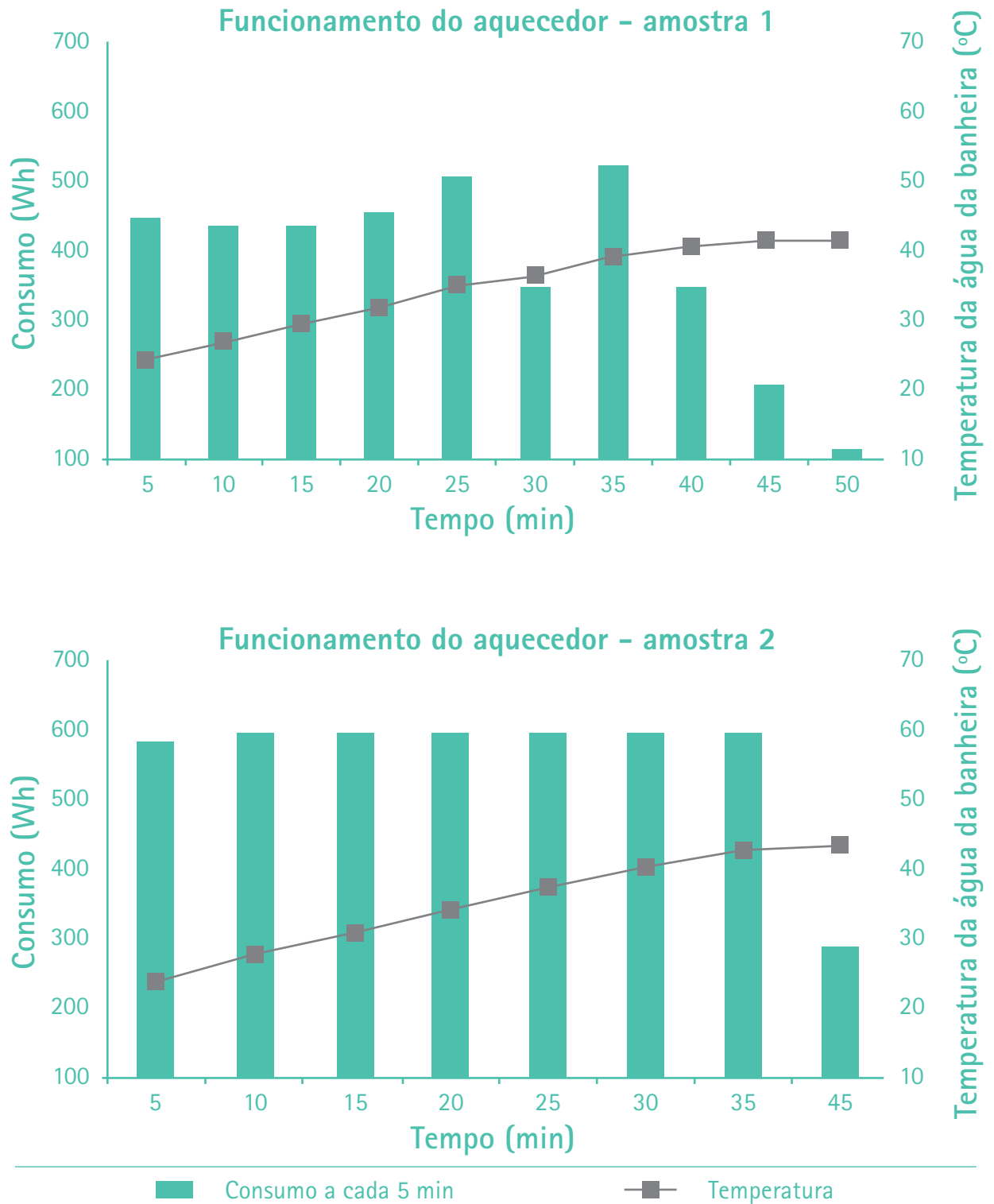
Diferentemente dos demais aquecedores elétricos de passagem, o controle de temperatura da água para os aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem é feito, em sua grande maioria, pela variação de frequência do acionamento elétrico desde equipamento durante a recirculação da água. O funcionamento do equipamento é realizado em potência máxima em ciclos temporais variáveis de acionamento (liga/desliga) de modo que a temperatura da água armazenada na banheira seja mantida conforme o desejo do usuário.

Mesmo entre modelos diferentes de aquecedores elétricos instantâneos para banheiras podem existir algumas características distintas quanto ao ciclo de acionamento. Alguns apresentam variação de frequência de acionamento elétrico mais intermitente, ou seja, são ligados e desligados em ciclos mais frequentes dependentes da temperatura do fluido. Outros modelos, no entanto, depois de acionados permanecem ligados até que a água atinja a temperatura programada e só, então, se inicia a modulação em sua frequência de acionamento.

Os comportamentos de funcionamento das amostras avaliadas no presente trabalho podem ser observados na **Figura 3**, a partir de sua instalação em uma banheira de hidromassagem conforme instruções do fabricante, correlacionando o consumo de energia no intervalo de 5 min e a temperatura alcançada pela água.

Variações de funcionamento foram detectadas não só entre equipamentos de modelos e marcas distintas, mas também entre equipamentos do mesmo modelo e marca. Os ciclos de acionamento, muitas vezes, não seguem a mesma frequência.

Figura 3 – Consumo de energia elétrica acumulado a cada cinco minutos e temperatura alcançada pela água



Fonte: elaborado pelos autores

A análise das características específicas de funcionamento desses equipamentos motivou o questionamento da eficácia dos métodos vigentes para avaliar a eficiência energética desses componentes do sistema predial de água quente.

4.2 Aplicabilidade do método vigente

O método de avaliação vigente foi, originalmente, desenvolvido para determinação de eficiência energética em aparelhos eletrodomésticos fixos de aquecimento instantâneo de água, em particular para chuveiros elétricos ou duchas elétricas e equipamentos similares como torneiras elétricas, destinados ao aquecimento da água à temperatura abaixo do seu ponto de ebulição, tomando por referência a tensão nominal e a potência elétrica máxima disponível.

Como anteriormente comentado, apesar do aquecedor elétrico instantâneo de água para banheiras de hidromassagem ser um aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água, seu funcionamento difere, ligeiramente, daquele comumente encontrado em equipamentos elétricos de aquecimento de água do tipo chuveiros, duchas ou torneiras e essas diferenças devem ser consideradas no método para a obtenção dos valores de sua eficiência energética.

O método indicado pela norma vigente para o cálculo de eficiência energética é fundamentado na potência instantânea do equipamento e não em seu consumo acumulado. Seu emprego fornece bons resultados quando aplicada à avaliação de aquecedores de acionamento contínuo em que não ocorre variação de consumo de energia elétrica tais como chuveiros e torneiras elétricas. Nesse caso, a verificação da eficiência instantânea a partir da corrente elétrica e da tensão medidas em um determinado momento traduzem o funcionamento do equipamento ao longo de todo o período de operação. Já sua adoção para aquecedores de acionamento intermitente, como os destinados ao aquecimento de água de banheira de hidromassagem em circuitos de recirculação, pode incorrer em dificuldades operacionais na execução do ensaio, aquisição de dados e fornecer resultados que não traduzem a realidade de eficiência devido às características de acionamento intermitente do sistema que promove o aquecimento da água.

Os exemplos de aplicação relatados no presente trabalho mostram algumas das dificuldades encontradas na manutenção dos padrões de aplicação do método.

Os aquecedores para banheiras de hidromassagem foram desenvolvidos, por determinação de normas de segurança, com dispositivo de segurança adicional, devido à sua forma de funcionamento em circuitos de recirculação de água. O dispositivo de segurança deve atuar caso o controlador da temperatura da água apresente algum problema, como aumento excessivo de temperatura, de modo a evitar que a água atinja temperaturas muito elevadas.

A vazão de teste especificada pelo método vigente é baixa quando comparada às vazões de trabalho usuais para os aquecedores específicos para banheiras de hidromassagem. A manutenção de vazões baixas diante da potência e do funcionamento desses equipamentos faz com que a temperatura

da água no interior de sua câmara de aquecimento suba rapidamente, muitas vezes levando a atuação do sistema de segurança antes mesmo que o controlador de temperatura possa operar, impossibilitando, dessa forma, a continuidade dos testes.

Como pode ser notado pela aplicação do método vigente à Amostra 1, existe a possibilidade de que, devido à inadequação do método às especificidades típicas de funcionamento desse tipo de equipamento, sejam obtidos valores de eficiência pouco representativos para equipamentos como os aquecedores para hidromassagem.

O cálculo dos valores de eficiência energética com base em valores instantâneos de tensão e corrente para equipamentos cujo princípio de funcionamento é baseado em ciclos de acionamento ou em variação automática de potência do equipamento, como o que ocorre para aquecedores para banheiras de hidromassagem, podem levar à obtenção de discrepâncias entre os valores obtidos como resultados das repetições dos ensaios.

No caso específico da amostra testada pelo método vigente houve a ocorrência de um resultado de 74,2 %, abaixo do valor mínimo exigido de 95,0 % de eficiência, embora os resultados das demais repetições do método tenham alcançado valores, respectivamente, de 96,3 % e 95,0 %, resultados mais próximos e ambos dentro do padrão exigido para o equipamento. O resultado inferior aos demais obtido para a segunda repetição, provavelmente, ocorreu devido aos ciclos de acionamento do equipamento, não considerados no método vigente. As leituras utilizadas para o cálculo podem ter sido realizadas logo após um ciclo do equipamento desligado ou com potência modulada para valores baixos, o que explica a variação da temperatura da água obtida.

Ainda para a amostra 1, os resultados de eficiência energética foram obtidos a partir de leituras de temperatura com diferença entre entrada e saída superior a 1 °C. A diferença máxima entre os valores lidos manteve-se variando ao longo do tempo em patamares em torno dos 8 °C. A dificuldade na estabilização da temperatura é um dos problemas na aplicação do método vigente para esse tipo de equipamento, devido ao funcionamento intermitente do aquecedor. Dependendo do momento da leitura de temperatura, o valor registrado pode ter sido coletado durante a etapa onde o aparelho encontrava-se desligado, o que leva ao erro no cálculo da eficiência energética.

A amostra 2 apresentou funcionamento mais constante quando comparado à amostra 1, entretanto, as características do equipamento exigiram que o ensaio fosse conduzido com vazões muito superiores às utilizadas para a amostra 1, como forma de evitar acionamento do dispositivo de segurança. Essa maior vazão foi tal que a capacidade de escoamento do recipiente coletor não foi suficiente, fazendo com que boa parte da água transbordasse por suas laterais sem que houvesse, assim, uma boa homogeneização da temperatura da água, medida na saída do recipiente. Esse transbordamento fez com que os valores de eficiência, calculados com base na vazão, temperaturas de entrada e saída da água e potência estimada, fossem muito baixos, com valores entre 61,1 % e 63,0 % de eficiência.

Tanto na amostra 1 como na amostra 2, pode ser observado que, além de todos os problemas encontrados durante os testes, também não foi possível manter a temperatura de saída dentro dos (38 ± 2) °C, valor preconizado pelo método vigente, embora todo o arranjo experimental esteja de acordo com necessário para a realização dos testes para outros equipamentos. Esse fato reforça a necessidade de proposição de um método adequado à avaliação da eficiência energética de aquecedores instantâneos para banheiras de hidromassagem que respeite as especificidades de funcionamento desses equipamentos.

5 Conclusões

A partir de observações realizadas durante testes de diferentes tipos de aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem em laboratório, constatou-se que o método descrito na legislação vigente para avaliação de eficiência energética pode ser conflitante com o regime de funcionamento de alguns tipos de equipamento utilizados em banheiras de hidromassagem, devido às suas especificidades.

Os aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem apresentam especificidades de funcionamento que os diferenciam dos demais aquecedores de passagem. Chuveiros e torneiras elétricas funcionam depois de regulada a potência desejada, em sua grande maioria, com consumo constante de energia elétrica e permanecerem acionados durante todo o tempo de funcionamento, independentemente da temperatura em que a água se encontra. A temperatura da água para esses casos é regulada apenas com a alteração da potência ou da vazão da água de entrada. Já os aquecedores para banheira de hidromassagem funcionam com uma frequência de acionamento intermitente durante o tempo de aquecimento da água e, muitas vezes, com uma variação em seu consumo de energia ao longo do tempo, porém sempre na mesma potência, até que a temperatura desejada para a água seja atingida. Os aquecedores para banheira são utilizados no circuito hidráulico de recirculação da água de hidromassagem, trabalhando com elevação incremental da temperatura da água. Já os demais aquecedores trabalham com princípio de funcionamento semelhante ao dos chuveiros elétricos, recebendo água em temperatura ambiente e fornecendo-a na temperatura de uso, sem que seja possível seu aumento gradual, já que não há recirculação.

As observações realizadas durante os testes sugerem a necessidade de elaboração de um método específico para os aquecedores elétricos instantâneos de água utilizados em banheiras de hidromassagem, diferente do existente, que leve em consideração o seu regime de funcionamento e as características de instalação desse equipamento em condição real de uso, de modo que o método seja mais facilmente aplicável e permita que os resultados obtidos tenham melhor repetitividade e representatividade.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15001**: Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água – Determinação da eficiência energética. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16305**: Aparelhos elétricos de aquecimento instantâneo de água – Requisitos de desempenho e segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso**: ano-base 2005, classe residencial. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – INMETRO. **Tabela de consumo de energia elétrica – aquecedores elétricos de hidromassagem – edição 01/2016**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/hidromassagem.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA – INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>>. Acesso em: 17 maio 2017.

LADEIRA, F. S. **Método para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético 2016**: Ano base 2015. 295p. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético 2017**: Ano base 2016 – Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2017.

Método para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos para hidromassagem

Method for energy efficiency assessment of electric appliances for instantaneous water heating used in whirlpool tubs

Flavio da Silva Ladeira^{a*}, Luciano Zanella^a

^a Laboratório de Instalações Prediais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: fladeira@ipt.br

Palavras-chave:

eficiência energética; aquecedor elétrico de passagem para água; banheira de hidromassagem; método de ensaio; aquecimento de água.

Keywords:

energy efficiency; fixed electric appliances for instantaneous water heating; whirlpool tubs; test method; water heating.

Resumo

O aquecimento de água para o banho é uma necessidade em diversas partes do país, a depender das características climáticas locais. A água do banho pode ser aquecida por diversos tipos de equipamentos, dentre os quais chuveiros e aquecedores elétricos para água de banheiras de hidromassagem. São equipamentos de elevada potência e grande frequência de uso, o que os torna alvo de interesse para verificação de sua eficiência energética. A eficiência energética de todos os aquecedores elétricos de passagem é, atualmente, avaliada pelo método desenvolvido para avaliação de chuveiros elétricos. A partir dos resultados da avaliação da eficiência energética de aquecedores utilizados em banheiras de hidromassagem, obtidos em laboratório pelo método descrito nas normas vigentes, verificou-se que não são consideradas as especificidades inerentes à arquitetura de funcionamento dos aquecedores, fato que demonstra a necessidade de se elaborar um método específico para a avaliação desses equipamentos. O método proposto preconiza a avaliação da eficiência energética visando a uma maior representatividade e confiabilidade dos resultados, quando comparados aos obtidos utilizando-se o método atual para a avaliação desses aquecedores. A avaliação é realizada a partir da obtenção direta do valor do consumo de energia elétrica com base no equipamento instalado em uma banheira padrão de ensaios, que simula seu funcionamento em situação real de uso. O método proposto apresentou-se mais facilmente aplicável aos aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem culminando na obtenção de maior reprodutibilidade de resultados que aquele apresentado pelo método vigente.

Abstract

The use of hot water for bathing is a necessity in a large portion of Brazil depending on local climatic characteristics. Bath water can be heated by various types of equipment such as electric showers and electric appliances for instantaneous water heating used in whirlpool tubs. These kinds of equipment consume high power and present a high frequency of usage which make them a focus for energy efficiency assessment. Nowadays, this is done based on the results of standard tests developed for the evaluation of electric shower energy efficiency. Laboratory studies to evaluate the energy efficiency of fixed electric appliances show that the current standard test methods do not consider some specific inherent characteristics of these devices, as an operation mode. This fact justifies the proposition of a new method considering the operation characteristics of this type of equipment. The proposed method recommends the energy efficiency evaluation, based on the direct acquisition of electric energy consumption values. The heater must be installed in a standard test whirlpool tub which simulates a real usage condition aiming at a greater representativeness and reliability of the results when compared to those obtained using the current test methods. The proposed method is more easily applicable to this kind of heater than the current standard test methods and provides more reproducible results.

1 Introdução

As constantes exigências no aumento do conforto da vida cotidiana trazem consigo a necessidade do desenvolvimento de equipamentos que facilitem as diversas atividades corriqueiras.

Em diversas partes do país, a depender dos hábitos e das características climáticas locais, é impensável a utilização de água fria para um banho confortável na maior parte do ano. São diversos os equipamentos desenvolvidos para o aquecimento de água para banho, dentre os quais podem ser citados os chuveiros elétricos e os aquecedores para água de banheiras de hidromassagem.

Além de facilitar as atividades cotidianas, esses equipamentos devem ser projetados de modo a atender requisitos estabelecidos em programas e normas técnicas que orientam as boas práticas vigentes e o uso eficiente de recursos como a energia elétrica.

A preocupação com a eficiência energética para aquecedores de água é bastante assertiva tendo por motivação a elevada potência destes equipamentos e a frequência de seu uso devido ao hábito brasileiro de banhar-se ao menos uma vez ao dia. Soma-se a esse hábito o fato que o período utilizado para o banho costuma ser bastante específico, no início da manhã ou início da noite.

A eficiência energética para os aquecedores elétricos de água é dada pela relação entre a energia elétrica consumida e o aumento de temperatura conseguida para a água. Mais eficiente será aquele equipamento que propicia um maior aumento da temperatura consumindo menos energia.

As metas e faixas de eficiência energética para os aquecedores elétricos instantâneos de água são dadas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Esse programa tem por objetivo estimular o desenvolvimento de produtos que possuam o melhor desempenho possível, com reduzido consumo de energia elétrica, de modo a minimizar o constante aumento de demanda energética do país (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2005; 2017).

Atualmente a exigência de eficiência energética para aquecedores elétricos de passagem para água encontra-se em patamares superiores a 95 %.

Tanto os chuveiros elétricos quanto os aquecedores para banheira de hidromassagem são classificados como aquecedores elétricos instantâneos de água. Apesar de ambos pertencerem à mesma classe de equipamento e compartilharem a mesma finalidade, esses equipamentos possuem peculiaridades que os diferem entre si quanto ao funcionamento, forma de instalação e uso.

Apesar das diferenças significativas quanto à forma de instalação e ao regime de funcionamento, tanto os chuveiros quanto os aquecedores para banheiras de hidromassagem são avaliados quanto à eficiência energética tendo por base o método descrito na norma ABNT NBR 15001:2003 – *Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água – Determinação da eficiência energética*, elaborada especificamente para a avaliação da eficiência energética de chuveiros, duchas e torneiras elétricas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Pela metodologia vigente, o aquecedor é instalado em uma bancada com água corrente e vazão controlada, tendo, próximo a sua saída, um dispositivo coletor. São coletados os dados de tensão, corrente e temperatura da água de entrada e de saída.

Estudos laboratoriais realizados no laboratório de Instalações Prediais e Saneamento do IPT mostraram que o referido método apresenta dificuldades de aplicação aos aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem, dificultando a obtenção de resultados confiáveis para a avaliação da eficiência energética desses equipamentos.

Visando atender a Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, conhecida como a Lei de Eficiência Energética, que, em seu Artigo 3º determina que os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia devem adotar as medidas necessárias para que esses apresentem limites máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética com base em valores técnicos e economicamente viáveis, considerando a vida útil do equipamento, propõe-se um método específico aplicável aos aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem que permita a obtenção dos valores de sua eficiência energética de forma mais facilitada e precisa (BRASIL, 2001).

2 Método para avaliação de aquecedores

O método proposto para a avaliação da eficiência energética de aquecedores instantâneos de água para banheiras de hidromassagem foi desenvolvido a partir da experiência acumulada na realização de testes de eficiência energética em diversos tipos de aquecedores e na análise dos princípios de funcionamento específicos desses equipamentos (LADEIRA, 2017).

O método proposto tem por base a avaliação dos aquecedores para banheira de hidromassagem em condições elétricas e hidráulicas semelhantes às das situações reais de uso, diferente do que ocorre atualmente quando a instalação do equipamento a ser testado assemelha-se àquela usual para chuveiros ou torneiras elétricas.

A eficiência energética será avaliada a partir do consumo acumulado de energia elétrica até a estabilização de temperatura da água com variação máxima de 1 °C em um período de cinco minutos.

2.1 Equipamentos e instalações

A bancada de ensaios proposta é formada por uma banheira padrão e um circuito de recirculação de água, devidamente isolado termicamente, onde o equipamento a ser avaliado deve ser instalado.

Propõe-se a utilização de banheira padrão com dimensões conforme descrição fornecida pela norma ABNT NBR 16305:2014 – *Aparelhos elétricos de aquecimento instantâneo de água – Requisitos de desempenho e segurança* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) (**Figura 1**).

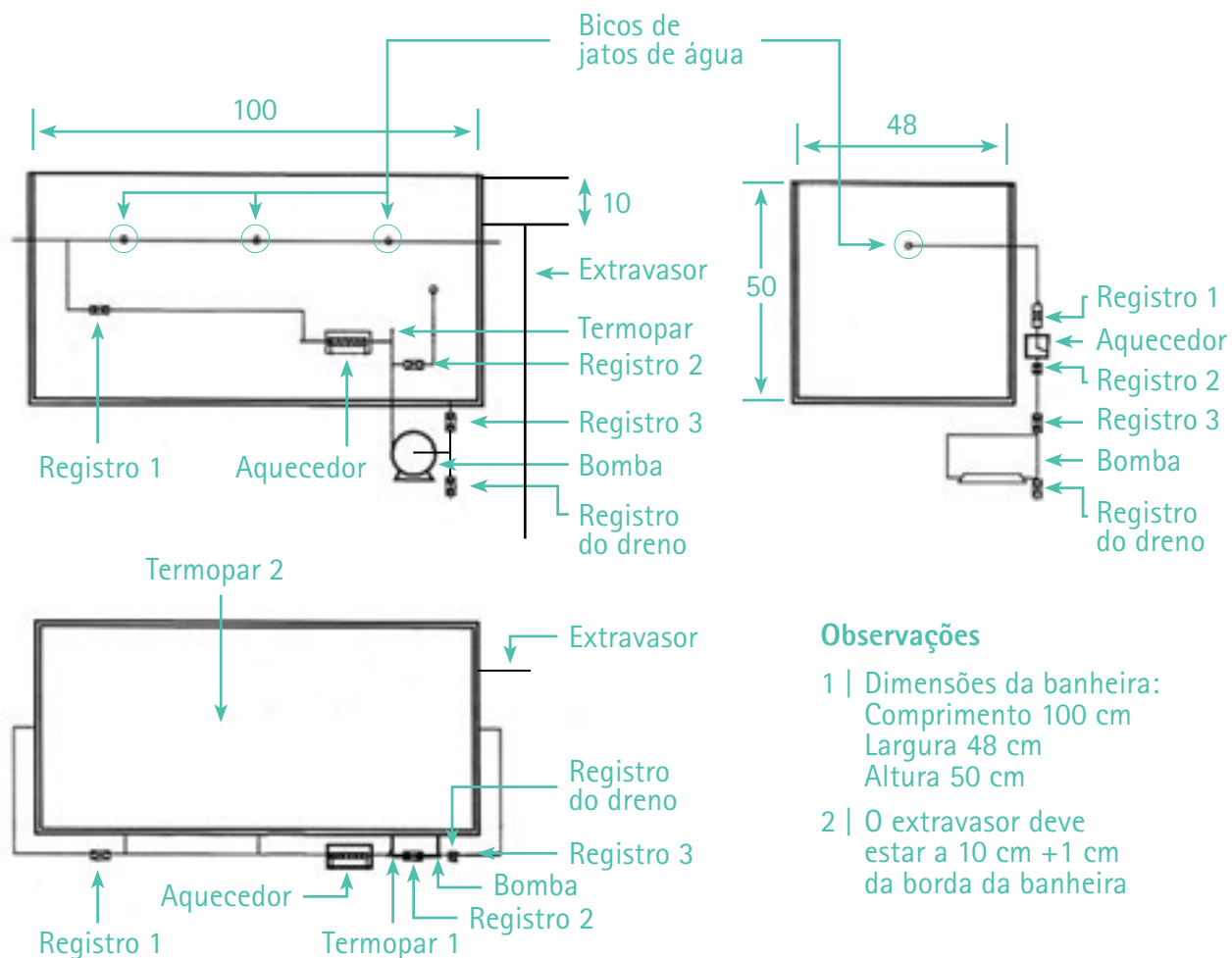
A banheira deverá ser confeccionada em material de baixa condutividade térmica e revestida por toda sua volta, inclusive na tubulação de recirculação, por material isolante térmico.

Para a realização do teste, a banheira deverá ser preenchida com 160 L de água, volume adotado levando-se em consideração às dimensões propostas para a banheira padrão.

A circulação da água pelo sistema deverá ser realizada por uma bomba d'água comercial de 1/2 CV acoplada à instalação hidráulica para recirculação forçada de água, de modo a proporcionar uma vazão aproximada de 23 L/min, fixada com base em funções de observações laboratoriais, de modo que os dispositivos de segurança dos aquecedores não sejam acionados por superaquecimento.

O sistema deve contar com alimentação elétrica estável em corrente alternada a 60 Hz, contando com corrente mínima de 50 A e tensões nominais de 127 V e/ou 220 V, com variação máxima de ± 1 %. A alimentação elétrica da bomba deve ser independente da alimentação elétrica do aquecedor, de modo que o consumo elétrico do aquecedor possa ser medido de forma isolada e sem interferências.

Figura 1 - Representação esquemática da banheira padrão



Observações

- 1 | Dimensões da banheira:
Comprimento 100 cm
Largura 48 cm
Altura 50 cm
- 2 | O extravasor deve estar a 10 cm +1 cm da borda da banheira

Fonte: modificado da NBR 16305 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014)

A obtenção dos valores de consumo elétrico do aquecedor deve ser feita diretamente em sua alimentação elétrica, utilizando um analisador de rede para medição do consumo de energia elétrica, em Wh acumulado, bem como o fator de potência conectado.

A temperatura da água deve ser medida por instrumentos que contemplem a faixa de 0 °C a 100 °C com resolução de 0,1 °C. Um dos medidores deve ser posicionado na tubulação de recirculação de água, a montante do aquecedor. Um segundo medidor deve estar localizado no interior da banheira, devidamente centralizado em relação aos eixos longitudinal e transversal, a uma profundidade de 10 cm em relação ao nível d'água. Para o aumento da precisão dos valores obtidos, o ensaio deve ser realizado sob condições ambientais controladas, com temperatura ambiente de (21 ± 1) °C e velocidade nula do ar sobre a banheira, condições semelhantes às aquelas exigidas para os ensaios de eficiência em reservatórios térmicos, conforme portaria nº 301/2012 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2012).

2.2 Procedimentos de ensaio

Com a banheira preenchida com 160 L de água e o aquecedor desligado, promove-se a circulação da água por, aproximadamente, 5 minutos, até que a temperatura da água no interior da banheira fique homogênea e não apresente variação superior a ± 1 °C entre as leituras obtidas pelos sensores submersos na água.

Registra-se a temperatura inicial da água, que deve estar próxima da temperatura ambiente (21 ± 1) °C.

O aquecedor deve ser ligado e regulado para uma temperatura de 40 °C.

Quando não for possível que a temperatura da água se estabilize em 40 °C, deve ser adotada como temperatura final do ensaio aquela mais próxima possível do ponto de estabilização.

Quando a temperatura da água em circulação no sistema se estabilizar próximo aos 40 °C, anota-se o consumo elétrico acumulado e dá-se o ensaio como finalizado. A temperatura deve ser considerada estável quando sua variação for inferior a ± 1 °C no período de 5 min.

O tempo de funcionamento do aquecedor para que ocorra a estabilização da temperatura da água em 40 °C durante os testes é variável e dependerá da potência do equipamento testado e das características de funcionamento do aquecedor avaliado.

Os dados de temperatura inicial da água, temperatura final da água e consumo elétrico acumulado no tempo de funcionamento do aquecedor, obtidos durante a realização do ensaio, serão utilizados no cálculo do valor da eficiência energética.

2.3 Procedimentos de cálculo

Com os dados obtidos durante os testes, a determinação da eficiência energética do aquecedor será calculada utilizando-se a **Equação 1**.

$$\eta = \frac{\{(Te_2 - Te_1) \cdot L\} \cdot 1,1622}{Wh} \cdot 100 \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

η – eficiência energética (%);

Te_1 – temperatura inicial da água (°C);

Te_2 – temperatura final da água (°C);

L – volume de água (L), igual a 160 L;

Wh – consumo elétrico (Wh);

1,1622 – constante conversão de Wh equivalente a calorias.

A constante de conversão foi obtida considerando que 1 caloria é igual a 4,184 J e 1 Wh igual a 3600 J, de onde se tem: $(1,184/3600) \cdot 1000 = 1,1622$.

O cálculo do rendimento deve ser realizado para os dados obtidos em três repetições do ensaio, tomando-se como eficiência energética do equipamento a média aritmética dos três valores calculados.

3 Aplicação do método proposto

O método proposto para a verificação da eficiência energética em aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem foi aplicado a dois aquecedores para que sua aplicabilidade e repetitividade fossem verificadas. Foram utilizados aquecedores elétricos de passagem para banheiras de hidromassagem com resistência blindada, alimentação de 220 V e 8.000 W de potência nominal, específicos para instalação no circuito hidráulico de recirculação em banheiras de hidromassagem e disponíveis no mercado, os mesmos aquecedores utilizados por Ladeira e Zanella (2018) para avaliação da aplicabilidade do método vigente a esse tipo de equipamento.

Conforme o estipulado pelo método proposto, os ensaios foram realizados em sala com ambiente controlado, com temperatura de (21 ± 1) °C e com velocidade do ar nula sobre a banheira.

Como se trata de um experimento de teste e validação do método, foi utilizada uma banheira comercial de tamanho 1,80 m x 1,20 m x 0,49 m, preenchida com 160 L de água.

O sistema de recirculação de água foi executado em tubos de PVC com diâmetro 32 mm e revestido com material isolante térmico. Foi utilizada uma bomba acoplada à instalação hidráulica para recirculação forçada de água que proporcionou uma vazão aproximada de 23 L/min para a recirculação da água no interior da banheira.

Os dados de consumo acumulado de energia foram coletados utilizando um analisador de rede monofásico e a medida da temperatura feita a partir da leitura de termopares tipo T ligados a um sistema de aquisição de dados do tipo *FieldPoint*.

3.1 Aplicação do método – amostra 1

Conforme indicado pelo método proposto, o aquecedor foi instalado no circuito de recirculação da água da banheira e mantido desligado até que fosse realizada a homogeneização da temperatura da água, com variação inferior a ± 1 °C entre as leituras obtidas nos sensores submersos na água. Atingida a homogeneidade, foi registrada a temperatura inicial da água.

O aquecedor foi ligado e a temperatura foi regulada para 40 °C. Tanto o consumo elétrico acumulado quanto à temperatura da água foram registrados a cada 5 min até o momento em que a temperatura da água atingiu a estabilidade. Apesar de o aquecedor ter sido programado para atingir 40 °C, a estabilidade na temperatura da água foi atingida com 41,6 °C, conforme é possível observar na **Tabela 1**, valor utilizado para os cálculos conforme descrito no método.

Tabela 1 – Resultado das medições para a amostra 1

Tempo de ensaio (min)	Consumo acumulado no intervalo de 5 min (Wh)	Consumo Acumulado total (Wh)	Temperatura (°C)			Diferença de temperatura em relação ao início do ensaio (°C)
			Termopar 1	Termopar 2	Ambiente	
0	0	0	21,6	21,6	21,9	0
5	443	443	24,1	24,1	21,7	2,5
10	437	880	26,7	26,7	21,5	5,1
15	436	1316	29,2	29,2	21,1	7,6
20	452	1768	31,6	31,6	21,4	10,0
25	506	2274	34,3	34,3	21,8	12,7
30	348	2622	36,1	36,1	21,8	14,5
35	522	3144	38,6	38,6	21,7	17,0
40	349	3493	40,3	40,3	21,5	18,5
45	207	3700	41,2	41,2	21,8	19,6
50	110	3810	41,6	41,6	21,9	20,0

Fonte: elaborado pelos autores

Os valores obtidos durante a execução do ensaio foram aplicados na **Equação 1** para o cálculo do valor de eficiência energética do aquecedor:

$$\text{Eficiência: } \eta = \frac{\{(41,6-21,6) \cdot 160\} \cdot 1,1622}{3810} \cdot 100 = 97,61 \% \quad (\text{Equação 2})$$

A partir dos dados contidos na **Tabela 1** é possível, também, perceber que o consumo energético do aquecedor medido a cada 5 min é reduzido quando a temperatura da água atinge o valor próximo do programado (40 °C) no circuito de recirculação, indicando uma alteração no regime de funcionamento do aquecedor em relação ao início. Essa variação de consumo demonstra uma das diferenças de funcionamento do aquecedor elétrico de passagem para banheiras de hidromassagem em relação a outros tipos de aquecedores instantâneos, como chuveiros elétricos convencionais, em que o funcionamento elétrico é constante uma vez acionado o aquecimento. Se leitura semelhante fosse realizada com um chuveiro elétrico, os valores de consumo acumulado percebidos entre os intervalos

de leitura ao longo do tempo seriam bastante semelhantes, já que a potência de acionamento teria sido mantida durante seu funcionamento, independentemente da temperatura da água de entrada ou saída.

Os procedimentos foram repetidos mais duas vezes, conforme os valores descritos na **Tabela 2**, com o intuito de obter o valor da eficiência energética, conforme o método proposto, a partir da média dos três resultados obtidos para a amostra 1.

Tabela 2 – Repetição de ensaio da amostra 1

Repetição de ensaio	Tempo total de ensaio (min)	Consumo acumulado total (Wh)	Temperatura (°C)			Diferença de temperatura em relação ao início do ensaio (°C)	Rendimento (%)
			Inicial	Final	Ambiente		
1ª	45	3679	22,0	41,2	21,4	19,2	97,04
2ª	50	3800	21,4	41,3	21,5	19,9	97,38

Fonte: elaborado pelos autores

O valor obtido para a eficiência energética da amostra 1, a partir da média aritmética dos três valores obtidos foi de 97,34 %.

3.2 Aplicação do método – amostra 2

O procedimento metodológico proposto foi repetido para a amostra 2. Assim como para a amostra 1, a água aquecida pela amostra 2 também não se estabilizou em 40 °C, estabilizando-se em temperatura ainda superior àquela da primeira amostra, ultrapassando os 43 °C. Os resultados obtidos podem ser observados na **Tabela 3**.

Para a determinação do rendimento da amostra 2, de forma análoga ao realizado para a amostra 1, os valores dos parâmetros obtidos durante o ensaio, lidos no momento em que a temperatura da água se estabilizou, foram aplicados à **Equação 1**:

$$\text{Eficiência: } \eta = \frac{\{(43,8-20,5) \cdot 160\} \cdot 1,1622}{4498} \cdot 100 = 96,32 \% \quad \text{(Equação 3)}$$

Tabela 3 – Dados da amostra 2 para o cálculo da eficiência no método proposto

Tempo de ensaio (min)	Consumo acumulado no intervalo de 5 min (Wh)	Consumo Acumulado total (Wh)	Temperatura (°C)			Diferença de temperatura em relação ao início do ensaio (°C)
			Termopar 1	Termopar 2	Ambiente	
0	0	0	20,5	20,5	20,4	0
5	596	596	24,0	23,9	20,5	3,45
10	604	1200	27,6	27,5	20,6	7,05
15	603	1803	31,0	30,9	20,7	10,45
20	602	2405	34,3	34,3	20,9	13,80
25	603	3008	37,5	37,4	20,3	16,95
30	600	3608	40,5	40,5	20,4	20,00
35	600	4208	43,4	43,4	20,2	22,90
45	290	4498	43,8	43,8	20,6	23,30

Fonte: elaborado pelos autores

Observando-se os dados da **Tabela 3**, nota-se que a amostra 2, apesar de ter a mesma potência nominal da Amostra 1, tem um comportamento de consumo energético diferente da primeira durante o aquecimento da água. Devido a maior intermitência no acionamento da Amostra 1, os valores obtidos no consumo energético a cada 5 min, são mais variáveis e menores que os da Amostra 2. Consequentemente, a água foi aquecida em um maior intervalo de tempo.

No caso da Amostra 2, o consumo energético tende a valores constantes nos intervalos de medição, permanecendo mais tempo ligado. Essa característica de funcionamento do equipamento permitiu que o tempo necessário para atingir a temperatura desejada da água na Amostra 2 fosse menor. As diferenças na intermitência de funcionamento e no tempo de aquecimento entre as duas amostras, não causou prejuízo ao andamento do ensaio, demonstrando que o método proposto atende às características distintas de funcionamento encontradas em diferentes aquecedores utilizados em banheiras de hidromassagem.

Assim como para a Amostra 1, os procedimentos foram repetidos mais duas vezes (**Tabela 4**) com o intuito de se calcular a eficiência energética da amostra a partir da média dos três resultados obtidos nos ensaios para a Amostra 2.

Tabela 4 – Repetição de ensaio da amostra 2

Repetição de ensaio	Tempo total de ensaio (min)	Consumo acumulado total (Wh)	Temperatura (°C)			Diferença de temperatura em relação ao início do ensaio (°C)	Rendimento (%)
			Inicial	Final	Ambiente		
1ª	45	4418	20,9	43,6	21,5	22,7	95,54
2ª	50	4298	20,7	43,1	21,2	22,4	96,91

Fonte: elaborado pelos autores

A partir dos valores obtidos durante os ensaios, atingiu-se o valor de 96,26 % para a eficiência energética da Amostra 2.

A aplicação do método proposto apresentou resultados com baixa variabilidade entre as repetições, o que indica boa repetitividade de valores.

4 Conclusões

A partir de observações realizadas durante os testes de diferentes tipos de aquecedores elétricos de passagem em laboratório, constatou-se a carência de um método de ensaio elaborado, especificamente, para a avaliação da eficiência energética em aquecedores elétricos instantâneos de passagem para banheiras de hidromassagem. O método atualmente em uso foi elaborado para aquecedores do tipo chuveiro elétrico e, quando aplicado aos aquecedores utilizados em banheiras de hidromassagem, pode levar a resultados pouco precisos, devido às diferenças entre os regimes de funcionamento e as concepções de posicionamento na instalação hidráulica desses equipamentos.

O local de instalação do equipamento no circuito hidráulico, o seu regime de acionamento, o controle por temperatura e não por seleção de potência e o fato dos aquecedores para banheira trabalharem com o aumento gradual da temperatura da água no circuito de recirculação são alguns dos fatores que foram levados em consideração na elaboração do método proposto.

O método proposto para a avaliação da eficiência energética destinado, especificamente, aos aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem tem como principais diferenciais, em relação ao método preconizado pela norma vigente: a utilização do equipamento em situação semelhante àquela do seu uso de projeto; a definição do volume de água a ser aquecido; o uso de água em regime de recirculação; e a leitura do consumo acumulado durante o período de execução do ensaio, que é utilizada com variável chave para o cálculo da eficiência energética.

A aplicação do método mostrou-se viável em teste de validação realizado em laboratório, denotando a facilidade de sua aplicação aos equipamentos para os quais foi proposto. Os resultados obtidos para as repetições a partir da aplicação do método apresentaram baixa variabilidade denotando a repetitividade dos resultados quando o método proposto é aplicado.

O método proposto é uma alternativa viável para ser incorporada aos regulamentos destinados à avaliação dos aquecedores destinados ao uso em banheiras de hidromassagem.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15001**: Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água – Determinação da eficiência energética. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16305**: Aparelhos elétricos de aquecimento instantâneo de água – Requisitos de desempenho e segurança. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL. Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, 18 out. 2001. p. 1.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. Portaria nº 301, de 14 de junho de 2012. Regulamento técnico da qualidade para equipamentos de aquecimento solar de água. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, n. 58, p. 64, 26 mar. 2013. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001845.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. **Regulamento Específico 002 para uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia**. 2005. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/chuveiroTornAquec.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. **Tabelas de consumo e eficiência energética**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

LADEIRA, F. S. **Método para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017.

LADEIRA, F. S., ZANELLA, L. Limitações do método vigente para avaliação da eficiência energética de aquecedores elétricos instantâneos de água para banheiras de hidromassagem. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 2, n. 9, 2018.

Identificação dos riscos e oportunidades do sistema de gestão da qualidade a partir do estímulo do exercício da mentalidade de risco

Identification of the risks and opportunities of the quality management system by stimulating the exercise of the risk mentality

Cyntia Matteucci^{a*}

^a Laboratório de Engenharia Térmica, Centro de Tecnologia Mecânica, Naval e Elétrica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: cyntiamt@ipt.br

Palavras-chave:
sistema de gestão;
mentalidade de risco;
ABNT NBR ISO/IEC
9001:2015; ABNT NBR ISO/
IEC 17025:2017.

Keywords:
*management system; risk
mentality; ABNT NBR ISO/
IEC 9001:2015; ABNT NBR
ISO/IEC 17025:2017*

Resumo

A norma ABNT NBR ISO 9001:2015 especifica os requisitos necessários para que um Sistema de Gestão da Qualidade demonstre a sua capacidade de prover produtos e serviços conformes e aumentar a satisfação do cliente. Um dos requisitos é promover o uso da mentalidade de risco. O objetivo deste trabalho é obter informações sobre os riscos e as oportunidades do sistema de gestão da qualidade do IPT, com o uso da mentalidade de risco. O método baseia-se em dados obtidos por meio de um questionário de três perguntas que proporcionou 599 respostas relevantes, sendo 511 sobre a percepção dos riscos pelos colaboradores do Instituto e 88 sobre as oportunidades de minimizá-los. Os resultados permitem concluir que o método para identificação dos riscos é viável, uma vez que: não requer investimentos extras ou acrescenta custos adicionais ao sistema de gestão da qualidade; garante a confiabilidade das informações para o planejamento das ações de mitigação de riscos, visando minimizar os seus efeitos negativos e maximizar o aproveitamento das oportunidades; proporciona um atendimento seguro; e otimiza o próprio requisito das normas ABNT NBR ISO 9001:2015 e ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, além apoiar os requisitos correlacionados.

Abstract

The ABNT NBR ISO 9001:2015 standard specifies the requirements for a Quality Management System to demonstrate its ability to provide products and services in accordance with the current standard and

to demonstrate the increase of customer's satisfaction. One of the requirements is promote the use of risk mentality. The objective of this work is to obtain information about the risks and opportunities of the IPT quality management system, using the risk mentality. The method was based on case study data obtained from a survey performed among IPT professionals: 599 specific notes on risks (511) and on opportunities (88). We concluded that the methodology is feasible, because it does not request extra investments, nor does it add additional costs to the quality management system. Furthermore, it guarantees obtaining relevant results to plan the quality management actions in order to minimize the negative effects and to maximize the use of the opportunities, providing a secure and an optimized service of the requirement the ABNT NBR ISO 9001:2015 and ABNT ISO/IEC 17025:2017, as well as impacting correlated requirements.

1 Introdução

A norma ABNT NBR ISO 9001:2015 especifica os requisitos necessários para um Sistema de Gestão da Qualidade quando uma organização:

- a) necessita demonstrar sua capacidade para prover consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente e aos requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis;
- b) visa aumentar a satisfação do cliente por meio da aplicação eficaz do sistema, incluindo processos para melhoria do sistema e para a garantia da conformidade com os requisitos do cliente e com os requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a, p. 1)

Um dos requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 é promover o uso da mentalidade de risco (5.1.1.d), cuja importância é habilitar a organização para identificar os fatores que podem causar desvios nos seus processos e sistema de gestão da qualidade, em relação aos resultados planejados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2015a).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 9000:2015 o risco é o "efeito da incerteza", ou seja, "um efeito é um desvio do esperado – positivo ou negativo" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015b).

O objetivo deste trabalho é propor um método para realização do levantamento de informações sobre os riscos e as oportunidades do sistema de gestão da qualidade da organização, com o uso da "mentalidade de risco".

2 Procedimento metodológico

Este trabalho apresenta o método utilizado, oportunamente, durante os treinamentos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 para levantamento da percepção dos colaboradores do IPT sobre os riscos e oportunidades em seus processos. Os treinandos foram estimulados a aplicar a "mentalidade de risco" pensando sobre os riscos e as oportunidades do que podem impactar a satisfação dos clientes do IPT com seus serviços.

Foram realizados cinco treinamentos, com oito horas de duração (perfazendo um total de 40 horas), durante os meses de outubro de 2017 a março de 2018, quando foram treinadas 95 pessoas, entre elas auditores, representantes da qualidade, líderes, supervisores e técnicos. Foram necessários de 30 minutos a 40 minutos, em cada treinamento, para que os participantes respondessem livremente às três perguntas seguintes:

- 1) O que pode afetar o fornecimento de produto e serviço (P&S) conformes?
- 2) O que pode afetar a diminuição da satisfação dos clientes?
- 3) O que pode afetar o aumento da satisfação dos clientes?

Importante destacar que foram apresentados definições, conceitos e requisitos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 antes que os treinandos respondessem às questões.

As duas primeiras perguntas visavam à identificação dos riscos. Permitiu-se que os participantes identificassem diferentes situações de ameaças, o que resultou em 300 respostas e 211 respostas, para as perguntas 1 e 2, respectivamente.

A terceira pergunta visou a identificar as oportunidades de aumentar a satisfação dos clientes. Para essa pergunta obteve-se 88 respostas. O número menor de respostas se deve ao fato dessa questão ter sido incluída apenas nos dois últimos treinamentos, porque foi criada em consenso com os treinandos.

As 599 respostas foram classificadas por assuntos citados nas normas ABNT NBR ISO 9001:2015 e ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017. Em seguida, as respostas foram organizadas conforme as classificações e organizadas em Gráficos de Pareto, com a intenção de identificar os assuntos (problemas) com maiores possibilidades de melhora.

Segundo Brassard e Ritter (1994) e Lapponi (2005) os assuntos poderiam ser tratados em função da frequência (quantidade) das respostas, do impacto e do custo. Neste trabalho, optou-se pela frequência.

Para utilizar os resultados da metodologia aplicada para o levantamento dos riscos e oportunidades, selecionou-se o ciclo *PDCA* difundido em meados de 1950, pelo estatístico e professor William Edwards Deming (1900-1993). Há também quem atribua sua criação ao engenheiro Walter Shewart (1891-1967), contemporâneo de Deming. Independente da autoria, o método prevê quatro momentos importantes para a melhoria dos processos, chamado de Ciclo *PDCA*, que são, em inglês: "*Plan – Do – Check – Act*" ou, em português, "Planejar – Fazer – Verificar – Agir" (ROCHA et al., 2014).

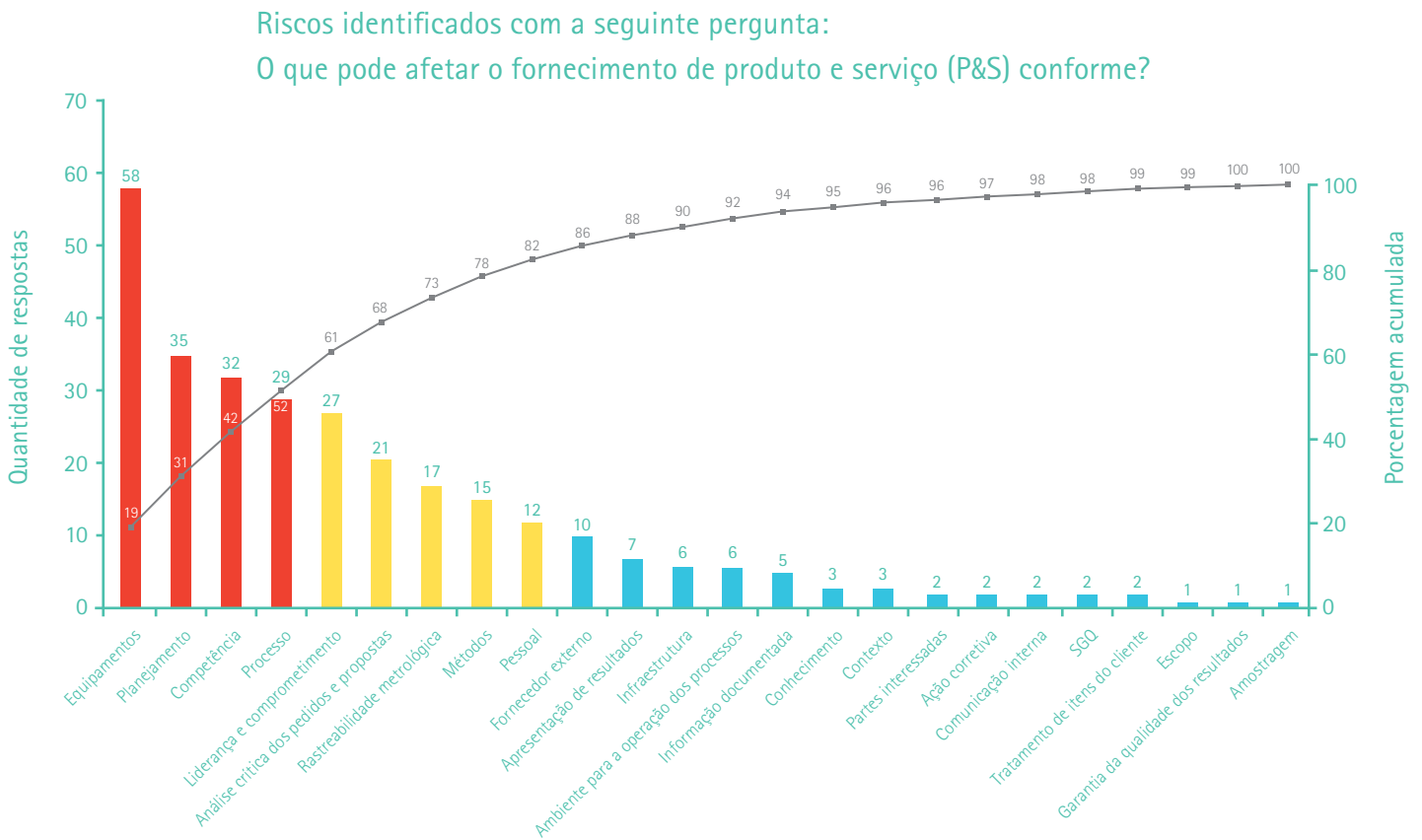
Os resultados foram analisados e, em seguida, selecionados os assuntos para fomentar as discussões sobre a aplicação de recursos financeiros e humanos no planejamento de treinamentos institucionais para o aperfeiçoamento da aplicação da "mentalidade de risco", como apoio no início da primeira etapa do ciclo *PDCA*, que é o planejamento.

3 Resultados e discussão

3.1 Resultados

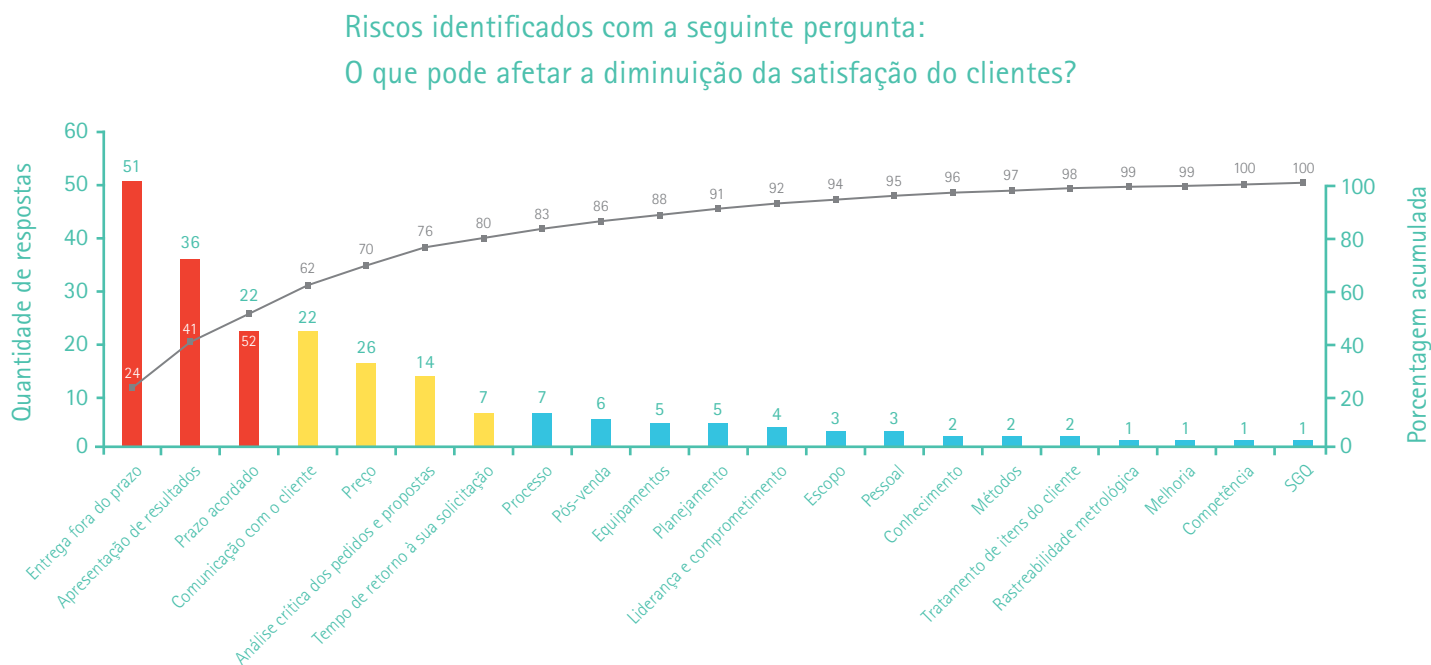
A seguir, serão apresentados os Gráficos de Pareto (**figuras 1, 2 e 3**) demonstrando a classificação das 599 respostas obtidas durante a realização dos treinamentos do Sistema de Gestão da Qualidade.

Figura 1 – Riscos identificados com a pergunta: “O que pode afetar o fornecimento de produto e serviço conforme?”



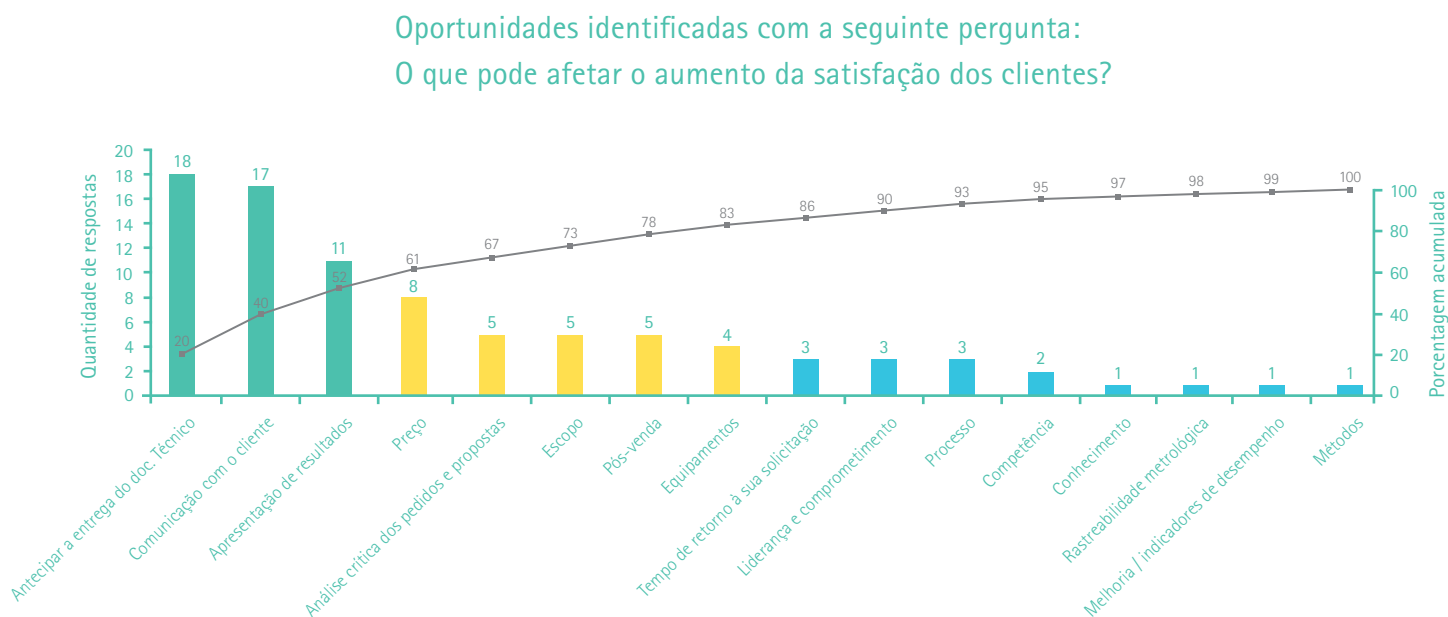
Fonte: elaborado pela autora

Figura 2 – Riscos identificados com a pergunta: "O que pode afetar a diminuição da satisfação dos clientes?"



Fonte: elaborado pela autora

Figura 3 – Oportunidades identificadas com a pergunta "O que pode afetar o aumento da satisfação dos clientes?"



Fonte: elaborado pela autora

De acordo com a frequência (quantidade) das respostas, observa-se que nos três gráficos as barras vermelhas e verdes representam, aproximadamente, 50 % das fontes dos riscos ou oportunidades de cada pergunta. As barras vermelhas e mais as amarelas, e as barras verdes e mais as amarelas representam em torno de 80 % das fontes dos riscos ou oportunidades. As barras azuis são os 20 % restantes dos 100 % dos riscos ou oportunidades.

Na opinião dos treinandos, 52 % dos riscos que podem afetar o fornecimento de produto e serviço (P&S) conformes são os equipamentos, planejamento, competência e processo. Para considerar 80 % das respostas, devem ser incluídas na análise as fontes de liderança e comprometimento, análise crítica dos pedidos, propostas e contratos, rastreabilidade metrológica, métodos e pessoal. As demais opções completam o 100 % de fontes (**vide Figura 1**).

Os treinandos disseram que 52 % dos riscos que podem afetar a diminuição da satisfação dos clientes são: a entrega de documentos técnicos fora do prazo, a apresentação de resultados e o cumprimento do prazo acordado. Para considerar 80 % das respostas devem ser incluídas as fontes de comunicação com o cliente, preço, análise crítica dos pedidos, propostas e contratos e tempo de retorno da solicitação. As demais opções completam 100 % de fontes (**vide Figura 2**).

Na opinião dos treinandos, 52 % das oportunidades que podem afetar o aumento da satisfação dos clientes são: a antecipação da entrega dos documentos técnicos, a comunicação com o cliente e a apresentação de resultados. Para considerar 83 % devem ser incluídas as fontes de preço, análise crítica dos pedidos, propostas e contratos, escopo, pós-venda e equipamentos. As demais opções completam 100 % de fontes (**vide Figura 3**).

Os resultados deste trabalho foram disponibilizados para o Departamento de Desenvolvimento da Coordenadoria de Gestão de Pessoas para fomentar a análise e discussões de aplicações de recursos financeiros e humanos para o planejamento de treinamentos das competências institucionais para a gestão adequada da "mentalidade de risco" nos processos.

3.2 Discussão

Segundo a ABNT NBR ISO 9001:2015 “[...] a mentalidade de risco habilita a organização a identificar os fatores que poderiam causar desvios nos seus processos e no seu sistema de gestão da qualidade em relação aos resultados planejado” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a). Entretanto, a norma não especifica um método para essa identificação nem requer que a informação sobre o assunto seja documentada. O que a norma pede é que se pense a respeito dos riscos e trate as questões pertinentes.

Apesar de 6.1 especificar que a organização deve planejar ações para abordar riscos, não há requisitos para métodos formais para gestão de riscos ou um processo de gestão de riscos documentado. As organizações podem decidir desenvolver ou não uma metodologia de gestão de riscos mais extensiva que o requerido por esta Norma, por exemplo, através de aplicação de outras diretrizes ou normas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015a, p. 25).

As metodologias citadas pelo Project Management Institute (2014) e nas normas ISO/TR 31004:2015 e NBR ISO/IEC 31000:2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015c; 2018) ou pesquisa do tipo *survey* exploratória para gerenciamento de riscos, podem colaborar com o atendimento ao requisito 6.1 – Ações para abordar riscos e oportunidades, mas, antes de implantar algumas desses métodos, sugere-se um levantamento de informações junto ao quadro de profissionais envolvidos para identificação da gama de riscos e oportunidades e a priorização desses para a adoção de medidas mitigadoras e mesmo ações corretivas, quando pertinentes.

As respostas obtidas são relevantes porque auxiliam o planejamento das ações para minimizar os efeitos negativos e maximizar o aproveitamento das oportunidades, proporcionando um atendimento seguro e otimizado do próprio requisito, além de impactar nos requisitos correlacionados.

A seguir, alguns exemplos de correlação de requisitos segundo a Associação Portuguesa de Certificação (2015):

- referentes aos equipamentos: estão correlacionados, com os requisitos planejamento, operações, medição, monitorização, análise e avaliação e melhoria;
- referentes ao planejamento: estão correlacionados com foco no cliente, análise e avaliação, entradas de análise crítica pela direção e não conformidade e ação corretiva;
- referentes à competência: estão correlacionados com sistema de gestão da qualidade e processo, liderança e compromisso, funções, responsabilidades e autoridades, objetivos da qualidade e planejamento, planejamento das alterações, planejamento e controle operacional e melhoria;
- referentes aos processos: estão correlacionados com todos os requisitos; e
- referentes ao foco no cliente: estão correlacionados com riscos e oportunidades, objetivos da qualidade e planejamento, conscientização, operação, satisfação do cliente, análise e avaliação e análise crítica pela direção.

4 Conclusões

Este trabalho propôs um método para realização do levantamento de informações sobre os riscos e as oportunidades do sistema de gestão da qualidade da organização, com o uso da "mentalidade de risco".

A metodologia descrita neste trabalho obteve 599 informações relevantes, sendo 511 sobre os riscos que podem impactar a satisfação dos clientes ou prover produtos e serviços conformes percebidos pelos profissionais do IPT e 88 sobre oportunidades de minimizar esses riscos do sistema de gestão da qualidade do IPT.

O exercício de estimular as pessoas a pensar e disponibilizar o conhecimento sobre os riscos e as oportunidades do sistema de gestão da qualidade durante o treinamento da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 mostrou-se viável por não solicitar investimentos extras, nem acrescentar custos adicionais ao sistema de gestão da qualidade, além de garantir a confiabilidade dos resultados.

Este trabalho demonstrou uma metodologia para aplicação "mentalidade de risco" em um exercício prático, colaborando, assim, para a provisão de produtos e serviços conformes e para o aumento da satisfação do cliente do IPT.

5 Agradecimentos

Pelo empenho da equipe da Gerência de Gestão da Qualidade ao cumprimento de sua missão junto ao IPT e todos os participantes dos cinco treinamentos da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 pelas respostas valorosas disponibilizadas.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 9001**: Sistema de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 9000**: Sistema de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO/TR 31004:2015**: Gestão de riscos – Guia para implementação da ABNT NBR ISO 31000. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 31000:2018**: Gestão de riscos – Diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE CERTIFICAÇÃO. **Guia do utilizador ISO 9001:2015**. Porto: APC, 2015.

BRASSARD, B.; RITTER, D. **O Impulsionador da memória II**. São Paulo: Epse, 1994. 176 p.

LAPPONI, J. C. **Estatística usando Excel**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos: Guia PMBOK**. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

ROCHA, A. V. et al. **Gerenciamento da qualidade em projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014.

Baterias de íons lítio para veículos elétricos

Li-ion batteries for electric vehicles

Célia Aparecida Lino dos Santos^{a*}

^a Laboratório de Corrosão e Proteção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: clsantos@ipt.br

Palavras-chave:

baterias de íons Li; veículo elétrico; química das baterias.

Keywords:

Li-ion batteries; electric vehicles; chemistry of batteries.

Resumo

A mobilidade dos dispositivos eletroeletrônicos e as ações voltadas à sustentabilidade e à economia de recursos naturais têm sido agentes do desenvolvimento de tecnologias ligadas à produção e ao armazenamento de energia. Cita-se, como exemplo, o grande consumo dos aparelhos celulares, laptops e, mais recentemente, a introdução dos veículos elétricos no mercado internacional. As baterias de íons lítio são as mais empregadas por atender a essas demandas, devido ao seu elevado potencial elétrico e baixo peso (baixa massa). O desenvolvimento de baterias à base de lítio teve início por volta de 1970 quando se utilizavam anodos de lítio metálico. Como o lítio no estado metálico é muito reativo, as primeiras baterias não se mostraram seguras. Em 1980, os estudos se concentraram em desenvolver baterias que utilizassem os íons lítio e, em 1990, já havia aparelhos celulares utilizando as baterias de íons lítio. Desde então, os esforços foram direcionados para desenvolver materiais e compostos mais versáteis que suportassem o maior ciclo de carga possível. Em 2017, os fabricantes de veículos elétricos optaram, em sua maioria, por utilizar as baterias à base de LiNiMnCoO_2 , enquanto os chineses empregam as baterias à base de LiFePO_4 . A fronteira do desenvolvimento das baterias de lítio está em produzir um eletrólito sólido eficaz para tornar segura a utilização comercial da bateria com anodo de lítio metálico (como foi proposto em 1970) sem riscos de explosões porque é na forma de eletrodo metálico que se extrai a maior quantidade de energia do elemento lítio.

Abstract

The mobility of electro-electronic devices and the actions related to the sustainability and to the saving of natural resources are what have pushed ahead the development of technologies linked to the production and to the storage of energy. Excellent examples of this would be the enormous usage of mobile phones, laptops and recently, the introduction of electric vehicles in the international market. Li-ion

batteries are mostly used to meet the energy consumption of these devices due to their high electric potential and low weight. The development of Li-based batteries began around 1970 during the period in which Li-metallic anodes were used. These first batteries were not safe because the metallic Li is very reactive. In 1980, studies focused on the development of a Li-ion battery instead of Li-metallic and, in 1990, there were already cell phones using Li-ion batteries. Since then, efforts have been made to develop more versatile materials and compounds which withstand larger charge cycles. In 2017, electric vehicle manufacturers opted mostly to the use of LiNiMnCoO_2 -based batteries, with Chinese vehicles employing LiFePO_4 -based batteries. The development boundary of Li batteries is in producing an effective solid electrolyte to guarantee the safe commercial use of the battery with Li metallic anodes (as proposed in 1970) without the risk of explosions due to the form of a metallic electrode where the largest amount of energy is extracted from the Li element.

1 Introdução

A mobilidade e a portabilidade de dispositivos eletrônicos tem sido a tônica da sociedade deste século. Por exemplo, relógios, aparelhos de telefone celular, *laptops*, aparelhos auditivos, veículos de passeio ou de transporte público necessitam de energia. As baterias fornecem energia e, quanto menores elas forem, mais versáteis serão os aparelhos que nos cercam.

A comercialização de veículos elétricos que empregam baterias de íons lítio tem crescido nesses últimos cinco anos e países europeus já anunciaram que pretendem cessar a produção de veículos à combustão até 2040, sendo a Noruega até 2025, a Alemanha até 2030 e Reino Unido até 2040 (ZHAO, 2018).

Com a substituição dos veículos à combustão por veículos híbridos ou totalmente elétricos, o perfil da indústria automobilística encontra-se em plena redefinição e estão sendo criadas oportunidades de prestação de serviços, pesquisa, desenvolvimento e inovação.

O Boletim AutoData-Tecnologia (2017), publicado pela Federação de Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), relata que a queda do preço das baterias será de fundamental importância para o crescimento da produção dos veículos elétricos e que as baterias de íons lítio terão seus menores preços entre 2025 e 2029. A próxima década trará consigo uma grande mudança de comportamento no que se refere aos veículos de transporte particular ou em massa.

A Europa busca reduzir suas emissões de carbono e tem adotado o carro elétrico como um dos caminhos para alcançar seus objetivos (ZHAO, 2018). O Brasil, por sua vez, possui uma importante fonte de energia renovável que é o etanol e, para o caso brasileiro, o desenvolvimento de um carro híbrido com motor elétrico e com motor à combustão, empregando etanol, mostra-se como um caminho interessante, segundo Romio (2017, p. 6-7).

A possibilidade de desenvolver fontes de energia com pequenas dimensões e elevados valores de potencial torna a bateria de íons lítio um sistema de interesse tecnológico. As pesquisas buscam aumentar a estabilidade dos seus eletrodos (polos positivo e negativo) e ampliar o valor de potencial da bateria.

O atual contexto, que envolve mobilidade e energia, motivou a realização de uma revisão bibliográfica sobre baterias de íons lítio para veículos elétricos, concretizada por meio do Projeto de Capacitação N°500445A. O presente artigo apresenta os principais tópicos dessa revisão.

2 Metodologia

A revisão bibliográfica abrangeu as bases de dados a seguir:

- *ISI Web of Knowledge*;
- *Scopus*;
- *Scielo*;
- Repositórios digitais de dissertações e teses.

As palavras-chave utilizadas como estratégias de busca nas bases de dados de artigos, patentes e livros foram as seguintes:

- *"Li-ion*" and "battery" and "electric vehicle"*;
- *"Li-ion*" and "battery" and "cathode material and Nb"*;
- *"Li-ion*" and "battery" and "anode material and Nb"*.

3 Desenvolvimento

3.1 Veículos elétricos

O desenvolvimento de veículos elétricos no Brasil foi tímido porque a política pública adotada para enfrentar a crise do petróleo, na década de 1970, foi o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Apesar do esforço para o desenvolvimento do carro a álcool e do sucesso alcançado, destaca-se o protótipo nacional Gurgel Itaipu movido à bateria de chumbo-ácido, com motor elétrico de 3,2 kW (4,2 cv), velocidade máxima de 50 km/h, autonomia entre 60 km e 80 km (VAZ; BARROS; CASTRO, 2015).

As limitações de desempenho do Gurgel Itaipu, muito em função do grande peso¹ das baterias de chumbo-ácido, além do elevado preço em comparação aos veículos com motor à combustão, desestimularam a disseminação do primeiro veículo elétrico nacional (VAZ; BARROS; CASTRO, 2015).

O veículo elétrico voltou a ser cogitado a partir da Conferência Rio-92 (ECO-92), evento organizado pela Organização das Nações Unidas (ONU), no Rio de Janeiro, que despertou a conscientização global pela melhoria da qualidade do ar nas cidades, pela redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e pela substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas. O efeito sobre o setor automotivo foi a busca por veículos, energeticamente, mais eficientes e com menor impacto ambiental, retomando o interesse pela eletrificação veicular (VAZ; BARROS; CASTRO, 2015).

Em 1997, o Japão lançou o primeiro veículo híbrido produzido em massa, o Toyota Prius, com o objetivo de reduzir os GEE, enquanto, no Brasil, durante a primeira década dos anos 2000, desenvolveram-se os veículos *flex-fuel* cujo motor à combustão utiliza gasolina ou etanol combustível. Esses veículos tornaram-se os mais licenciados entre os veículos leves no nosso país (VAZ; BARROS; CASTRO, 2015).

Além do desenvolvimento do carro *flex-fuel*, nosso país se dedicou ao desenvolvimento do veículo elétrico por meio da empresa Itaipu Binacional. Em seu site, www.itaipu.gov.br, foi publicada notícia sobre a entrega de um veículo elétrico e dois eletropostos ao Ministério de Minas e Energia, em 01.06.2017. Essa reportagem traz, além da entrega do veículo, a trajetória desse projeto que adotou a bateria conhecida no mercado como Zebra², de fabricação suíça, que foi nacionalizada durante o decorrer dos trabalhos (ITAIPU BINACIONAL, 2017).

¹ A denominação peso é empregada como sinônimo de massa na área de baterias. Apesar de se ter o conhecimento que peso e massa são conceitos diferentes, na prática, o setor de baterias utiliza em seu vocabulário específico a palavra peso ao se referir à massa das baterias. Nesse artigo, o termo peso será empregado como sinônimo de massa.

² As baterias do tipo *Zeolite Battery Research Africa Project* (Zebra), também chamadas de baterias de sódio-níquel, utilizam cloreto de níquel fundido como eletrólito e sódio metálico com catodo. Operam em temperaturas altas, entre 250 °C e 300 °C, para manter o sal no estado líquido. Apesar do seu isolamento térmico, a bateria consome energia para compensar a perda de calor para o ambiente. Essas baterias são fabricadas apenas por uma empresa, a FZ Sonick (LI et al., 2013; CASTRO; BARROS; VEIGA, 2013).

Kempton e Kubo (2000) citam que o aumento da produção de veículos elétricos utilizando baterias não acarretaria, necessariamente, um aumento da produção de energia elétrica se os *electric-drive vehicles* (EDVs) fossem recarregados em momentos de baixa demanda, como por exemplo, durante a noite. Os autores consideraram possível reduzir a demanda do fornecimento no período de pico de consumo de energia se os EDVs forem conectados à rede para permitir a descarga da energia armazenada em suas baterias durante os períodos de pico de demanda. Essa abordagem foi sugerida por Kempton e Letendre (1997, 1999 apud KEMPTON; KUBO, 2000), que calcularam o valor econômico dos veículos elétricos à bateria, tornando-os uma fonte de eletricidade nos períodos de pico. Kempton e Letendre concluíram que nos Estados Unidos, sob condições adequadas, a disseminação dos carros elétricos poderia promover um custo-benefício para a concessionária de energia elétrica, bem como para o proprietário do veículo.

Segundo Kempton e Kubo (2000), a segurança energética nos anos 2000, no Japão, era mais grave do que nos Estados Unidos, principalmente, devido à escassez de recursos. O governo japonês, nos anos 2000, já estava envolvido em vários programas de energia renovável, como a geração de energia solar (fotovoltaica). Visto que a energia nuclear é gerada com produção constante, o armazenamento da energia em EDVs melhoraria o seu aproveitamento e equilibraria os altos e baixos da demanda produção de energia solar que, intrinsecamente, possui picos de geração. Os EDVs surgiram como uma maneira promissora de adicionar armazenamento ao sistema elétrico.

Kempton e Kubo (2000) concluíram que o desempenho das baterias da época, do tipo metal-hidreto metálico (NiMH), não alcançavam os valores de energia necessários para que elas fornecessem energia ao sistema elétrico, porém, com a evolução da capacidade das baterias e, também, com a queda dos seus preços, os EDVs seriam importantes para a mobilidade urbana com baixa ou nenhuma emissão dos gases do efeito estufa, assim como para o gerenciamento do sistema de distribuição de energia elétrica.

O trabalho de Kempton e Kubo (2000) exemplificou qual era o panorama do desenvolvimento dos veículos elétricos em países como os Estados Unidos e o Japão em 2000.

As baterias se desenvolveram durante os anos seguintes e as de íons lítio substituíram as de NiMH. O desafio atual é viabilizar a integração dos veículos elétricos às redes de distribuição de energia em diversos países (MOHITI; MONSEF; LESANI, 2019).

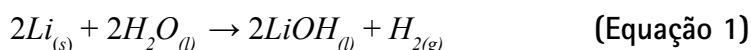
A bateria do veículo elétrico (à base de íons lítio) é composta pela associação de várias unidades (células galvânicas) de modo a alcançar a tensão e a corrente necessária para cada projeto de veículo elétrico.

O gerenciamento do funcionamento dessas células é feito por um sistema denominado Sistema de Controle e Monitoração da Bateria (*Battery Management System* – BMS). Trata-se de um circuito eletrônico que controla a operação das células individualmente, buscando evitar condições de risco como sobrecarga, subcarga, temperatura elevada e curto-circuito externo. Se um dos limites for ultrapassado, o circuito eletrônico desabilita a bateria, prevenindo a ocorrência de acidentes. Em geral, a faixa de tensão de uma bateria para veículos elétricos varia entre 300 V e 600 V, com capacidade que depende da potência e autonomia do sistema. Para se obter a tensão e a potência definida para o veículo, empregam-se células de lítio interligadas em série e/ou em paralelo, sendo que, nessa última configuração, pode haver um desequilíbrio da tensão entre elas, acarretando uma diminuição da capacidade e da vida útil da bateria (HANNAN et al., 2017; ROSOLEM; BECK; RIBEIRO, 2012).

As baterias de íons lítio têm sido as mais bem aceitas pelos vários modelos de veículos elétricos pelo seu elevado potencial elétrico e baixo peso. Seu preço está em queda desde 2010, quando custava US\$ 1 000,00/kW.h. Em 2018, seu valor está em US\$ 400,00/kW.h e a tendência é que se estabilize no valor de US\$ 200,00/kW.h, em 2030 (HANNAN et al., 2018).

3.2 O elemento químico lítio

O elemento químico lítio apresenta destacada reatividade química³, por esse motivo diz-se que o lítio é muito reativo. No estado metálico, ele reage rapidamente com a água formando hidróxido de lítio e gás hidrogênio, de acordo com a **Equação 1** (HOUSECROFT; SHARPE, 2013):



O hidrogênio gasoso oferece perigo devido à sua grande inflamabilidade. O lítio metálico é armazenado em recipiente contendo solvente orgânico para evitar que ele entre em contato com o ar atmosférico e com vapor d'água, prevenindo, assim, o risco de explosão (HOUSECROFT; SHARPE, 2013).

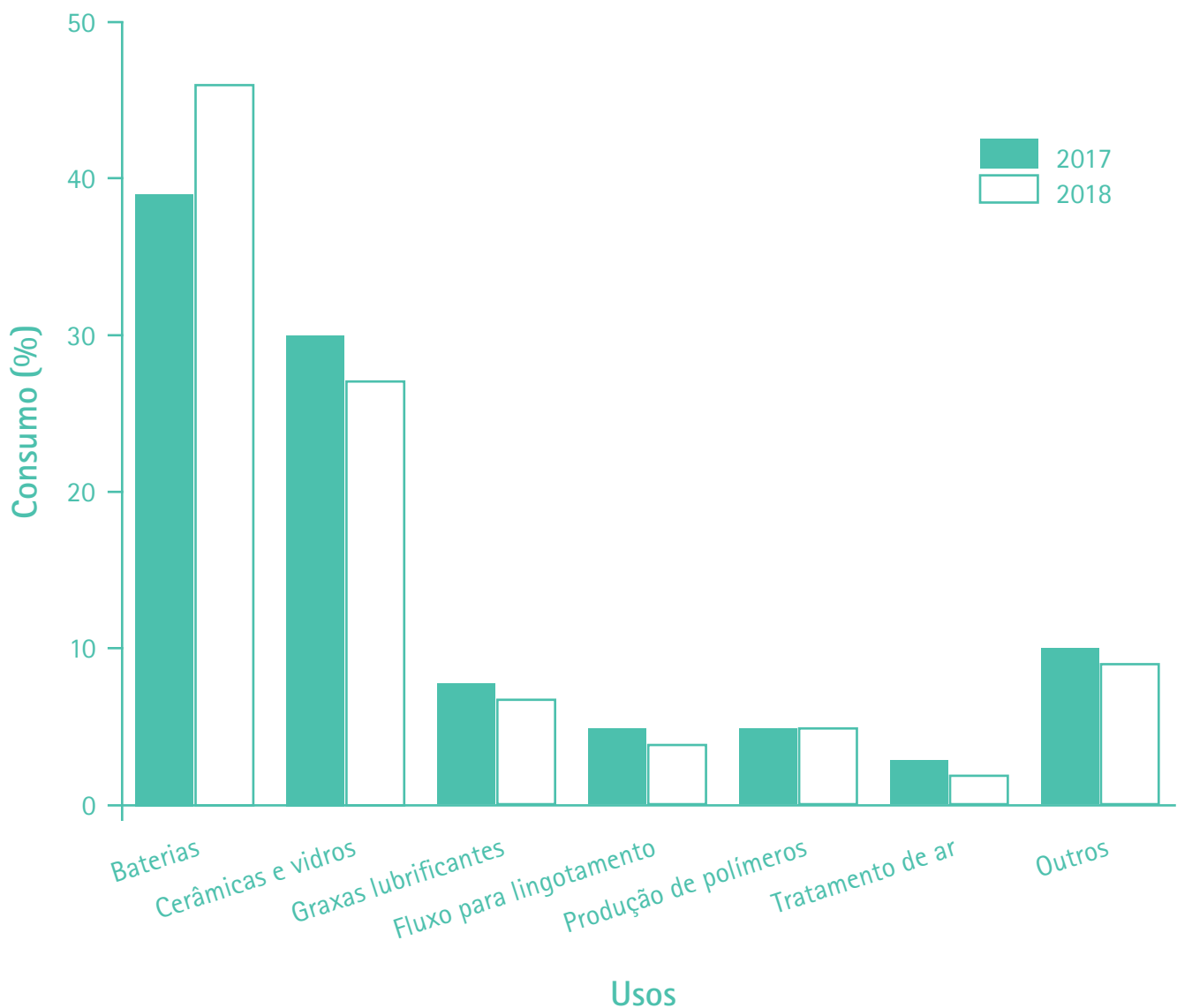
Os compostos comerciais de lítio são obtidos a partir de minerais classificados como aluminossilicatos de lítio: espodumênio, lepidolita, petalita e amblygonita. O mineral petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$) foi descoberto por José Bonifácio de Andrada e Silva, em 1800, na ilha de Itö na Suécia (FRANCO-PATROCÍNIO; FREITAS-REIS, 2015). Petalita deriva da palavra grega petalon que significa pétala.

³ Reatividade química é uma propriedade periódica. Os elementos químicos classificados como metais apresentam maior reatividade química do que os elementos químicos classificados como ametais. Os elementos químicos classificados como gases nobres não apresentam reatividade química. Os metais mais reativos concentram-se no grupo 1 da tabela periódica, são os metais alcalinos.

As principais reservas minerais de lítio encontram-se na Argentina, Chile, China e Austrália (UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY, 2017).

Os compostos de lítio são utilizados na produção de diferentes produtos, destacando-se o crescimento da utilização desses compostos para a produção de baterias de 2017 para 2018, segundo os resumos das commodities minerais de 2017 e 2018 gerados pelo *United State Geological Survey - USGS* (2017; 2018), **Figura 1**.

Figura 1 – Comparação do consumo de compostos de lítio utilizados em diferentes produtos nos anos de 2017 e 2018, segundo o USGS



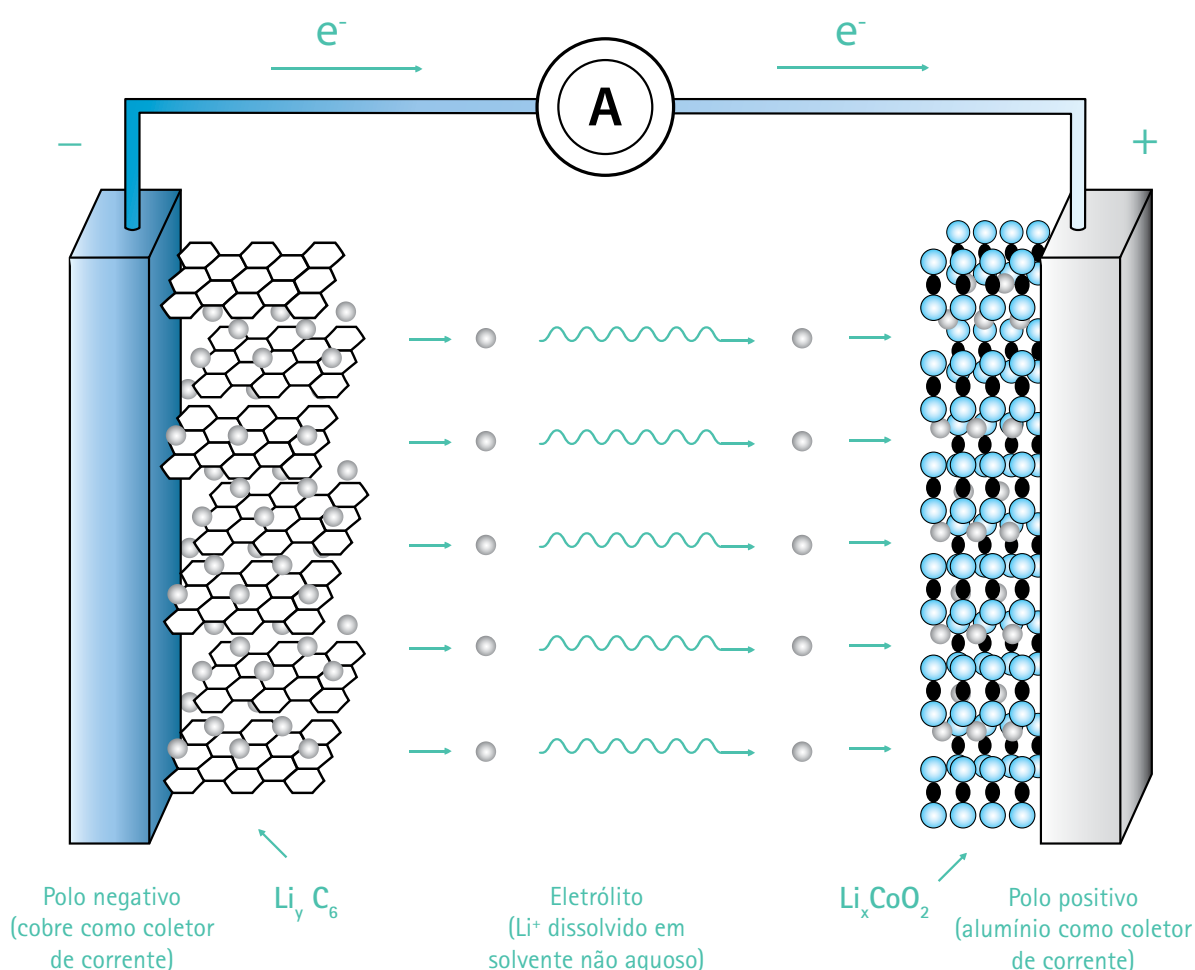
Fonte: elaborado pela autora

Observa-se que houve um crescimento de 7 % no consumo de compostos de lítio para o uso em baterias, que passou de 39 % em 2017 para 46 % em 2018. Houve queda no uso desses compostos para as demais finalidades, exceto para a produção de polímeros que se manteve em 5 %, (**Figura 1**).

3.3 Baterias de íons lítio

As baterias de íons lítio são denominadas assim por não utilizar o lítio metálico como eletrodo, em vez disso, empregam-se os íons lítio, presentes no eletrólito na forma de sais de lítio dissolvidos em solventes não aquosos. Durante o processo de descarga, os íons lítio migram do material que compõe o anodo até o material do catodo e os elétrons se movem pelo fio do circuito externo (condução eletrônica), **Figura 2**, (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

Figura 2 – Representação esquemática da bateria de íons lítio



Fonte: adaptado de Bocchi, Ferracin e Biaggio (2000)

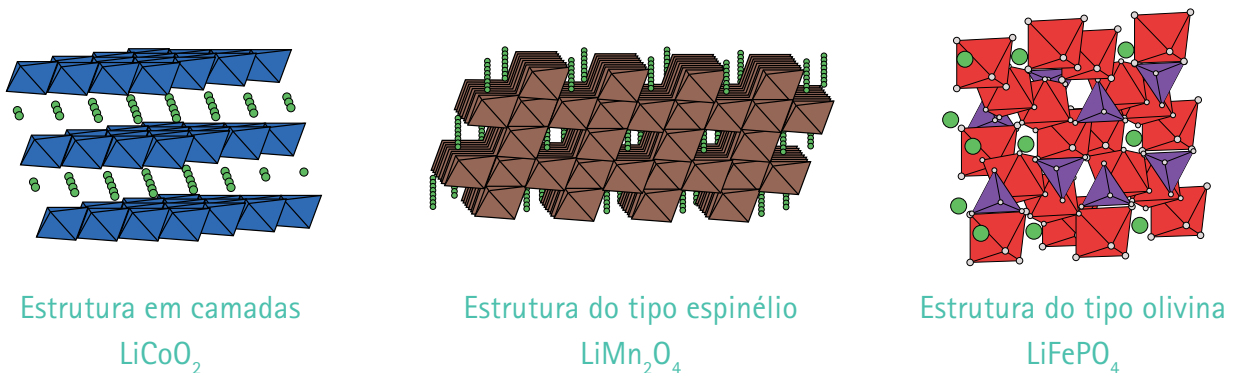
Em essência, o funcionamento da bateria de íons lítio depende dos materiais empregados como anodo e como catodo, de modo a permitir a entrada (intercalação, em inglês *intercalation*) e a saída (desintercalação, em inglês *deintercalation*) dos íons lítio de suas estruturas, de maneira a se estabelecer um transporte reversível dos íons lítio.

Os materiais empregados como anodo e como catodo são compostos de estrutura aberta, denominados de compostos de intercalação, por permitirem a entrada e a saída dos íons lítio.

O anodo da bateria (polo negativo) é composto por uma matriz de carbono que apresenta estrutura lamelar em contato com um coletor de corrente de cobre (folha de cobre). O catodo também necessita de estrutura lamelar, normalmente, encontrada em óxidos de metais de transição litiados como o LiCoO_2 e LiNiO_2 , ou em óxidos do tipo espinélio (LiMn_2O_4) em contato com um coletor de corrente de alumínio (folha de alumínio) (FAGUNDES, 2015).

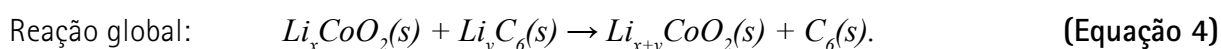
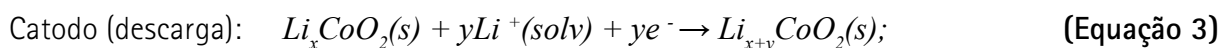
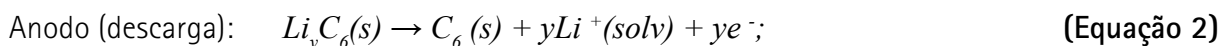
Na **Figura 3**, são apresentados exemplos de óxidos metálicos contendo lítio que são empregados como materiais catódicos nas baterias de íons lítio: estrutura em camadas como o LiCoO_2 ; estrutura do tipo espinélio como o LiMn_2O_4 e estrutura do tipo olivina como o LiFePO_4 (THACKERAY, 2002; BAZITO; TORRESI, 2006).

Figura 3 – Exemplos de estruturas de óxidos de metais de transição contendo lítio utilizados como catodos em baterias de íons lítio. As esferas verdes representam os íons lítio



Fonte: adaptado de Thackeray (2002)

Durante a descarga da bateria (processo espontâneo), ocorre a oxidação do carbono com a desintercalação dos íons lítio do anodo (polo negativo) para o eletrólito; no catodo (considerando-se o Li_xCoO_2 como material catódico) o cobalto se reduz no próprio óxido, o que permite a intercalação dos íons lítio do eletrólito em sua estrutura. A seguir, são apresentadas as **Equações 2, 3 e 4**, relativas aos processos eletroquímicos de descarga da bateria de íons lítio (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000):

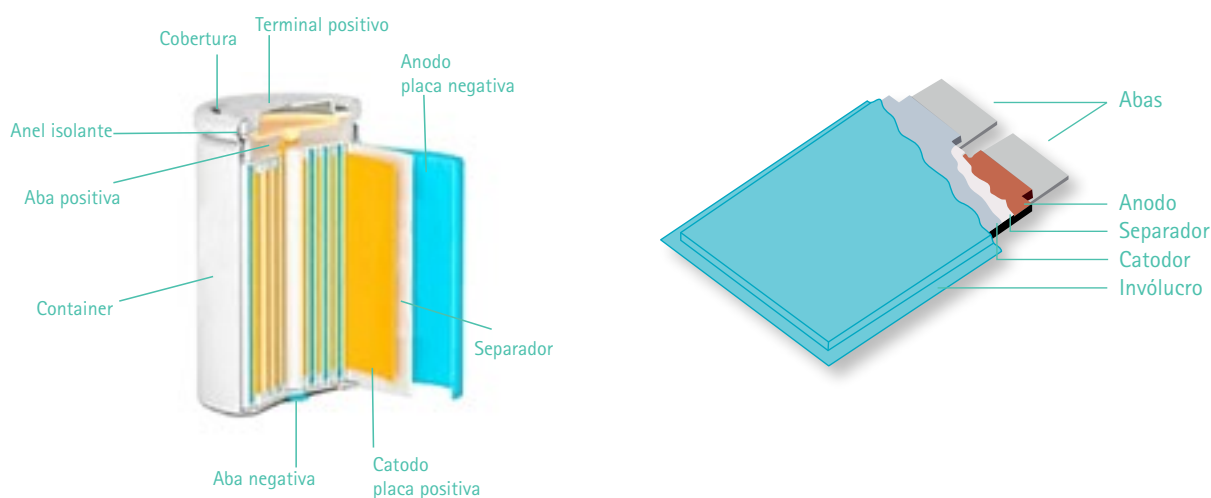


Durante o carregamento da bateria (processo não espontâneo) o catodo sofre oxidação com a desintercalação dos íons lítio para o eletrólito e o anodo sofre redução com a intercalação dos íons lítio do eletrólito para o anodo.

Destaca-se que a bateria é montada descarregada, ou seja, o material do catodo está no estado reduzido com íons lítio intercalados em sua estrutura (FAGUNDES, 2015).

A título de ilustração, apresentam-se, na **Figura 4**, exemplos das configurações físicas que as baterias de íons lítio são produzidas, formatos cilíndrico e empilhado (*stack*) (ZUBI, 2018).

Figura 4 – Representação esquemática de dois exemplos de configuração física das baterias de íons lítio



Fonte: adaptado de Zubi (2018)

3.4 A química das baterias de íons lítio

Os registros do desenvolvimento inicial das baterias de íons lítio datam da década de 1980, segundo Di Pietro, Patriarca e Scrosati (1982). Nessa época, os estudos envolviam o sistema Li/TiS_2 e $\text{Li/V}_2\text{O}_5$ em eletrólito orgânico (bateria de lítio da primeira geração). O anodo de lítio metálico sofria ataque dos compostos orgânicos, ou, durante a recarga da bateria, formavam-se depósitos dendríticos que provocavam curto-circuitos. Os autores estudaram o comportamento dos sistemas óxido de ferro litiado ($\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$) e pentóxido de vanádio (V_2O_5) e óxido de ferro litiado ($\text{Li}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$) e dissulfeto de titânio (TiS_2) ambos em eletrólito composto por carbonato de polipropileno e perclorato de lítio. Os sistemas responderam bem aos ciclos de carregamento e descarregamento mostrando-se promissores para substituir o anodo de lítio metálico nas, então, denominadas *lithium rocking chair batteries* (em tradução livre, baterias de cadeira de balanço de lítio ou baterias de balanço de lítio) (DI PIETRO; PATRIARCA; SCROSATI, 1982; SCROSATI, 1992).

Scrosati (1992) atribuiu a denominação de *lithium rocking chair batteries* aos estudos de Armand (1980 apud SCROSATI, 1992)⁴ em que óxidos metálicos permitiam a intercalação e a desintercalação dos íons lítio em sua estrutura. Esse tipo de bateria passou a ser denominada de bateria de lítio de segunda geração.

A denominação *lithium ion rechargeable battery* foi atribuída por japoneses quando a maior empresa de produção de baterias do Japão decidiu estudar e produzir baterias baseadas nos óxidos metálicos litiados, de maneira que seus estudos e desenvolvimentos tivessem denominação diferente daquela adotada anteriormente (SCROSATI, 1992).

Scrosati (1992) reconheceu a contribuição dos japoneses⁵ no desenvolvimento do anodo das baterias de íons lítio. Segundo o autor, os japoneses desenvolveram o carbono grafítico litiado a partir do coque de petróleo e obtiveram o Li_xC_6 . O desenvolvimento das baterias de íons lítio, em seu início na década de 1980, contou com a participação de pesquisadores europeus, principalmente, Scrosati e os pesquisadores japoneses Nagaura e Tazawa (1990 apud SCROSATI, 1992), e também, de pesquisadores ligados ao Prof. Goodenough, que desde 1986 estava trabalhando na Universidade do Texas, em Austin.

⁴ ARMAND, M. B. Intercalation electrodes. In: MURPHY, D. W.; BROODHEAD, J.; STEELE, B. C. H. (Ed.). **Materials for Advanced Batteries**. New York: Plenum Press, 1980. p. 145-161.

⁵ NAGAURA, T.; TAZAWA, K. **Prog. Batteries Sol. Cells**, v. 9, n. 20, 1990.

Goodenough (2018) recontou a história do desenvolvimento dessas baterias destacando os seus estudos sobre como remover o íon lítio de camadas de LiCoO_2 e LiNiO_2 do modo reversível, no final da década de 1970 e início da década de 1980, na Universidade de Oxford, local em que trabalhava à época. Cita ainda que, a partir de seus estudos, Akira Yoshino, que trabalhava na empresa *Asahi Kasei Corporation*, produziu a primeira bateria de íons lítio recarregável, combinando o catodo de LiCoO_2 com o anodo de carbono grafítico. Essa bateria foi usada pela *Sony Corporation* no primeiro modelo de telefone portátil.

Goodenough (2018) considerou que as próximas gerações de baterias utilizarão eletrólito sólido em substituição ao eletrólito orgânico líquido empregado atualmente. Ele destacou, em específico, o eletrólito sólido desenvolvido por Maria Helena Braga, da Universidade do Porto (BRAGA et al., 2017), um vidro contendo íons lítio ou sódio com condutividade semelhante aos eletrólitos orgânicos já empregados. Segundo o autor, esse eletrólito tornará viável a produção de baterias de lítio empregando anodo metálico de lítio de maneira segura⁶, especialmente, para alimentar os veículos elétricos.

3.4.1 Óxido de cobalto e lítio (LiCoO_2)

A alta energia específica fez com que a bateria à base de LiCoO_2 fosse escolhida para equipar aparelhos móveis como telefones celulares, tablets, laptops e câmeras. No entanto, seu custo é elevado devido à baixa disponibilidade do cobalto, o que restringe o seu uso em veículos elétricos. Essa bateria é composta por um catodo de óxido de cobalto e lítio e um anodo de carbono grafítico. Seu ciclo de vida é curto e sua capacidade de carga é restrita, não pode ser carregada e descarregada em correntes fora de seu intervalo estabelecido. Requer proteção contra o sobreaquecimento e contra o estresse excessivo ao ser carregada rapidamente e a taxa de carga e descarga precisa ser limitada a um nível seguro de, aproximadamente, 1°C (HANNAN et al., 2018).

3.4.2 Óxido de manganês e lítio (LiMn_2O_4)

Óxido de manganês e lítio foi desenvolvido por Li et al. (1983 apud HANNAN et al., 2018). Em 1994, foi construída no laboratório Bellcore, a bateria de óxido de manganês e lítio. Sua estrutura do tipo espinélio em três dimensões (do tipo diamante) permite o rápido fluxo dos íons lítio e a máxima corrente, além de reduzir a resistência interna de modo a carregar rapidamente e produzir altas correntes durante a descarga. A sua estrutura (espinélio) proporciona alta estabilidade térmica e segurança, no entanto, apresenta tempo de vida limitado. O LiMn_2O_4 tem mais energia específica do que o LiCoO_2 (HANNAN et al., 2018).

⁶ O termo segurança é empregado para designar baixa probabilidade de explosão da bateria uma vez que existe a possibilidade de redução dos íons Li formando o Li metálico que, se entrar em contato com a água, pode gerar gás hidrogênio (inflamável), conforme já abordado anteriormente.

Uma das principais limitações da bateria de óxido de manganês e lítio é sua progressiva perda de capacidade durante a descarga. Essa perda de capacidade é ocasionada pela dissolução do manganês no eletrólito, especialmente em temperaturas próximas de 50 °C (ROSOLEM; BECK; RIBEIRO, 2012).

3.4.3 Fosfato de ferro e lítio (LiFePO₄)

A Universidade do Texas descobriu que o fosfato de ferro e lítio (LFP) poderia ser usado como um material catódico para as baterias de íons lítio em 1996 (PADHI et al., 1996). Esse catodo é estável na condição de sobrecarga e tolera altas temperaturas sem alterações; esse material é mais confiável e mais seguro que outros materiais catódicos, como por exemplo, o LiCoO₂ ou o LiMn₂O₄. Os fosfatos exibem faixa de temperatura de operação de -30 °C a +60 °C (HANNAN et al., 2018).

Os fosfatos apresentam uma capacidade teórica de 170 Ah/kg e tensão de 3,4 V. A principal vantagem dessa bateria é que, apesar de apresentar menor tensão entre os materiais dos eletrodos positivos de lítio, oferece maior estabilidade frente ao eletrólito (a ligação entre P-O é forte, apresentando baixa probabilidade de evolução de O₂), atingindo, assim, mais de 1.000 ciclos de carga e descarga (ROSOLEM; BECK; RIBEIRO, 2012).

3.4.4 Óxido de cobalto, manganês, níquel e lítio (LiNiMnCoO₂)

Atualmente, as empresas de bateria produzem catodos a partir da mistura de óxidos de níquel-manganês-cobalto e lítio (NMC) e anodo baseado no silício ou em carbono grafítico (GALLO et al., 2016). O material catódico foi desenvolvido para fornecer alta energia específica. A combinação de níquel e manganês exibe bom desempenho geral, devido à alta energia específica do níquel e à baixa resistência interna do manganês, embora o níquel seja pouco estável e o manganês forneça baixa energia específica. A mistura de óxidos atende à proporção de 33 % de níquel, 33 % de manganês e 34 % de cobalto e é mais barata devido à menor quantidade de cobalto em relação ao óxido de cobalto e lítio. Os fabricantes protegem suas formulações e a bateria NMC tem sido empregada em veículos elétricos devido à sua energia específica elevada e à sua baixa taxa de autodescarga (HANNAN et al., 2018).

3.4.5 Óxido de alumínio, cobalto, níquel e lítio (LiNiCoAlO₂)

A bateria de óxido de alumínio-níquel-cobalto e lítio (NCA) é produzida em pequena escala. Atualmente, as indústrias automobilísticas estão enfatizando a produção dessa bateria devido ao seu elevado desempenho, isto é, elevada energia e potência específicas e longo ciclo de vida, considerando-se o custo e a segurança (HANNAN et al., 2018). Segundo Gallo et al. (2016), a adição de alumínio promove a estabilidade térmica da bateria NCA.

3.4.6 Titanato de lítio ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Os anodos de titanato de lítio (LTO) têm sido usados em baterias desde a década de 1980 (ZENG; LI; LIU apud HANNAN et al., 2018)⁷. A sua estrutura do tipo espinélio pode substituir o anodo de carbono grafitico. A sua tensão nominal é 2,40 V, apresenta alta capacidade específica, elevadas carga e taxa de descarga e ciclo de vida elevado em comparação com a bateria de íons lítio com anodo de carbono grafitico. As baterias de $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) podem ser operadas com baixo risco de explosão e bom desempenho em temperaturas baixas (HANNAN et al., 2018).

De modo geral, verifica-se que as baterias à base de titanato de lítio (LTO) destacam-se em termos de segurança, desempenho, vida útil e custo, mas não alcançam bons valores de energia e potência específicas. As baterias à base de manganês-níquel-cobalto e lítio apresentam propriedades médias e todas as demais tecnologias de baterias não apresentam todas as propriedades com índices máximos de avaliação. Considerando-se o emprego de baterias para veículos elétricos, a vida útil, a segurança e o custo podem ser mais significativos do que propriedades relacionadas à energia (HANNAN et al., 2018).

O desempenho das baterias de íons lítio com as suas vantagens e desvantagens está apresentados no **Quadro 1**.

⁷ ZENG, X.; LI, J.; LIU, L. Solving spent lithium-ion battery problems in China: opportunities and challenges. **Renewable Sustainable Energy Review**, v. 52, n. 3, p. 1759–1767, 2015.

Quadro 1 – Desempenho das baterias de íons lítio

Tipo	Vantagem	Desvantagem	Aplicação
LiCoO_2	Alta energia específica	Vida útil pequena Limitada capacidade de carga e de segurança	Telefones celulares <i>Laptops</i> Câmeras digitais
LiMn_2O_4	Alta potência específica Segurança Vida útil	Desempenho médio em todas as propriedades	Veículos elétricos Veículos híbridos Dispositivos médicos
LiFePO_4	Boa estabilidade térmica Excelente segurança Vida útil longa	Energia específica moderada Baixa voltagem Desempenho reduzido sob temperatura baixa	Veículos elétricos Ferramentas elétricas Dispositivos portáteis
LiNiMnCoO	Bom desempenho em todas as propriedades Desempenho superior em energia específica	Alto custo	Veículos elétricos Ferramentas elétricas Armazenamento de energia
LiNiCoAlO_2	Alta energia Alta densidade de potência Boa vida útil	Alto custo e baixa segurança	Veículos elétricos e trem de força
$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	Ampla faixa de temperatura de operação (-30 °C a 55 °C) 98 % de eficiência de recarga Elevado ciclo de vida (3000 a 7000) Elevada segurança e estabilidade	Baixa voltagem (2,4 V) Baixa densidade de energia Difícil de fabricar	Aplicações nanotecnológicas avançadas

Fonte: adaptado de Hannan et al. (2018)

Em síntese, a escolha da tecnologia da bateria dependerá da sua aplicação final.

Zubi et al. (2018) reuniram as informações sobre os principais fabricantes de veículos elétricos e de seus produtos para o ano de 2017. As químicas das baterias dos veículos comerciais produzidos em 2017 encontram-se reproduzidas no **Quadro 2**, para um único modelo de veículo produzido por fabricante.

Quadro 2 – Química das baterias dos veículos elétricos comerciais produzidos em 2017

Fabricante	Nome/Modelo	Tipo	Química da bateria
Audi	Audi Q7 e-tron	PHEV	NMC
BMW	BMW i3	EV	NMC
BYD	BYD E6	EV	LFP
Daimler	Smart Fortwo Electric Drive	EV	NCA
Fiat	Fiat 500e	EV	NMC
Ford	Ford C-Max Energi	PHEV	NMC
General Motors	Chevrolet Volt	PHEV	NMC
Hyundai	Hyundai Ionic Electric	EV	NMC
Karma	Karma Revero	PHEV	NMC
Kia	Kia Soul EV	EV	NMC
Mitsubishi	Mitsubishi Outlander	PHEV	NMC
Nissan	Nissan Leaf	EV	NMC
Porsche	Porsche Panamera 4 E-Hybrid	PHEV	NMC
Renault	Renault Zoe	EV	NMC
Tesla	Tesla Model SP100D	EV	NCA
Toyota	Toyota Prius Prime	PHEV	NMC
Volkswagen	VW Passat GTE	PHEV	NMC

Fonte: adaptado de Zubi et al. (2018)

No **Quadro 2**, verifica-se que há um predomínio do uso da bateria NMC (LiNiMnCoO_2) nos veículos elétricos (EV) e nos veículos elétricos híbridos *plug-in* (PHEV). Esse levantamento, do ano de 2017, deixa evidente que os fabricantes de veículos elétricos optaram por essa bateria que apresenta bom desempenho em todas as suas propriedades e desempenho superior no quesito energia específica, **Quadro 1**. Cabe destacar que somente a empresa chinesa BYD optou por produzir veículos elétricos com baterias LFP.

Os compostos contendo nióbio têm sido empregados em diversos estudos tanto para materiais catódicos quanto para materiais anódicos. O seu emprego em materiais catódicos contribui para melhorar a condutividade eletrônica desses materiais (DAHLIN; STROM, 2010). Compostos como o Li-Nb-Fe-PO_4 com diversas estequiometrias aumentaram a condutividade eletrônica em todas as quantidades adicionadas de nióbio, 0,1 % atômica, 0,5 % atômica e 1,0 % atômica (CHUNG; BLOKING; CHIANG, 2002).

Ming et al. (2018) estudaram o efeito da adição de nióbio e flúor ao material catódico composto por LiMnNiCoO_2 . O material foi dopado com nióbio e flúor em diversas proporções, a saber, $\text{Li}_{1,2}\text{Mn}_{0,54-x}\text{Nb}_x\text{Co}_{0,13}\text{Ni}_{0,13}\text{O}_{2-6x}\text{F}_{6x}$ ($x = 0; 0,01; 0,03$ e $0,05$). A incorporação do íon nióbio no sítio do Mn restringiu a migração de íons de metais de transição durante o ciclo de longa duração da bateria e manteve a estabilidade da estrutura cristalina. A substituição do O_2 pelo F, fortemente eletronegativo, foi benéfica e suprimiu a mudança de estrutura do Li_2MnO_3 a partir da eliminação do oxigênio no processo de carga inicial. A dopagem conjunta de nióbio e flúor melhorou a transferência dos íons de lítio e elétrons, melhorando assim o desempenho do material catódico da bateria.

A adição de nióbio melhora o desempenho seja pelo aumento da condutividade eletrônica seja pela estabilização da estrutura cristalina, para o material catódico. Para o material anódico, o nióbio tem sido estudado como um novo material em substituição aos anodos já conhecidos com o carbono gráfico e o titanato de lítio e, também, como dopante para o titanato de lítio.

Segundo Li et al. (2018), os estudos com o nióbio para obtenção de material anódico em baterias de íons lítio tiveram início com Ohzuku, Sawai e Hirai (1987 apud Li et al., 2018)⁸. No final da década de 2000, outros estudos foram publicados relatando as boas propriedades dos compostos de nióbio como material anódico para as referidas baterias.

Li et al. (2018) sintetizaram o NbO pela redução em estado sólido do nióbio metálico em pó com o Nb_2O_5 também em pó. O NbO produzido foi caracterizado por difração de raios X. Um anodo foi preparado a partir da mistura do NbO com fluoreto de polivinilideno (PVDF) e ensaiado por meio de ciclos de carga e descarga em que se verificou sua alta reversibilidade e alta capacidade de carga e descarga.

Ise et al. (2018) sintetizaram hidrotermicamente o TiNb_2O_7 , que foi comparado ao TiNb_2O_7 sintetizado em estado sólido. O H-TNO, o TiNb_2O_7 hidrotermicamente obtido, apresentou melhores propriedades eletroquímicas e permitiu elevada difusividade dos íons lítio em sua estrutura altamente cristalina. O H-TNO apresentou elevada capacidade de carga e grande ciclo de vida.

⁸ OHZUKU T, SAWAI, K, HIRAI, T. Electrochemistry of L-niobium pentoxide a lithium/non-aqueous cell. *Journal of Power Sources*, v. 19, n. 4, p. 287-299, 1987. .

4 Conclusões

As baterias de lítio têm sido estudadas desde a década de 1970. Dada a grande reatividade química do lítio no estado reduzido, o emprego de anodos de lítio metálico tornou-se inseguro e, a partir da década de 1980, o conceito das baterias de íons lítio começou a ser desenvolvido. Na década de 1990, essas baterias já equipavam aparelhos de telefones celulares.

Basicamente, as baterias de íons lítio são formadas por compostos que permitem a intercalação e a desintercalação dos íons lítio da sua estrutura atômica. Os óxidos de cobalto, de níquel, de manganês e, também, o fosfato de ferro atuam, adequadamente, como materiais catódicos, enquanto que o carbono grafítico e o titanato de lítio são bons materiais anódicos. Utiliza-se um solvente orgânico e um sal de lítio como eletrólito para que haja a migração dos íons lítio do anodo para o catodo durante o processo de descarga da bateria. O emprego dos solventes orgânicos inspira cuidado por serem inflamáveis. Os separadores poliméricos são empregados para isolar, eletricamente, o anodo e o catodo da bateria.

Em conjunto com a química das baterias, o desenvolvimento de materiais e processos de síntese de compostos, contando, inclusive, com recursos da nanotecnologia, encontra-se em pleno curso para o aperfeiçoamento das baterias de íons lítio, impulsionado pelo veículo elétrico a partir de 2010. As baterias também possuem relevante importância nos sistemas de armazenamento de energia do setor elétrico.

A química das baterias de íons lítio já se encontra consolidada, sendo que os esforços atuais são direcionados aos ajustes que cada aplicação final exige por meio da adição de vários elementos como, por exemplo, o alumínio e o nióbio.

Em 2017, as empresas fabricantes de veículos elétricos optaram, em sua maioria, por utilizar em seus veículos as baterias à base de LiNiMnCoO_2 .

A fronteira do conhecimento das baterias de lítio está no desenvolvimento de eletrólito sólido eficaz para tornar segura a utilização comercial da bateria com anodo de lítio metálico, sem riscos de explosões, porque é na forma de eletrodo metálico que se extrai a maior quantidade de energia desse elemento.

5 Agradecimentos

À Fundação de Apoio ao IPT – FIPT pelo financiamento do Projeto de Capacitação N°500445A: "Baterias de íons lítio para veículos elétricos – revisão bibliográfica".

6 Referências

- BAZITO, F. F. C.; TORRESI, R. M. Cathodes for lithium ion batteries: the benefits of using nanostructured materials. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 17, n. 4, p. 627–642, 2006.
- BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Nomenclatura e classificação dos sistemas eletroquímicos. **Química Nova na Escola**, v. 11, n. 3, p. 3–9, 2000.
- BOLETIM AUTODATA – TECNOLOGIA. São Paulo, Fenabreve, p. 6-7, 22 jul. 2017. Disponível em: <<http://www3.fenabreve.org.br:8082/plus/modulos/noticias/imprimir.php?cdnoticia=10125>>. Acesso em: 11 dez. 2018.
- BRAGA, M. H. et al. Alternative strategy for a safe rechargeable battery. **Energy and Environmental Science**, v. 10, n. 1, p. 331–336, 2017.
- CASTRO, B. H. R.; BARROS, D. C.; VEIGA, S. G. Baterias automotivas : panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 37, p. 443–396, 2013.
- CHUNG, S.-Y.; BLOKING, J. T.; CHIANG, Y.-M. Electronically conductive phospho-olivines as lithium storage electrodes. **Nature Materials**, v. 1, n. 2, p. 123–128, 2002.
- DAHLIN, G. R.; STROM, K. E. **Lithium batteries – research, technology and applications**. New York: Nova Science Publishers, 2010. 243 p.
- DI PIETRO, B.; PATRIARCA, M.; SCROSATI, B. On the use of rocking chair configurations for cyclable lithium organic electrolyte batteries. **Journal of Power Sources**, v. 8, n. 2, p. 289–299, 1982.
- FAGUNDES, W. S. **Síntese e caracterização do compósito de LiFePO₄/PAni para aplicação em baterias de íons lítio**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.
- FRANCO-PATROCÍNIO, S. O.; FREITAS-REIS, I. José Bonifácio de Andrada e Silva Revisited: Professor at the University of Coimbra. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 2663–2673, 2015.
- GALLO, A. B. et al. Energy storage in the energy transition context: a technology review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 800–822, 2016.
- GOODENOUGH, J. B. How we made the Li-ion rechargeable battery. **Nature Electronics**, v. 1, n. 3, p. 204–204, 2018.

HANNAN, M. A. et al. A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 834–854, Aug. 2017.

HANNAN, M. A. et al. State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: issues and recommendations. **IEEE Access**, v. 6, p. 1–1, 2018.

HOUSECROFT, C. E.; SHARPE, A. G. **Química inorgânica**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu entrega um veículo elétrico e dois eletropostos para o Ministério de Minas e Energia**. 2017. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/print/10429>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

ISE, K. et al. Large lithium storage in highly crystalline TiNb₂O₇ nanoparticles synthesized by a hydrothermal method as anodes for lithium-ion batteries. **Solid State Ionics**, v. 320, p. 7–15, July 2018.

KEMPTON, W.; KUBO, T. Electric-drive vehicles for peak power in Japan. **Energy Policy**, v. 28, n. 1, p. 9–18, 2000.

LI, J. et al. Anode material NbO for Li-ion battery and its electrochemical properties. **Rare Metals**, v. 37, n. 2, p. 118–122, 2018.

LI, G. et al. Cell degradation of a Na–NiCl₂ (ZEBRA) battery. **Journal of Materials Chemistry A**, n. 47, p. 14935–14942, 2013.

MING, L. et al. Effect of Nb and F Co-doping on Li_{1.2}Mn_{0.54–x}Nb_xCo_{0.13}Ni_{0.13}O_{2–6x}F_{6x} cathode material for high-performance lithium-ion batteries. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 1–12, Apr. 2018.

MOHITI, M.; MONSEF, H.; LESANI, H. A decentralized robust model for coordinated operation of smart distribution network and electric vehicle aggregators. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 104, p. 853–867, June 2019.

ROMIO, R. Até 2040, um terço da frota mundial será elétrica. [Entrevista concedida] **Boletim AutoData – Tecnologia**, São Paulo, p. 6–7, 22 jul. 2017. Disponível em: <<http://www3.fenabreve.org.br:8082/plus/modulos/noticias/imprimir.php?cdnoticia=10125>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

ROSOLEM, M. F. N. C.; BECK, R. F.; RIBEIRO, G. Bateria de lítio-íon : conceitos básicos e potencialidades. **Cad. CPqD Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 59–72, 2012.

SCROSATI, B. Lithium rocking chair batteries: an old concept? **Journal of the Electrochemical Society**, v. 139, n. 10, p. 2776, 1992.

THACKERAY, M. An unexpected conductor. **Nature Materials**, v. 1, p. 81–82, 2002.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2017**. Reston: USGS, 2017. p. 48-49.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2018**. Reston: 2018. p. 98-99.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C.; CASTRO, B. H. R. Veículos híbridos e elétricos : sugestões de políticas públicas para o segmento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 295-344. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4284/1/BS%2041_Ve%C3%ADculos%20h%C3%ADbridos%20e%20el%C3%A9tricos_P.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.

ZHAO, Q. Electromobility research in Germany and China: structural differences. **Scientometrics**, v. 117, n. 1, p. 473–493, 2018.

ZUBI, G. et al. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 292–308, 2018.

Effect of the temperature on the sintering behavior of $CeO_2-La_2O_3$ doped with silicate

Caio Daniel Barros de Alecrim^b, Jorge Luís Marques Garcia^a,
Luiz Francisco dos Santos Neto^b, Olyverson Lyra Porto^b,
Juliana Pereira Flor^c e Catia Fredericci^{a*}

Abstract

This paper evaluates the sintering behavior of $CeO_2-La_2O_3$ -silicate at different temperatures. The sintered compact of this system may be a candidate to be used as a refractory lining for biomass (sugarcane bagasse) gasifier. The raw material ($CeO_2-La_2O_3$ -silicate powder) was characterized by granulometric distribution, differential thermal analysis (DTA), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and dilatometry. Cylindrical compacts of this powder were heat treated at 1200 °C, 1300 °C and 1400 °C for 1 h and characterized by X-ray diffraction (XRD), micro Raman spectroscopy, SEM/EDS, shrinkage and apparent porosity. The results show that the sintering degree of the samples increases with temperature, reaching shrinkage of about 16 % and apparent porosity of 3.5 % at 1400 °C. The XRD and Raman spectroscopy results revealed that a cerium/lanthanum silicate was formed which is stable against melting at temperature as high as 1400 °C. The study of the reactivity of the bagasse ash and the $CeO_2-La_2O_3$ -silicate refractory will be presented in a future publication.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de sinterização de $CeO_2-La_2O_3$ -silicato em diferentes temperaturas. O compacto sinterizado desse sistema pode ser um candidato para ser utilizado como um revestimento refratário para gaseificador de biomassa (bagaço-de-cana). A matéria-prima (pó de $CeO_2-La_2O_3$ -silicato) foi analisada por distribuição granulométrica, análise térmica diferencial (DTA), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e dilatometria. Compactos cilíndricos deste pó foram tratados termicamente a 1200 °C, 1300 °C and 1400 °C por 1

a Laboratório de Processos Metalúrgicos, Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b Programa de Pós-Graduação do IPT em Processos Industriais

c Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: catiaf@ipt.br

Keywords:

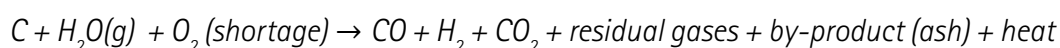
CeO_2 ; La_2O_3 ; rare earth; silicate; ceramic; biomass gasification

h, e caracterizados por difração de raios X (DRX), espectroscopia micro Raman, MEV/EDS, retração e porosidade aparente. Os resultados mostraram que o grau de sinterização das amostras aumentou com a temperatura, atingindo retração em torno de 16 % e porosidade aparente de 3,5 % a 1400 °C. Os resultados de difração de raios X e espectroscopia Raman indicaram a formação de um silicato de cério-lantânio, que é estável em temperatura tão elevada quanto 1400 °C. O estudo da reatividade da cinza de bagaço-de-cana e do refratário CeO₂-La₂O₃-silicato será apresentado em publicação futura.

1 Introduction

Brazil is the world's largest producer of sugarcane, with about 641 million tons processed in the 2017/2018 harvest (COMAS, 2018). In several operational units, chemical and biochemical transformations in the processing of sugarcane are carried out at the sugar and alcohol plants. The process starts from the milling generating tons of bagasse which is separated and used for the cogeneration of energy in boilers. When operated at 22 bar and 300 °C to 600 °C, energy self-sufficiency is reached with a tendency for there to be left overs (PERRONE et al., 2010). For the excess of bagasse, an alternative can be developed from the gasification process which is the production of Syngas (CO and H₂), widely used in synthesis in chemical industries or for electricity production with the help of turbines (THEVENIN et al., 2014).

A gasification process can be classified into entrained flow, fluidized bed and moving bed. The entrained flow, for example, operates at an average temperature of 1400 °C and pressure under the range of 20 bar to 70 bar (OMBERG, 2015). According to Bennett et al. (2014), inside reducing-atmosphere gasifiers, reactions between the carbon-based raw material (usually coal, petroleum coke or biomass), water (vapor) and O₂ occur, as follows:



Ashes contain compounds with Si, O, Al, Ca, K, P, Mg, Fe and Ti (FREDERICCI et al., 2014), coming from the macro- and micronutrients of the sugarcane. An important point of the gas synthesis production unit is the knowledge of the generation of ash that can melt at elevated temperatures (~ 1400 °C). Gasifier walls are covered with refractory materials which must be corrosion resistant against the produced ashes. One of the challenges in the biomass gasifier design is the choice of refractory lining (THEVENIN et al., 2014). According to world levels, most gasifiers are designed for the gasification of coal, petroleum coke and wood chips which present chemical compositions different from the ashes generated by the combustion of sugarcane bagasse (FREDERICCI et al., 2014). Therefore, the reactivity of the ashes, generated by the burning of these biomasses, with refractory materials, optimized for the gasification of coal and coke, may be very different from those known until now, being indispensable studies in this area. Fredericci et al. (2015, 2016, 2017) showed that Al₂O₃, ZrO₂, Cr₂O₃-Al₂O₃-ZrO₂ refractories were reactive with sugarcane bagasse ashes. In addition, Fe³⁺ reduction to metallic iron occurs in a reducing atmosphere.

Ceria (CeO_2) has been shown to be a promising ceramic for the coating of black liquor biomass gasifiers (CHADDOCK, 2006) and a corrosion protection agent in silica refractories in glass melting furnaces (KOBAYASHI, 2002). Kobayashi et al. (2002) reported that silica-based refractories, used in the production of glass (rich in SiO_2 , Na_2O and CaO), form silicates at elevated temperatures during glass processing. This is because alkali metal oxide vapors penetrate the pores of the refractory material and react with silica to form low melting silicates, resulting in a high corrosion rate and a loss of mass of the refractory. The authors suggested using of corrosion protectors such as CeO_2 , La_2O_3 as well as high-melting-point calcium-aluminum silicates in the silica refractories. In conclusion, they reported that the presence of cerium oxide reduces the corrosion by alkali metals. Chaddock (2006) studied ceria-based refractories for black liquor gasification (rich alkali metal compounds) and reported that CeO_2 is chemically resistant to this waste.

The motivation for the present work was first to study the sintering behavior of the ceria-lantania-silicate system to produce a refractory material. Secondly, in a future work, to study its reactivity with ash of sugarcane bagasse at an elevated temperature (1400 °C). To our best knowledge, this is the first time that the CeO_2 - La_2O_3 -silicate system is studied to be used in laboratory tests as a material for coating a biomass (sugarcane bagasse) gasifier.

2 Experimental procedure

2.1 Raw material

Policer powder, from ENGECER, was used. According to the manufacturer, it is composed of CeO_2 , La_2O_3 , silicate and of an organic deflocculant. The kind of silicate presented in the formulation was not reported because it is an industrial protected product. Thus, only a scanning electron microscopy analysis was performed to determine its morphology and its chemical elements.

2.2 Characterization of the raw material

CeO_2 was characterized by scanning electron microscopy (SEM), JEOL model JSM 6300 used in the mode of secondary electrons, with a voltage of 20 kV. The powder was placed and compacted on a carbon tape and covered with a thin layer of gold deposited under vacuum. Differential thermal analysis (DTA) was carried out using a NETZSCH model 409S equipment, with alumina crucible, under an ambient atmosphere (air), with a heating rate of 8 °C/min, from the ambient temperature up to 1400 °C.

The particle size distribution was determined using the Particle Insight equipment, with sodium hexametaphosphate as the deflocculant.

2.3 Compaction and Sintering

Cylindrical specimens with a diameter of about 20 mm (2.00 g of powder) were uniaxially pressed at 62.5 MPa. The specimens had sufficient mechanical resistance to be handled and placed on an alumina ceramic plate.

A rectangular specimen (12.92 x 2.95 x 6.19) mm³ was also prepared using a pressure of 62.5 MPa for analysis using a Netzsch dilatometer, model DIL 402, for determining the sintering temperatures. A heating rate of 8 °C/min and a spring compressive force of 0.2 N were used. From the result of this test, temperatures of heat treatments were determined as well as the dwell time of 1 h. As the sintering furnace (Maitec – FE-1700) presents exposed resistances of molybdenum disilicide, an alumina shield was placed in the furnace chamber to prevent overheating of the edges of the specimens relative to their center. The furnace was heated at 8 °C/min up to 800 °C, at 5 °C/min from 800 °C to 1200 °C and finally at 3 °C/min from 1200 °C to 1400 °C. The heat treated samples were cooled in the furnace by natural convection.

2.4 Characterization of sintered specimens

The apparent porosity (PA) of the specimens was measured by the Archimedes method, using the **Equation 1**:

$$PA = \frac{\mu - m_s}{\mu - m_i} \times 100 \quad (\text{Equation 1})$$

The dry mass (m_s) was measured after drying the specimens for 24 h at 100 °C. The immersed mass (m_i) was determined after immersion in distilled water for 24 h and the humid one was measured after removing the surface excess water (MONTORO et al., 2011). Five specimens obtained from different temperatures (1200 °C to 1400 °C) were analyzed and the data were presented as mean value and as standard deviation.

Fractured specimens were covered with a thin layer of gold and palladium for microstructural analyses, using a Quanta 3D FEG microscope coupled to an EDAX system of energy dispersive spectroscopy (EDS). The microstructural analyses were carried out under a voltage of 20 kV in the mode of secondary electrons.

One of the specimens, treated at 1400 °C for 1 h, was milled and sieved in a 325 mesh screen for X-ray diffraction analyses in a XRD 6000 diffractometer, using Cu K α radiation, with a scanning of 1°/min and a range of 5° to 60° (2 θ).

To complement the X-ray diffraction analyses, Raman spectroscopy was used. The Raman spectra were obtained from the surface of the sample without polishing, using a Confocal Raman spectrophotometer (Witec model alpha 500R - GmbH, Germany), containing a double monochromator, a diffraction grating of 600 lines/mm and a CCD detector. The focusing of the

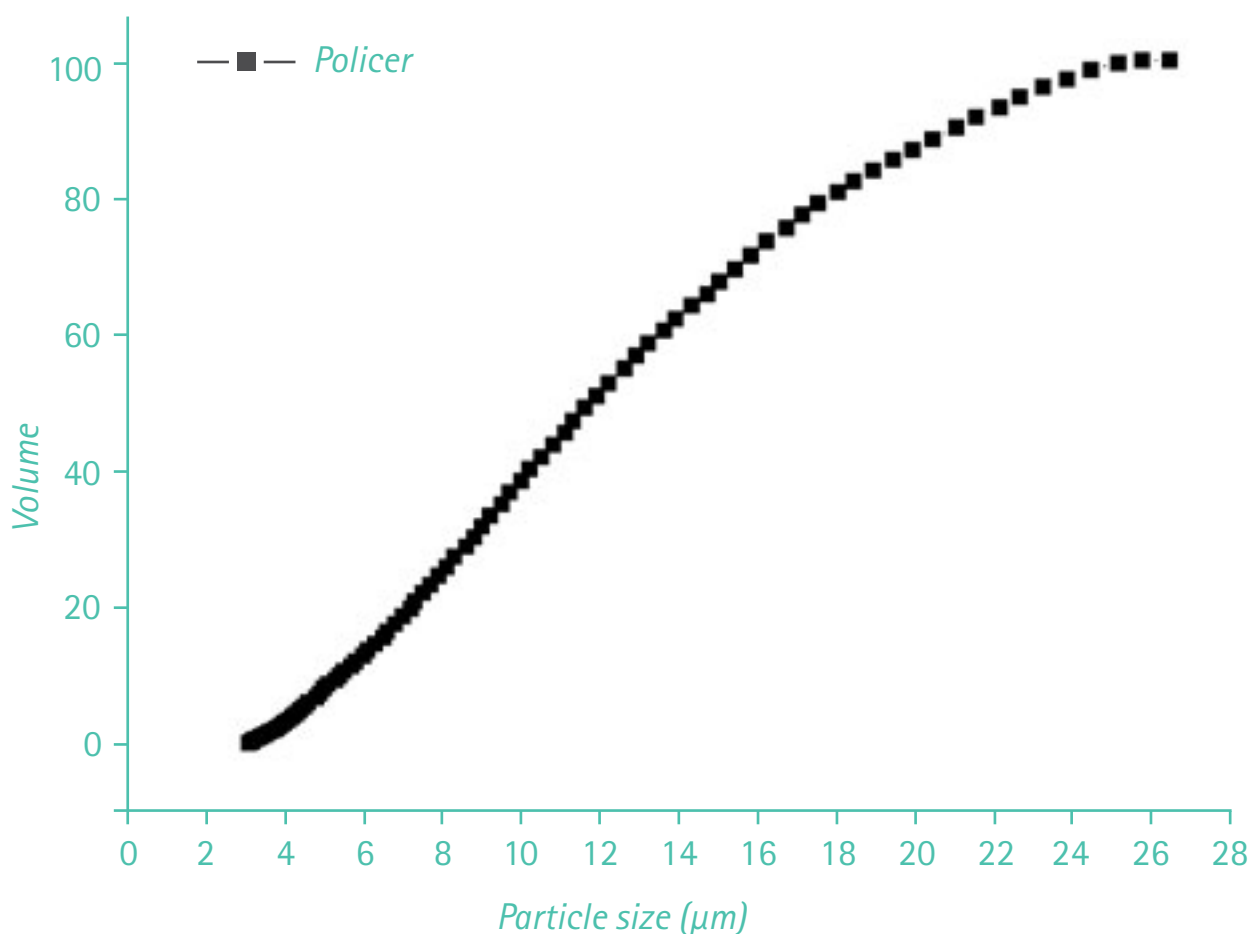
laser on the sample and the collection of the scattered radiation at 180° were done through a Witec metallurgical microscope and objective lens of 100X CF Plan with aperture number of 0.55. An excitation line in the visible region was used at 532 nm of an Argon laser (Witec brand, S/N 100-1665-154). Each spectrum corresponds to the average of 100 accumulations acquired with integration time of 50 s.

3 Results and discussion

3.1 Distribution of particle size of the raw material and EDS elementary analysis

Figure 1 shows the granulometric distribution curve of the powder used in this work. Observing the results in **Figure 1** (volume %), it is noted that the maximum particle size is approximately $26.5 \mu\text{m}$,

Figure 1 - Particle size distribution analysis of the Policer powder ($\text{CeO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-silicate}$)

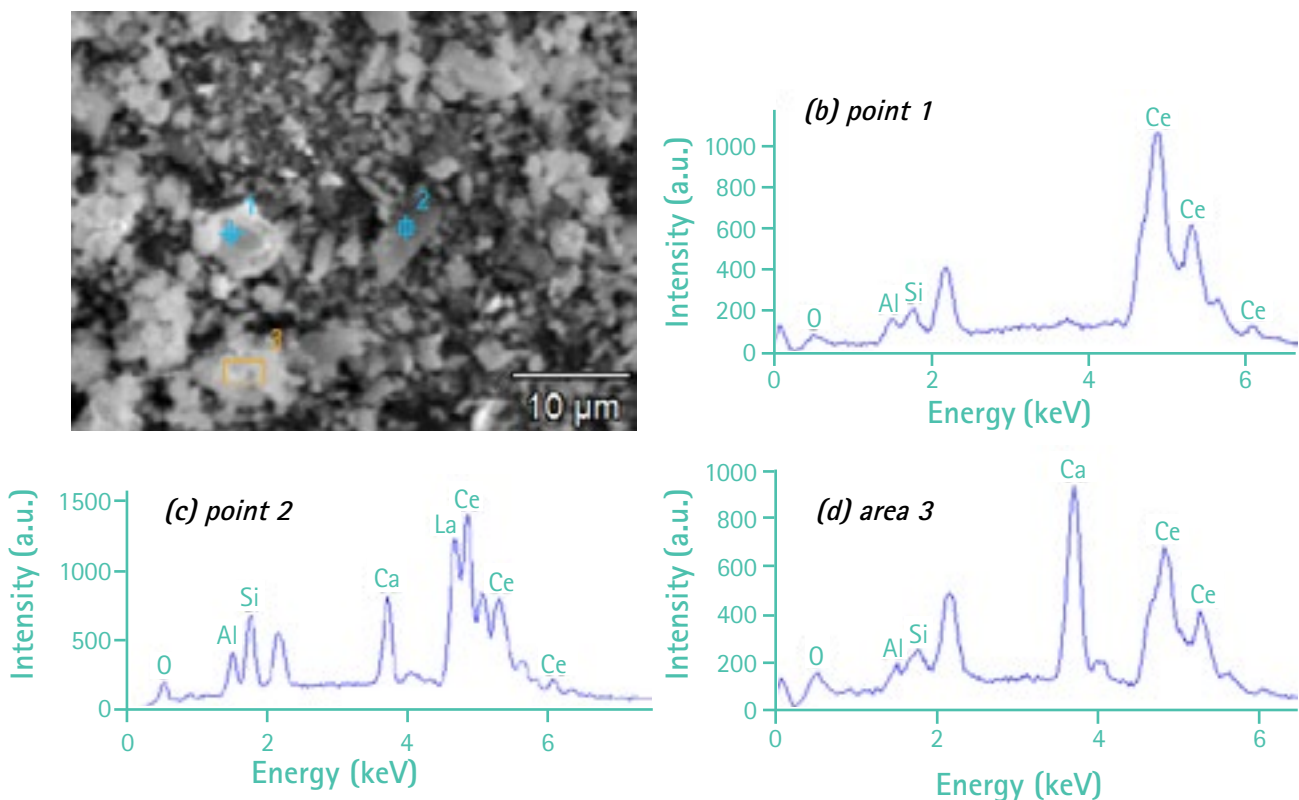


Source: created by authors

the minimum measured size is 3 μm , limited by the measuring range of the equipment, and the mean size (50 vol%) is approximately 12 μm , with a unimodal distribution. Therefore, the powder has a granulometry with particle size smaller than 325 mesh (below 40 μm) which was easily compacted.

Figure 2 shows the scanning electron micrograph of the powder used along with EDS analyses at two points and one area. It is possible to observe that the powder contains the elements O, Al, Si, Ca, La, Ce and Fe, indicating that it is a mixture of rare earth oxides with a calcium iron aluminum silicate. Rare earths have similar properties and, in a separation process, oxide mixtures are generally obtained (LIANG et al., 2011). Therefore, this system shows what Kobayashi et al. (2002) identified as possible corrosion protectors for refractories in contact with silica, alkali and earth alkali metal oxides melted at elevated temperatures.

Figure 2 - (a) Micrographs obtained by SEM, in the secondary electron mode, of the Policer powder, (b), (c) and (d) EDS spectra of points 1 and 2 and area 3, respectively, shown in micrograph (a)

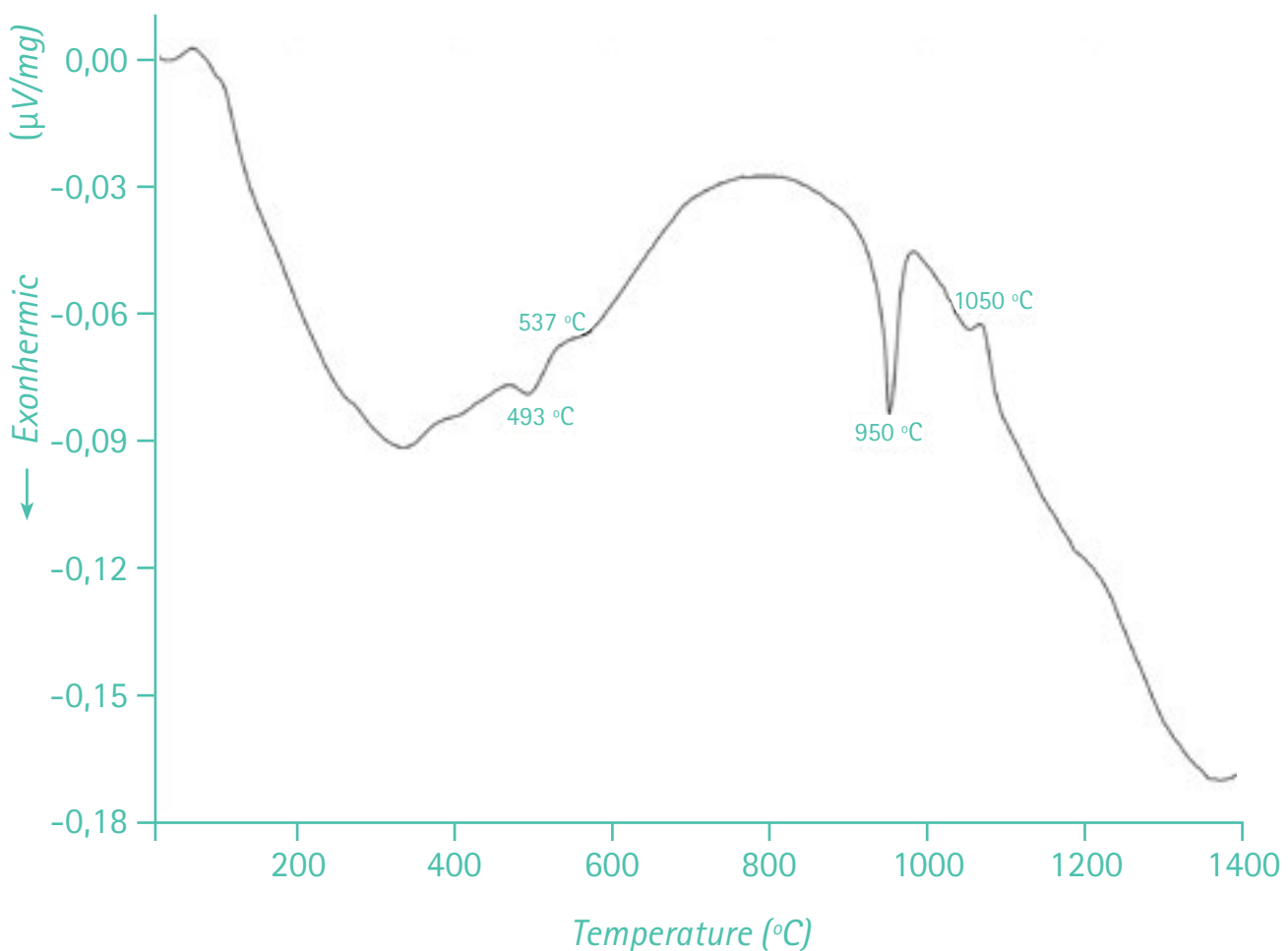


Source: created by authors

3.2 DTA and Dilatometric analyzes

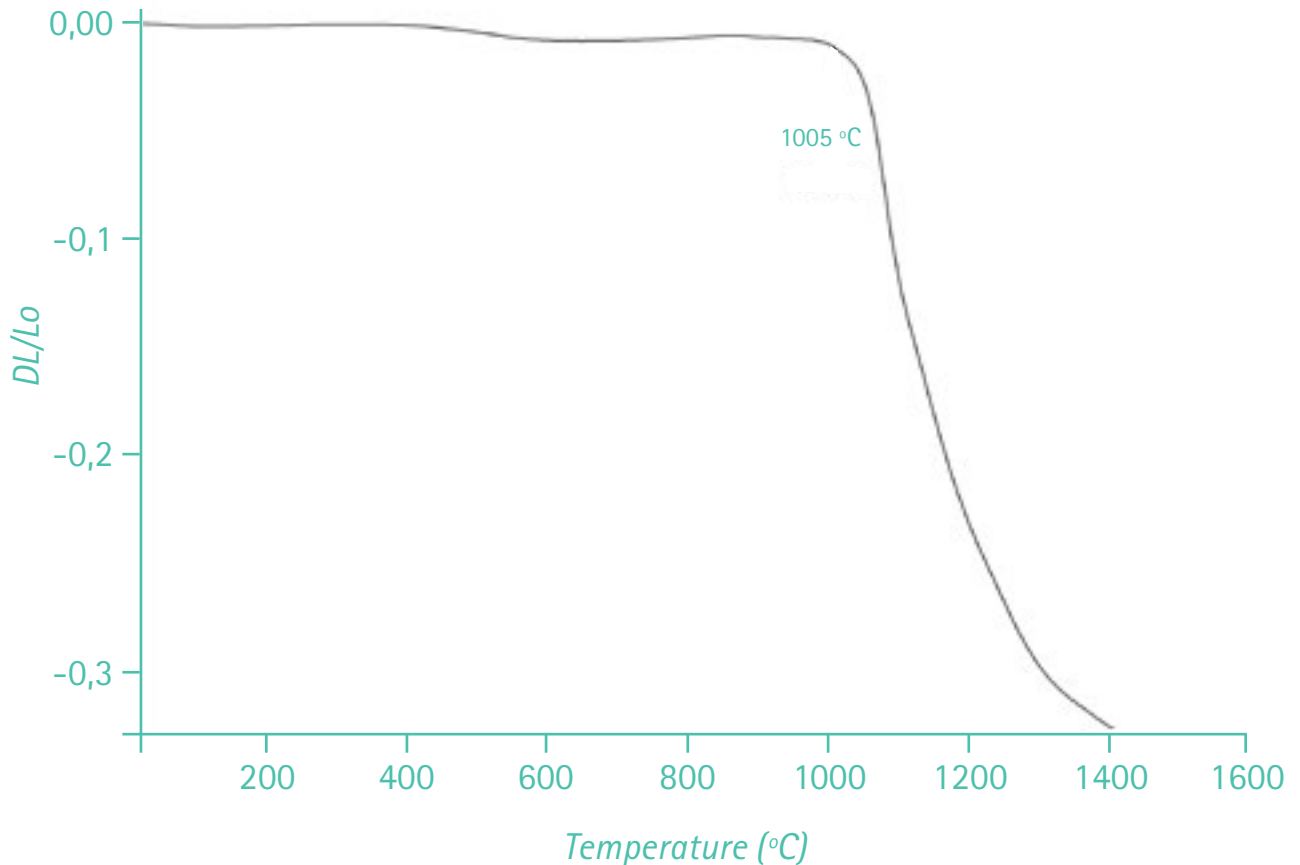
Figure 3 shows the differential thermal analysis curve of the Policer powder. There are two discrete bands between 493 °C and 565 °C that can be attributed to the burning of the organic deflocculant; one sharp band at 950 °C and another discrete band at 1050 °C, both exothermic, which shows the possibility of a reaction between the silicate and $\text{CeO}_2/\text{La}_2\text{O}_3$. No endothermic bands related to melting of the crystalline phase were observed which is a positive result indicating that the sintered material do not forms liquid phase in temperature as high as 1400 °C. It is interesting to observe in the dilatometric analysis (**Figure 4**) that the sample begins to have a significant degree of shrinkage after 1005 °C indicating the beginning of the sintering process for this system. There is a tendency for sintering stabilization at around 1400 °C, since the curve tends to be stable above this temperature. From this result, temperatures such as 1200 °C, 1300 °C and 1400 °C were chosen for the sintering study.

Figure 3 – Thermal analysis curve of Policer powder ($\text{CeO}_2/\text{La}_2\text{O}_3/\text{Silicate}$)



Source: created by authors

Figure 4 – Dilatometric curve of the Policer powder ($\text{CeO}_2/\text{La}_2\text{O}_3/\text{Silicate}$)

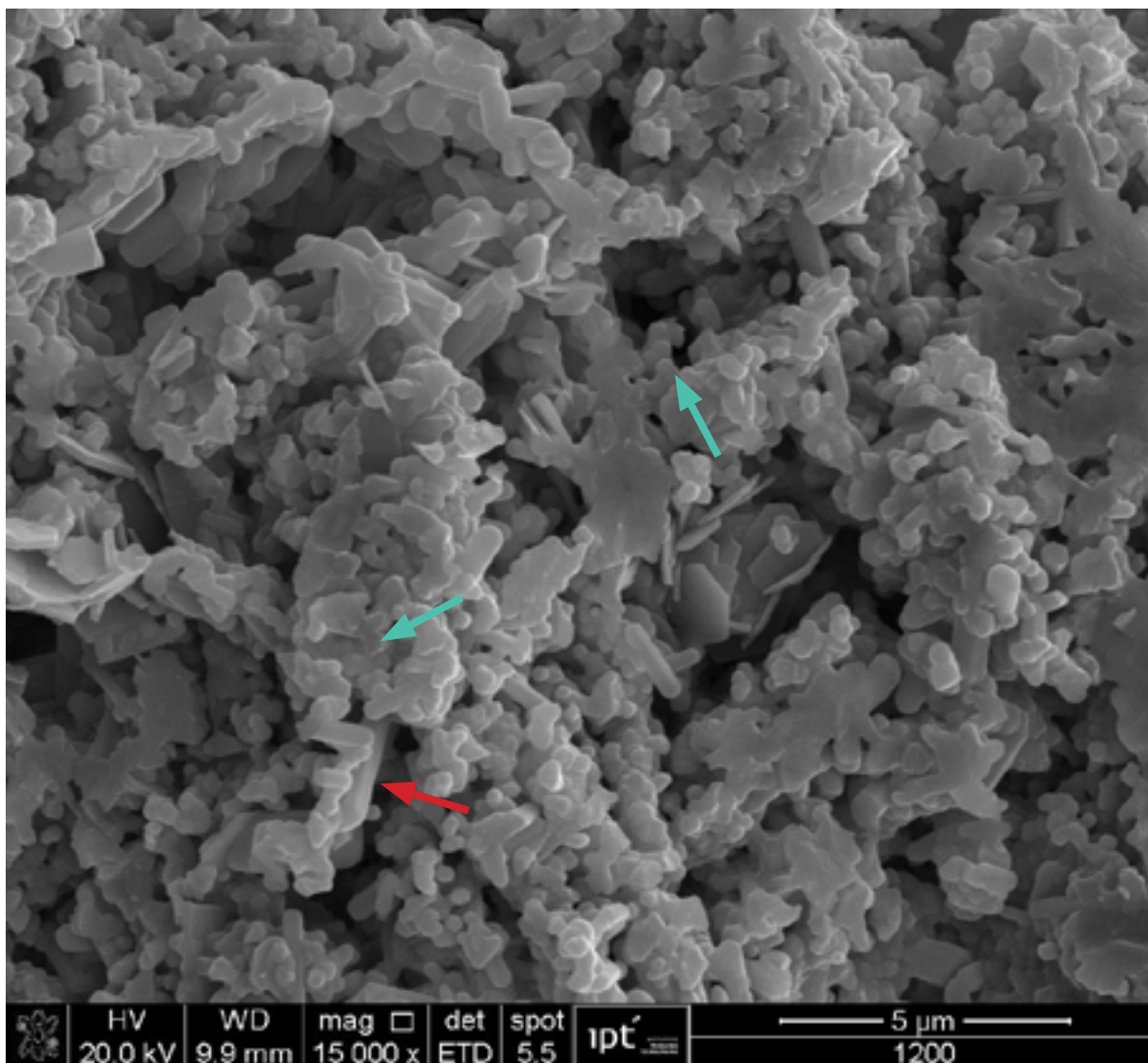


Source: created by authors

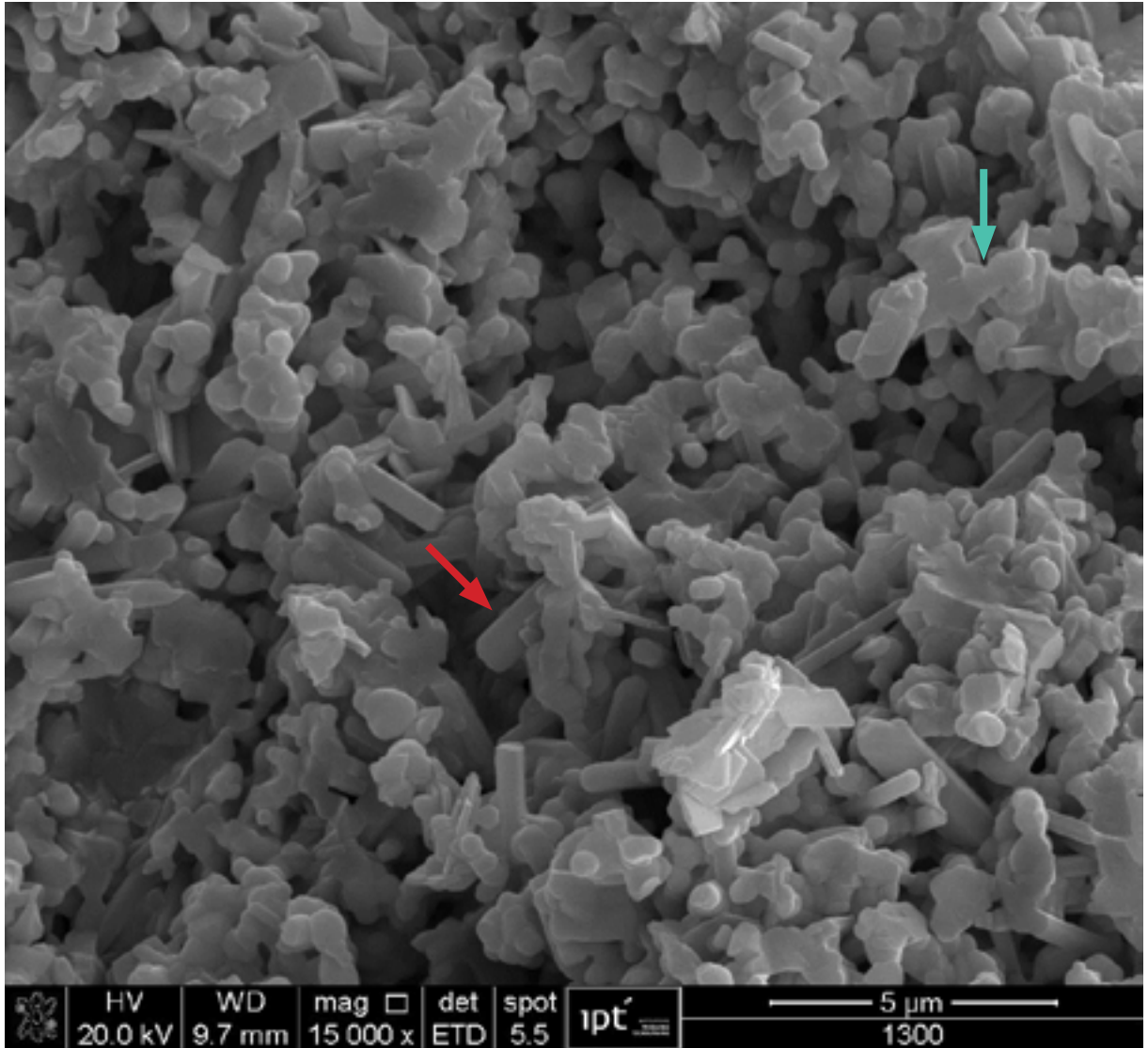
3.3 Scanning electron microscopy of the sintered specimens

In **Figure 5**, it is possible to observe that in the specimens treated at 1200 °C for 1 h, the grains are in the initial phase of sintering (neck formation), the porosity is high, the grains are small ($< 5 \mu\text{m}$), some are round, while others are in the form of rods. The micrograph of the specimen treated at 1300 °C for 1 h (**Figure 5b**) shows a greater number of rod-shaped crystals, but it still has considerable porosity. **Figure 5c** shows a micrograph of the specimen treated at 1400 °C for 1 h. It is possible to observe the increase in the size of rounded grains and those with rod morphology, all larger than those presented in the previous figures (**5a and 5b**), as expected. The increase in the temperature increases the atomic diffusion and the grain growth. The dilatometric analysis indicates that shrinkage is approximately maximum at 1400 °C (**Figure 4**). The analysis of dispersive energy spectroscopy (**Figure 6b and 6c**) shows the compositions referring to the morphologies presented in the sintered specimens. The rounded grains are rich in Ce (87.04 % by weight), corresponding to CeO_2 grains with small amounts of Ca, Si and Al. The rods are rich in La (42.59 %), Ce (30.91 %) and Si (12.14 %) indicating to be a silicate.

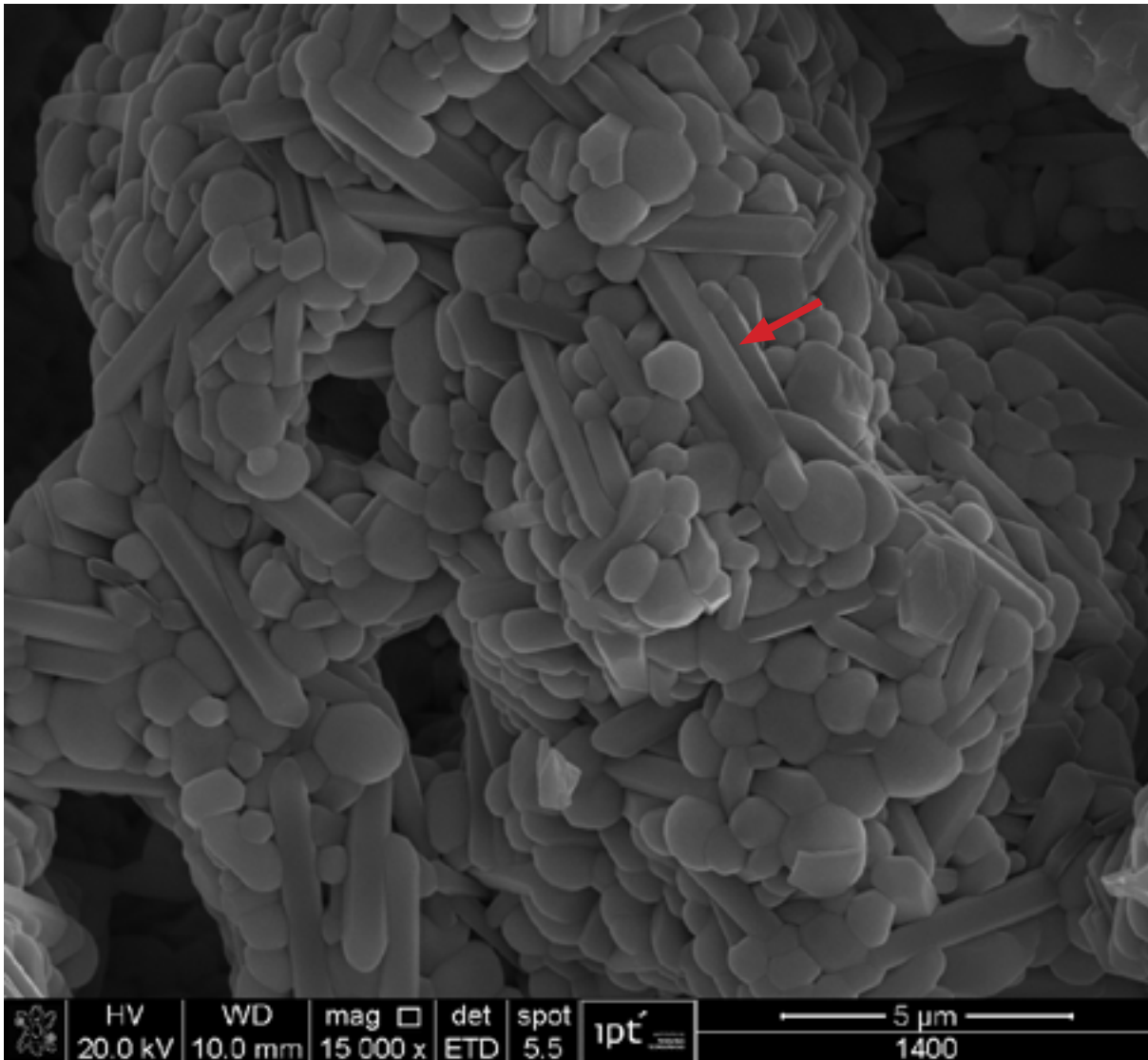
Figure 5 - (a), (b) and (c) micrographs obtained by scanning electron microscopy, in the secondary electron mode, of fracture surfaces of samples treated at 1200 °C, 1300 °C and 1400 °C for 1 h. The green arrows indicate the formation of necks and grain boundaries between the particles and, the red ones, the formation of crystals in the form of rods



(a) 1200 °C

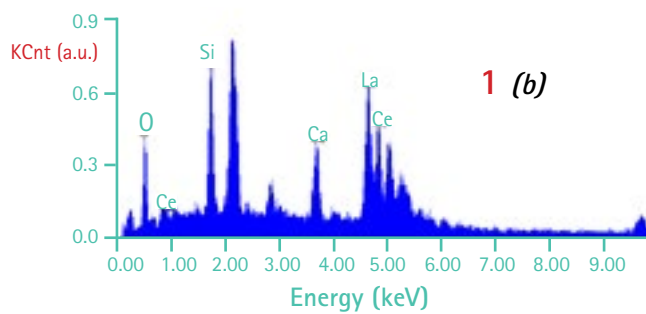
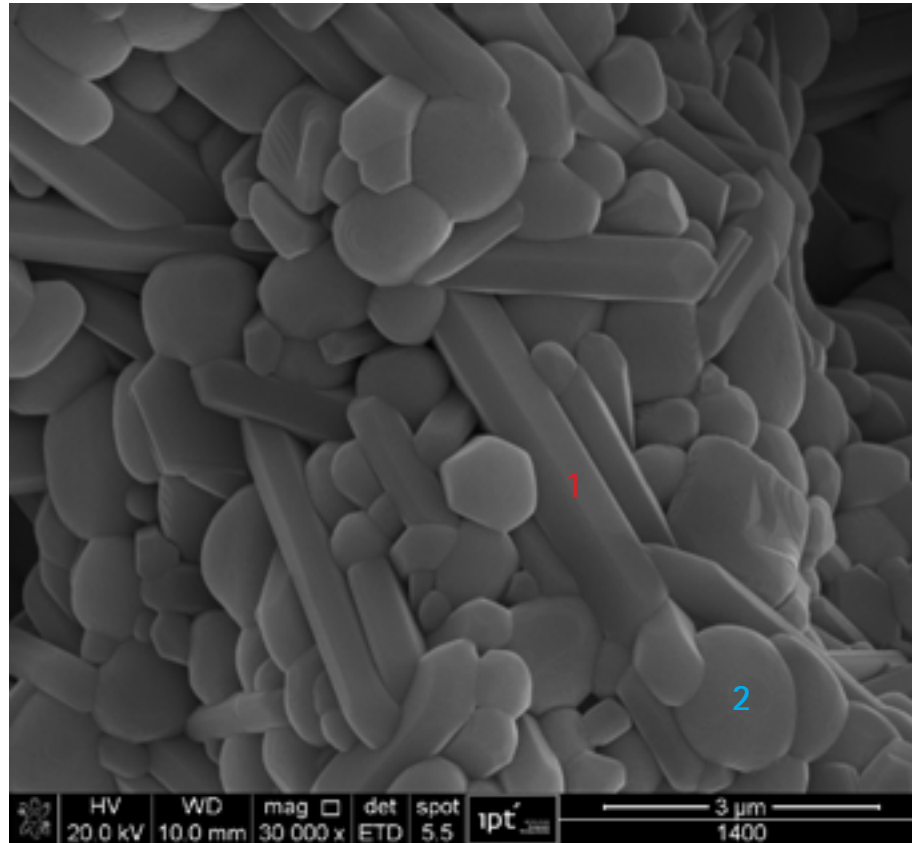


(b) 1300 °C

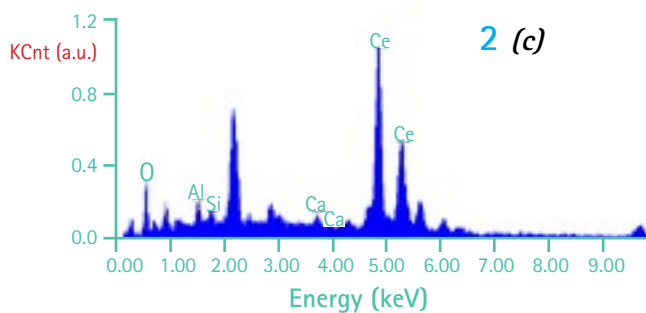


(c) 1400 °C

Figure 6 - (a) micrographs obtained by scanning electron microscopy, in the secondary electron mode of samples treated at 1400 °C for 1 h, (b) and (c) EDS spectra and elemental chemical composition of points 1 and 2 shown in figure a. Au e Pd are from the recovering for the analysis



Element	Wt %	At %
OK	08.74	33.18
SiK	12.14	26.27
CaK	05.62	08.52
LaL	42.59	18.62
CeL	30.91	13.40
Matrix	Correction	ZAF



Element	Wt %	At %
OK	06.84	33.93
ALK	03.33	09.79
SiK	01.68	04.74
CaK	01.12	02.21
CeL	87.04	49.32
Matrix	Correction	ZAF

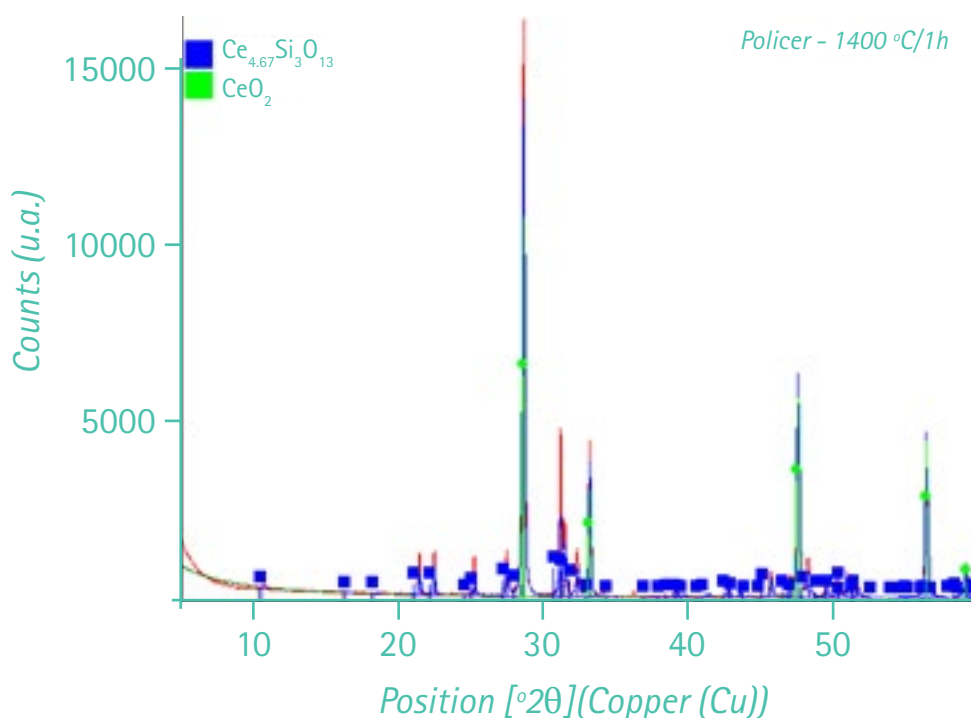
Source: created by authors

3.4 X-Ray diffraction and Raman spectroscopy

Figure 7 shows the X-ray diffraction pattern of the sample treated at 1400 °C for 1 h. The diffractogram indicates peaks relative to cerium oxide (JCPDS-00-034-0394) and peaks relative to a cerium silicate ($\text{Ce}_{4.667}(\text{SiO}_4)_3\text{O}$ -JCPDS 00-043-0441), but with a little dislocation of 2θ in relation to this phase. Hutchison (2015) reported that little literature exists on a La/Ce-silicate phase.

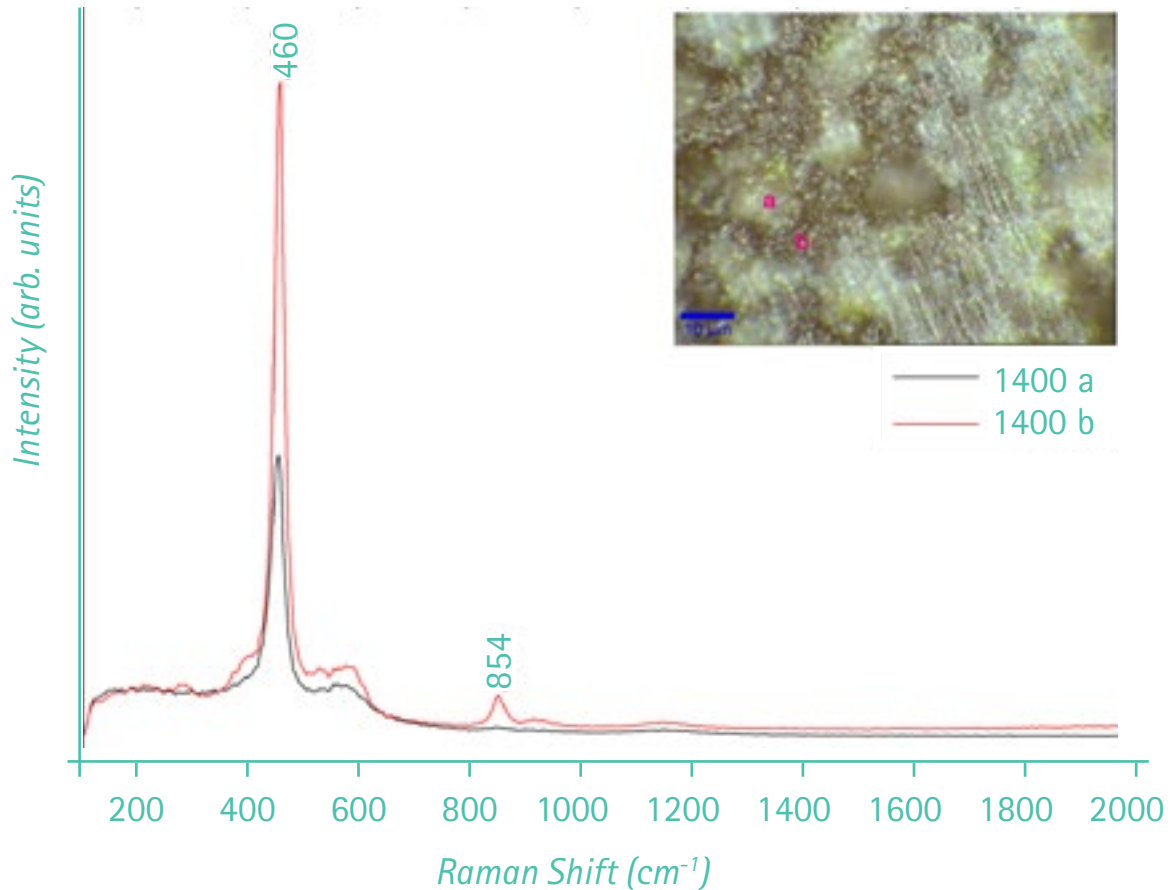
A double silicate of cerium and lanthanum was not found in the standard database (PDF-4) of X-ray diffraction. Thus, the lanthanum must be present in the structure of the silicate as a substituent atom. Weimmerskirch et al. (2015) studied the effect of heat treatment of silicon doped ceria thin films and observed the formation of $\text{Ce}_{4.667}(\text{SiO}_4)_3\text{O}$. Kepinski et al. (2005) reported SiO_2 and $\text{La}(\text{NO}_3)_2$ reaction as a function of temperature and they verified that it leads to the formation of lanthanum silicate due to the ability of lanthanum to break Si-O-Si bonds. These authors studied Raman spectra of the thermally treated samples and reported the presence of intense bands at 844 cm^{-1} to 859 cm^{-1} , referring it to the individual tetrahedra of $[\text{SiO}_4]$. **Figure 8** shows the Raman spectra of a sample treated at 1400 °C for 1 h, obtained in this work. Several spectra were performed in different regions of the sample, but, in **Figure 8**, only the spectra of two different regions (a and b) are presented which correspond to the only two patterns found in the analyses in various regions of the sample. The band at 460 cm^{-1} corresponds to the CeO_2 standard (REDDY et al., 2005) and the band at 854 cm^{-1} confirms the presence of silicate with individual tetrahedral units, corroborating the results found in X-ray diffraction and SEM.

Figure 7 - X-ray diffraction of the sample treated at 1400 °C for 1 h



Source: created by authors

Figure 8 – Raman spectra of the specimen treated at 1400 °C for 1 h



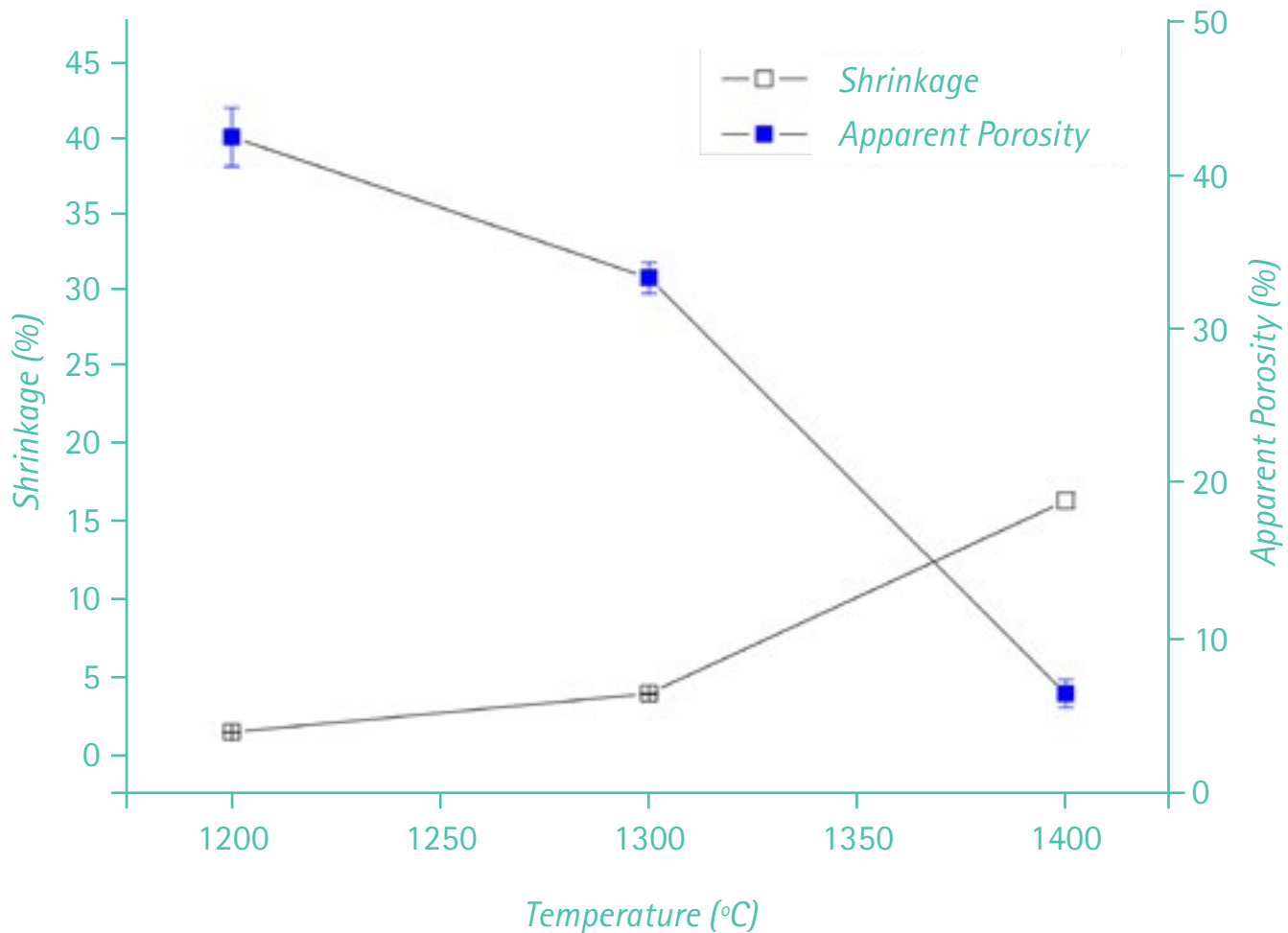
Source: created by authors

3.5 Shrinkage

Figure 9 shows the shrinkage and the apparent porosity of the samples as a function of the temperature. It can be seen that, for 1200 °C, 1300 °C and 1400 °C, there was a sample size decrease of approximately 1.8 %, 4.1 % and 16.5 %, respectively, indicating that the densification occurs between 1300 °C and 1400 °C. The behavior of the apparent porosity is inverse to that of the shrinkage, indicating that the larger the contraction the smaller the apparent porosity.

The results indicate that the sample treated at 1400 °C for 1 h formed cerium lanthanum silicate of a low apparent porosity (3.5 %) which may be of interest for reactivity tests with sugarcane bagasse ashes. The results of the reactivity study will be published in the future.

Figure 9 - Shrinkage analysis of specimens with uniaxial pressure of 62.5 MPa as a function of temperature.



Source: created by authors

4 Conclusions

In this study, the effect of the temperature on the sintering of $\text{CeO}_2\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Silicate}$ powder was investigated. The results of dilatometry showed that the sintering of this powder begins at temperatures higher than 1005 °C and reaches approximately the maximum shrinkage at 1400 °C. X-ray diffraction in conjunction with Raman spectroscopy and EDS analyses indicated the formation of a cerium-lanthanum silicate with rod-like morphology determined by scanning electron microscopy. This silicate phase did not melt at temperatures up to 1400 °C.

5 Acknowledgment

C. Fredericci thanks CNPq for the Technological Development Grant Process no. 309189/2016-0. The authors affectionately thank the participation of the student Marcio Rodrigues de Oliveira in all the phases of this work, who unfortunately passed away during the elaboration of this paper.

6 References

BENNETT, J. P.; KWONG, K-S. Failure mechanism in high chrome oxide gasifier refractories. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 42A, n. 4, p. 888-904, Apr. 2011.

CHADDOCK, J. **Refractory for Black Liquor Gasifiers**. Washington, DC: US Department of Energy, 2006. p. 1. (Energy Efficiency and Renewable Energy – Biomass Program).

COMAS, C. C. Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. **Neo Mundo**, June, 21 2018. Available in: <<http://www.neomundo.org.br/2018/06/21/brasil-e-o-maior-produtor-mundial-de-cana-de-acucar/>>. Accessed in: Nov. 4 2018.

FREDERICCI, C.; CRUZ, I. A.; RIBEIRO, T. R.; FUKUHARA, T. Y. Corrosão de refratário à base de Al₂O₃ por cinza de cana de açúcar em atmosfera redutora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60., 2016, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2016. p. 1-12.

FREDERICCI, C.; ETT, G.; SILVA, G. F. B. L.; FERREIRA NETO, J. B.; LANDGRAF, F. J. G.; INDELICATO, R. L.; RIBEIRO, T. R. An analysis of Brazilian sugarcane bagasse ash behavior under thermal gasification. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, p. 1-15, Dec. 2014.

FREDERICCI, C.; MENOSSI, M.S.; CRUZ, I.A.; INDELICATO, R.L. - Corrosão de refratários à base de Cr₂O₃ e Al₂O₃ por cinza de cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 59, 2015, Barra do Coqueiros. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2015. p. 1-12.

FREDERICCI, C.; RIBEIRO, T. R. Corrosão de refratários à base de ZrO₂ por cinza de cana-de-açúcar em atmosfera redutora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 61., 2017, Gramado. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2017. p. 1-12

HUTCHISON, C. A. **Microstructure and corrosion intermediate level wastefoms fabricated using novel thermal techniques**. 2017. 223 f. Thesis – Department of Materials, Imperial College London, London, 2017.

KEPINSKI, L.; MISTA, W.; OKAL, J.; DROZD, M.; MACZKA, M. Interfacial reactions and silicate formation in high surface SiO₂ impregnated with La nitrate. **Solid State Sciences**, v. 7, p. 1300–1311, 2005.

KOBAYASHI, W. T.; DA SILVA, E. L.; PASKOCIMAS, C.A. **US Patent 6,455,102 B1**: Method for producing corrosion prevention. 2002. p. 1-9.

LIANG, S.; BROITMAN, E.; WANG, Y.; CAO, A.; VESER, G. Highly stable, mesoporous mixed lanthanum–cerium oxides with tailored structure and reducibility. **Journal of Materials Science**, v. 46, p. 2928–2937, 2011.

MONTORO, S. R.; SHIINO, M. Y.; CRUZ, T. G.; CIOFFI, M. O. A.; WOORWALD, H. J. C. Influence of voids on the flexural resistance of the NCF/RTM6 composite. **Procedia Engineering**, v. 10, p. 3220–3225, 2011.

OMBERG, O. S. **Techno-economical evaluation of suitable conversion technology for the production of biofuels from wood biomass**. 2015. 116 f. Thesis - Faculty of Environmental Science and Technology, Norwegian University of Life Sciences, Akershus, 2015.

PERRONE, C.C.; APPEL, L.G.; MAIA LELLIS, G.L.; FERREIRA, F.M.; DE SOUSA, A.M.; FERREIRA-LEITÃO, V.S. Ethanol: an evaluation of its scientific and technological development and network of players during the period of 1995 to 2009. **Waste Biomass Valor**, v. 2, n. 1, p. 17–32, Feb. 2010.

REDDY, B.M.; KHAN, A.; LAKSHMANAN, P. Structural Characterization of Nanosized CeO₂-SiO₂, CeO₂-TiO₂, and CeO₂-ZrO₂ Catalysts by XRD, Raman, and HREM Techniques. **Journal of Physical Chemistry B**, v. 109, p. 3355–3363, 2005.

THEVENIN, G.; POIRIER J.; PRIGENT P.; FOURCAULT A.; J. P. ROBERT-ARNOUIL J. P.; EDME E.; MARIAS F.; DEMARTHON R. Modelling and design of a refractory lining for a biomass gasification reactor fed by a plasma torch. **Waste and Biomass Valorization**, v. 5, n. 5, p. 865–877, Oct. 2014.

WEIMMERSKIRCH-AUBATIN, J.; STOFFEL, M.; BOUCHÉ, A.; VERGNAT, M.; RINNERT, H. Optical properties of Ce-doped SiO₂ films: From isolated Ce³⁺ ions to formation of cerium silicate. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 622, p. 358–361, Feb. 2015.

IPT
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Av. Prof Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - Butantã - São Paulo - SP
CEP 05508-901

Central de Relacionamento com o Cliente

(11) 3767-4102 / 4456 / 4091

ipt@ipt.br

www.ipt.br

Redes sociais

twitter.com/@iptsp

youtube.com/IPTbr

facebook.com/iptsp