

# REVISTA

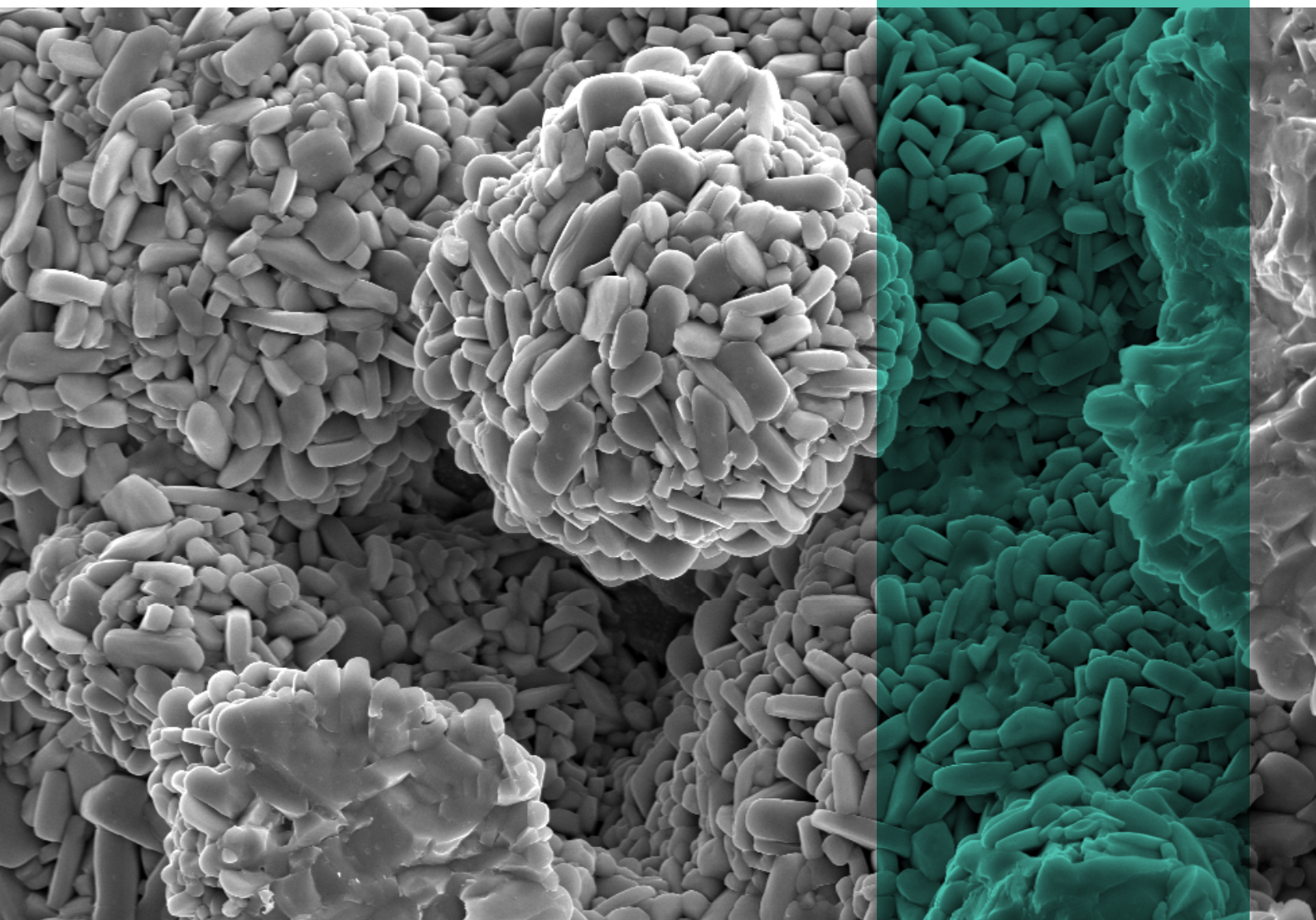
# IPT

Tecnologia  
e inovação

# 13

ipt<sup>2</sup>  
INSTITUTO DE  
PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS

Abril/2020



## SEGURANÇA AO FOGO

Importância da avaliação do desempenho de materiais e sistemas de proteção contra incêndio em edificações

## CONSTRUÇÃO CIVIL

Estudo mostra metodologia mais rápida para análise química de cal, sem o uso de reagente

## NORMAS PARA EPIS

Laboratório se capacita para ensaios em protetores de perna para uso de motosserras



## REVISTA IPT | Tecnologia e Inovação

v.4, n.13, abril, 2020

Quadrimestral

### Editores-chefes

Andreia Longuinho da Silva

Eduardo Luiz Machado

Zehbour Panossian

### Conselho Editorial

Edna Baptista dos S. Gubitoso

Ester Garcia Ferreira da Silva

Hamilton Lelis Ito

Maria Natalina Martins

### Assistentes Editoriais

Augusto Max Colin

Bruno D. Francisco da Silva

Denise Oliveira de Paula

João Antonio Rodrigues Garcia

Luiz Silviano

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 E ARTE:

Luiz Silviano

REVISÃO:

Edna Baptista dos S. Gubitoso

Zehbour Panossian

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

ISSN 2526-5830

# #13

Revista IPT:  
Tecnologia  
e inovação

Artigos técnicos

## SUMÁRIO

p.06	Análise química de cal para construção civil por espectrometria de fluorescência de raios X
p.21	Equipamentos de proteção individual: o uso da norma ISO 11393-2: 1999 para ensaio em protetores de perna para uso de motosserrista.
p.37	Effect of Particle Geometry and Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Addition in the Sintering of Partially Stabilized Zirconia with Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
p.61	Comportamento mecânico de revestimento externo com isolante térmico - EIFS
p.77	Avaliação da segurança contra incêndio de sistemas construtivos

## TECNOLOGIA, MATERIAIS E PROTEÇÃO



**Jefferson de Oliveira Gomes**  
Diretor-Presidente do IPT

Esta é a décima terceira edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação'. Cinco artigos técnicos da melhor qualidade foram selecionados para publicação, tratando de propriedades e aplicações de diferentes materiais em proteção individual, construção e produção industrial.

Esta edição começa com o artigo intitulado "Análise química de cal para construção civil por espectrometria de fluorescência de raios X". São seus autores os pesquisadores Sérgio Soares de Lima e Fabiano Ferreira Chotoli, ambos do Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT. Para reduzir o tempo de análise e dar subsídios para o meio buscou-se a metodologia da espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) como alternativa ao método da NBR 6.473. Os dados confirmam a viabilidade do uso dessa técnica alternativa, permitindo menor tempo de análise, determinação de outros elementos químicos e supressão do uso de reagentes.

Na sequência, o artigo "Equipamentos de proteção individual: o uso da norma ISO 11393-2:1999 para ensaio em protetores de perna para uso de motosserrista" discute a normalização de ensaios deste EPI. Seus autores são os pesquisadores Nicole Aparecida Amorim de Oliveira, Felipe Cintra Clementino, David Henrique Zago, Pedro Yuri Kovatch, todos da Fundação de Apoio ao IPT; e Sandro Gonçalves de Andrade e Fernando Soares de Lima, do Laboratório de Calçados e Produtos de Proteção do IPT. A Secretaria Especial de Previdência e Trabalho adotou normas para proteção do trabalhador que utiliza motosserras. O IPT foi pioneiro na adequação às normas adotadas sendo o único laboratório no país que faz ensaios desses EPIs.

Somente na versão em inglês, o artigo "Effect of Particle Geometry and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Addition in the Interfacing of Partially Stabilized Zirconia with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>" propõe adição de pequenas quantidades de óxidos para estabilizar zircônia, material cerâmico de ampla aplicação industrial pelas suas propriedades de resistência mecânica e a altas temperaturas, em processos de sinterização. Os autores são os pesquisadores Catia Fredericci, do Laboratório de Processos Metalúrgicos do IPT; Alexandre M. Jordão, Arnaldo M. Shima Junior, Fernanda C.P. Baraldini, Flávio I. Santana, Juliana I. Affonso, Laércio A. Piva, Liece Rodrigues Junior, Pedro Garcia, do Mestrado do IPT em Processos Industriais; e Juliana Flor, da Fundação de Apoio ao IPT.

O artigo "Comportamento mecânico de revestimento externo com isolante térmico – EIFS" foi elaborado pelas pesquisadoras Luciana Alves de Oliveira, do Centro Tecnológico do Ambiente Construído do IPT; e Evania Sabará Leite Teixeira, mestre em Habitação pelo IPT e docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP). Discute o desempenho estrutural do '*Exterior Insulation Facade System*', que depende das características físicas e mecânicas dos seus componentes: adesivo, isolante térmico e '*base coat*'.

Intitulado "Avaliação da segurança Contra Incêndio de Sistemas Construtivos", este artigo foi produzido pelos pesquisadores Antonio Fernando Berto e Carlos Roberto Metzker Oliveira, do Centro Tecnológico do Ambiente Construído do IPT. Descreve a abordagem técnica utilizada na avaliação do desempenho de materiais e sistemas de proteção contra incêndio das edificações, mostrando a importância da adoção integral dos requisitos e critérios estabelecidos nas normas e regulamentos de segurança contra incêndio.

Boa leitura!

# Análise química de cal para construção civil por espectrometria de fluorescência de raios X

*Chemical analysis of lime for building by means of X-ray fluorescence spectrometry*

Sérgio Soares de Lima<sup>ab\*</sup>, Fabiano Ferreira Chotoli<sup>ac</sup>

a Laboratório de Materiais de Construção Civil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b Programa de Pós-Graduação do IPT em Habitação: Planejamento e Tecnologia

c Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia – IPT

\*E-mail: sergiolima@ipt.br

### Palavras-chave:

cal hidratada; calcário; cal virgem; fluorescência de raios X.

### Keywords:

hydrated lime; limestone; virgin lime; X-ray fluorescence

## Resumo

Há muitos anos, as análises químicas de amostras de cal hidratada fazem parte da rotina de ensaios no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT, realizados conforme a norma NBR 6473, por via úmida ou via clássica. Habitualmente, para a caracterização química completa de uma única amostra de cal, cerca de 30 horas de trabalho de um técnico de laboratório é requerido. Com o objetivo de reduzir o tempo de análise e dar subsídios para o meio técnico para tomada de decisão, o LMCC buscou a metodologia da espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) como uma alternativa ao método da norma brasileira vigente. Este trabalho apresenta os resultados de análises por FRX, realizadas de acordo com a NBR 6473, de diferentes tipos de cal e de testes de significância por *t-Student* os quais confirmam a viabilidade do uso dessa técnica como um método alternativo, propiciando a redução do tempo de análise, a determinação de outros elementos químicos e a eliminação do uso de reagentes químicos.

## Abstract

For many years, chemical analyzes of hydrated lime samples have been carried out in accordance with the NBR 6473 standard at the Construction Materials Laboratory – Center for Infrastructure Technology of IPT. Typically, an average of 30 hours of a technician labor is required for the chemical characterization of a single lime sample. In order to achieve a reduction of the analysis time, the Laboratory selected the X-ray fluorescence spectrometry as an alternative methodology to be used as an optional method of the current Brazilian standard. This work presents the results obtained by X-ray fluorescence spectrometer, performed according to NBR 6473 of different types of lime as well as the results of tests of significance by t-Student analyzes. The feasibility of using this technique as an alternative method was confirmed because it provides a reduced analysis time, the possibility of the determination of other chemical elements and the elimination of chemical reagents.

## 1 Introdução

A norma NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b) – “Cal virgem e cal hidratada – Análise química” prescreve os métodos para as determinações de umidade, perda ao fogo, sílica mais resíduo insolúvel ( $\text{SiO}_2 + \text{RI}$ ), sesquióxidos ( $\text{R}_2\text{O}_3$ )<sup>a</sup>, óxido de cálcio total ( $\text{CaO}_t$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ), anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), anidrido fosfórico ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e óxido de cálcio disponível ( $\text{CaO}_d$ ). Essas determinações visam subsidiar a classificação química da cal hidratada e da cal virgem, conforme indicada na **Tabela 1** e **Tabela 2**.

**Tabela 1 – Limites da NBR 7175, por tipo de cal hidratada (CH)**

Determinações	CH-I	CH-II	CH-III	
Anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ )	Na fábrica	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 13 %
	No depósito	≤ 7 %	≤ 7 %	≤ 15 %
Na base do material original: - Óxidos não hidratados ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ )	≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %	
Na base de não voláteis: - Óxidos totais ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ )	≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %	

Fonte: adaptado pelos autores com dados da NBR 7175 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003c)

<sup>a</sup> Óxido que contém três átomos de oxigênio combinados com dois átomos do outro constituinte da molécula, óxido de fórmula geral  $\text{X}_2\text{O}_3$ , por exemplo:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . A norma americana C114 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018) indica que o resíduo chamado de ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ou  $\text{R}_2\text{O}_3$  pode incluir a coprecipitação de pequenas quantidades de titânio e fósforo, além disso, pouco ou nenhum manganês pode ser precipitado.

**Tabela 2 – Limites da NBR 6453, por tipo de cal virgem**

Determinações		Cal virgem especial (CV-E)	Cal virgem comum (CV-C)	Cal virgem em pedra (CV-P)
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	Na fábrica	≤ 6,0 %	≤ 12,0 %	≤ 12,0 %
	No depósito	≤ 8,0 %	≤ 15,0 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base não volátil (CaO <sub>total</sub> + MgO <sub>total</sub> )		≥ 90,0 %	≥ 88,0 %	≥ 88,0 %
Água combinada	Na fábrica	≤ 3,0 %	≤ 3,5 %	≤ 3,0 %
	No depósito	≤ 3,6 %	≤ 4,0 %	≤ 3,6 %

**Fonte: adaptado pelos autores com dados da NBR 6453 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003a)**

Na experiência do LMCC para a caracterização química de uma amostra de cal hidratada, conforme a NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), emprega-se cerca de 30 horas de atividades de um analista de laboratório para a execução dos ensaios. O laboratório tendo como um de seus objetivos a melhoria contínua, buscou como metodologia alternativa a técnica de análise por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) com amostras fundidas. E, assim, com a utilização do equipamento de FRX, obteve a redução significativa do tempo de análise, pois a caracterização química de uma amostra de cal foi finalizada em cerca de cinco horas, incluindo-se os ensaios de umidade, perda ao fogo e anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>) que são determinados segundo a NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b). Esse trabalho apresenta os resultados obtidos na análise em seis materiais diferentes (calcário, cal virgem e cal hidratada de natureza calcítica e dolomítica) por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X com amostras fundidas e alguns ensaios específicos executados pela NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), evidenciando-se que a metodologia por fluorescência de raios X, conforme diretrizes gerais da NBR 14656 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001) e da norma 29581-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2010), com amostra fundida, pode ser uma alternativa tecnicamente viável à análise química completa por via úmida, executada inteiramente de acordo com a NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b).

## 2 Procedimento metodológico

### 2.1 Metodologias utilizadas

Na análise química, conforme a NBR 7175 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003c), são adotados métodos gravimétricos, ataques ácidos, permanganometria (titulométrico) e gasométrico para as determinações de umidade, perda ao fogo, sílica + resíduo insolúvel ( $\text{SiO}_2 + \text{RI}$ ), óxidos de cálcio ( $\text{CaO}$ ), magnésio ( $\text{MgO}$ ), sesquióxidos ( $\text{R}_2\text{O}_3$ ), anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) e anidrido carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (GUIMARÃES, 1997). Embora sejam considerados métodos precisos e seletivos, possuem inconvenientes, tais como a utilização de reagentes químicos, equipamentos calibrados, equipe de técnicos treinados nessas metodologias e tempo para obtenção dos resultados.

A análise quantitativa por fluorescência de raios X (FRX) apresenta-se como um método alternativo para diminuição do tempo de análise e diminuição do emprego de reagentes na análise de uma cal hidratada ou uma cal virgem.

Na análise por FRX, o conceito básico da técnica consiste no uso de espectrômetros com uma fonte de radiação, uma amostra e um sistema de detecção. Em espectrômetros de energia dispersiva (EDXRF) com fonte de raios X que atua como fonte que irradia em uma amostra diretamente, a fluorescência originária da amostra é medida com um detector de energia dispersiva. Esse detector é capaz de medir as energias de diferentes tipos de radiação que são características da amostra. O detector consegue separar a radiação de diferentes elementos presentes na amostra. Essa separação é conhecida como dispersão (BUHRKE; JENKINS; SMITH, 1998).

Para esse trabalho foram realizadas as seguintes etapas para obtenção de curvas de calibração:

- seleção de padrões de referência para as curvas de calibração, ou seja, padrões internos, padrões IPT (28, 38, 42, 46) e padrões NIST (1016, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639);
- calcinação dos padrões e amostras para obtenção de 1 g de material calcinado. Em atenção à recomendação de Chotoli, Fonseca e Quarcioni (2013), foram tomados cuidados especiais na determinação de perda ao fogo de cal hidratada para evitar eventuais ganhos de massa, antes da pesagem para a preparação da amostra fundida, devido à hidratação do material ao ser exposto ao meio ambiente;
- fusão do material a partir de 1 g do material calcinado com 6,75 g de fundente à base de mistura de fundentes (66,67 % de  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 32,83 % de  $\text{LiBO}_2$  e 0,70 % de  $\text{LiBr}$ ) para obtenção da amostra fundida utilizando máquina de fusão Claisse com cadinhos e moldes de platina acoplados (CLAISSE, 2000);
- para a leitura utilizou-se espectrômetro de fluorescência de raios X marca Malvern Panalytical modelo Minipal Cement e o guia geral da Panalytical Ltd. Minipal (2009).

As amostras selecionadas de calcário calcítico, calcário dolomítico, cal hidratada calcítica, cal hidratada dolomítica, cal virgem calcítica e cal virgem dolomítica foram submetidas ao mesmo tratamento para leitura no equipamento utilizando-se a curva de calibração obtida.

## 2.2. Parâmetros e técnicas estatísticas aplicadas na validação do método

Foram adotados os parâmetros analíticos e/ou estatísticos de seletividade, exatidão e precisão para a validação das determinações. A seguir, estão descritos os parâmetros, bem como a técnica estatística adotada e o critério de aceitação dos resultados.

### 2.2.1 Seletividade

A seletividade foi considerada satisfatória ao atender aos seguintes itens: indicação em normas técnicas de análise química de cal hidratada, tanto em nível nacional como internacional; proficiência do laboratório na seleção de métodos analíticos, com participação em programas interlaboratoriais, e em Comitês de Estudos específicos da ABNT.

### 2.2.2 Exatidão

A exatidão foi avaliada a partir de ensaios de recuperação, sendo que é definida como a proporção do teor da espécie química de interesse que é extraída e o teor determinado pelo método analítico (JORNADA; PIZZOLATO, 2007). Essa espécie química está presente ou adicionada, propositalmente, no material a ser analisado. A recuperação analítica é calculada conforme **Equação 1**:

$$\text{Recuperação analítica} = \frac{\text{Resultado analítico}}{\text{Valor de referência}} \quad (1)$$

### 2.2.3 Precisão

A precisão foi avaliada a partir dos resultados de média ( $M$ ), desvio-padrão ( $DP$  ou  $s$ ), intervalo de confiança para a média ( $ICM$ ) e teste de significância por t-Student. O intervalo de confiança para a média foi calculado conforme a **Equação 2**:

$$ICM = t_{3-2;2,5} \times \sqrt{2} \times DP, \text{ onde } t_{3-2;2,5} = 4,303 \quad (2)$$

Para o teste de significância por t-Student, (**Equações 3 e 4**), ao se comparar os resultados de referência com os resultados analíticos obtidos e variando-se os teores de perda ao fogo, utilizou-se o teste de hipótese ao nível de significância de 5 % (**Equação 5**):

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1 + n_2 + 2}} \quad (3)$$

$$t_{\text{calculado}} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1}\right) + \left(\frac{1}{n_2}\right)}} \quad (4)$$

$$t_{\text{crítico}} = t_{3+3-2;2,5} = 2,776 \quad (5)$$

Sendo:

$S_p$  = desvio-padrão da população;

$n_1$  e  $n_2$  = quantidade de dados dos dois grupos, respectivamente;

$X_1$  e  $X_2$  = médias de resultados dos dois grupos, respectivamente;

$S_1$  e  $S_2$  = desvio-padrão dos dados dos dois grupos, respectivamente.

Dessa forma, rejeita-se a hipótese dos valores serem semelhantes se  $t_{\text{calculado}} > 2,776$ .

## 2.3 Estimativas da incerteza dos ensaios

A estimativa da incerteza de medição, conforme o guia Eurachem (2002) define quatro etapas para a determinação da incerteza de um dado método analítico. As etapas utilizadas e suas definições são:

Etapa 1 - especificação do mensurando: declaração do que é medido, incluindo-se a relação entre o mensurando e as grandezas de entrada;

Etapa 2 - identificação das fontes de incerteza: relação das possíveis fontes de incerteza, incluindo-se aquelas que contribuem para a incerteza dos parâmetros de relação estabelecida na Etapa 1. Dessa forma, pode ser montado um diagrama de causa e efeito;

Etapa 3 - quantificação dos componentes de incerteza: medida ou estimada a partir da dimensão do componente de incerteza associado a cada fonte potencial de incerteza identificada;

Etapa 4 - cálculo da incerteza combinada: associação das contribuições quantificadas na Etapa 3, a fim de estimar a incerteza total. As contribuições devem ser expressas como desvios padrão e combinadas conforme regras apropriadas.

A relação geral entre a incerteza padrão combinada de um valor  $y$  ou  $u(y)$  e a incerteza dos parâmetros independentes da qual ela depende,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , são determinados de acordo com a **Equação 6**:

$$u(y(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)) = \sqrt{\sum (u(x_i) \frac{\partial y}{\partial x_i})} \quad (6)$$

O coeficiente de sensibilidade é definido como  $(\partial y / \partial x_i)$  e descreve como o valor de  $y$  varia com as mudanças nos parâmetros  $x_i$  e podem ser avaliados, diretamente, por experimentação.

## 3 Resultados e discussão

Os resultados das amostras ensaiadas, em triplicata, por FRX e de acordo com a norma ABNT NBR 6473:2003 e os resultados médios estão apresentados nas **Tabelas 3 e 4**.

Os resultados de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) (**Tabelas 5 e 6**) foram avaliados. Adotando-se o Teste  $t$  de Student e variâncias diferentes, com nível de significância de 5 %, quatro graus de liberdade,  $t_{\text{crítico}}$  bi-caudal de 2,7764 (segundo tabela  $t$  Student) e adotando-se as seguintes regras de decisão:

> H<sub>0</sub>: considera-se, estatisticamente, que as médias são iguais, não possuindo diferença significativa;

> H<sub>1</sub>: considera-se, estatisticamente, que as médias não são iguais e que possuem diferença significativa.

Foram calculados na base do material original, os óxidos não hidratados (CaO+MgO) (**Tabela 7**) e na base de não voláteis, os óxidos totais (CaO+MgO) (**Tabela 8**), conforme prescreve a norma ABNT NBR 7175:2003.

**Tabela 3 – Resultados das amostras por FRX e pela norma ABNT NBR 6473:2003, em %**

Determinações	Calcário calcítico		Calcário dolomítico		Cal hidratada calcítica	
	FRX	NBR	FRX	NBR	FRX	NBR
Umidade	---	0,07	---	0,13	---	< 0,01
Perda ao fogo	---	44,3	---	45,3	---	24,7
Resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> + RI) <sup>b</sup>	0,33	0,82	3,01	3,37	0,42	0,52
Sesquióxidos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>c</sup>	0,11	0,35	0,56	0,91	0,24	0,97
Óxido de cálcio (CaO)	55,4	54,6	30,0	30,1	74,4	73,2
Óxido de magnésio (MgO)	0,23	0,25	21,4	20,7	0,81	0,81
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,16	0,03	0,15	0,03	0,19	0,02
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,01	---	0,29	---	0,12	---
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,08	---	0,24	---	0,10	---
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,06	---	0,11	---	0,09	---
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,01	---	0,01	---	< 0,01	---
Óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 0,01	---	< 0,01	---	< 0,01	---
Óxido de estrôncio (SrO)	0,08	---	< 0,01	---	0,15	---
Óxido de zinco (ZnO)	< 0,01	---	< 0,01	---	< 0,01	---
Óxido de manganês (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,02	---	0,02	---	0,01	---
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,01	---	0,02	---	< 0,01	---
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	---	40,9	---	43,4	---	1,10
Na base do material original: - Óxidos não hidratados (CaO+MgO)	< 0,01	< 0,01	0,20	< 0,01	0,66	< 0,01
Na base de não voláteis: - Óxidos totais (CaO+MgO)	99,9	98,5	94,1	93,0	99,8	98,2

**Fonte: elaborado pelos autores**

<sup>b</sup> Considera-se apenas SiO<sub>2</sub> pela determinação de FRX.

<sup>c</sup> Considera-se pela FRX o somatório das determinações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Tabela 4 – Resultados das amostras por FRX e pela norma ABNT NBR 6473:2003, em %

Determinações	Cal hidratada dolomítica		Cal virgem calcítica		Cal virgem dolomítica	
	FRX	NBR	FRX	NBR	FRX	NBR
Umidade	---	< 0,01	---	< 0,01	---	< 0,01
Perda ao fogo	---	23,9	---	6,36	---	8,78
Resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> + RI) <sup>d</sup>	1,33	1,53	0,43	0,65	2,44	2,41
Sesquióxidos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sup>e</sup>	0,72	1,52	0,22	0,94	0,44	0,97
Óxido de cálcio (CaO)	57,2	57,9	89,4	91,6	48,0	51,2
Óxido de magnésio (MgO)	15,5	15,3	1,26	1,05	34,9	36,5
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,30	0,14	0,28	0,04	0,22	0,06
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,30	---	0,07	---	0,15	---
Óxido férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,34	---	0,13	---	0,25	---
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,10	---	0,15	---	0,07	---
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,01	---	0,01	---	< 0,01	---
Óxido de cromo (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	< 0,01	---	< 0,01	---	< 0,01	---
Óxido de estrôncio (SrO)	0,08	---	0,19	---	0,01	---
Óxido de zinco (ZnO)	< 0,01	---	< 0,01	---	< 0,01	---
Óxido de manganês (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,08	---	< 0,01	---	0,02	---
Óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,07	---	< 0,01	---	0,03	---
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	---	9,41	---	1,95	---	5,92
Na base do material original: - Óxidos não hidratados (CaO+MgO)	15,7	16,0	74,4	76,5	66,5	71,3
Na base de não voláteis: - Óxidos totais (CaO+MgO)	95,5	96,1	96,8	99,0	90,9	96,2

Fonte: elaborado pelos autores

<sup>d</sup> Considera-se apenas SiO<sub>2</sub> pela determinação de FRX.

<sup>e</sup> Considera-se pela FRX o somatório das determinações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**Tabela 5 – Tratamento estatístico dos resultados de óxido de cálcio (CaO), resultados em %**

Material	Método	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	ICM	U	$t_{\text{calculado}}$	Avaliação $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
Calcário calcítico	FRX	55,4	0,1	0,2	0,9	7,506	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	54,6	0,2	0,4	0,5		
Calcário dolomítico	FRX	30,0	0,7	1,8	0,5	0,140	Aceita-se $H_0$
	ABNT	30,1	0,0	0,1	0,4		
Cal hidratada calcítica	FRX	74,4	1,0	2,4	1,2	2,157	Aceita-se $H_0$
	ABNT	73,2	0,0	0,1	0,5		
Cal hidratada dolomítica	FRX	57,2	1,3	3,2	0,9	0,930	Aceita-se $H_0$
	ABNT	57,9	0,0	0,1	0,5		
Cal virgem calcítica	FRX	89,4	1,0	2,6	1,4	3,711	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	91,6	0,0	0,1	0,6		
Cal virgem dolomítica	FRX	48,0	1,6	3,9	0,8	3,535	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	51,2	0,0	0,1	0,5		

**Fonte: elaborado pelos autores**

Legenda: ICM: intervalo de confiança para média; U: incerteza expandida baseada em uma incerteza padronizada combinada multiplicada por um fator de abrangência  $k = 2$ , fornecendo um nível da confiança de, aproximadamente, 95 %.

**Tabela 6 – Tratamento estatístico dos resultados de óxido de magnésio (MgO), resultados em %**

Material	Método	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	ICM	U	$t_{\text{calculado}}$	Avaliação $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
Calcário calcítico	FRX	0,23	0,06	0,14	0,08	0,785	Aceita-se $H_0$
	ABNT	0,25	0,02	0,05	0,02		
Calcário dolomítico	FRX	21,4	0,2	0,6	0,23	5,356	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	20,7	0,0	0,1	0,03		
Cal hidratada calcítica	FRX	0,81	0,02	0,04	0,08	0,607	Aceita-se $H_0$
	ABNT	0,81	0,01	0,03	0,01		
Cal hidratada dolomítica	FRX	15,5	0,3	0,7	0,18	1,541	Aceita-se $H_0$
	ABNT	15,3	0,0	0,1	0,03		
Cal virgem calcítica	FRX	1,26	0,03	0,07	0,08	5,322	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	1,05	0,06	0,15	0,05		
Cal virgem dolomítica	FRX	34,9	0,5	1,3	0,36	5,430	Rejeita-se $H_0$
	ABNT	36,5	0,0	0,1	0,04		

**Fonte: elaborado pelos autores**

Legenda: ICM: intervalo de confiança para média; U: incerteza expandida baseada em uma incerteza padronizada combinada multiplicada por um fator de abrangência  $k = 2$ , fornecendo um nível da confiança de, aproximadamente, 95 %.

Tabela 7 – Tratamento estatístico dos resultados de óxidos não hidratados (CaO+MgO) na base do material original

Material	Método	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	ICM	U	$t_{\text{calculado}}$	Avaliação $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
Cal hidratada calcítica		0,00					
	FRX	1,27	0,66	0,64	1,58	0,08	
		0,72					1,804
	NBR 6473	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	Aceita-se $H_0$
Cal hidratada dolomítica		16,8					
	FRX	15,0	15,7	1,0	2,4	0,18	
		15,3					0,539
	ABNT	16,0	16,0	0,0	0,0	0,03	Aceita-se $H_0$
Cal virgem calcítica		73,40					
	FRX	74,90	74,4	0,9	2,2	0,08	
		74,90					4,097
	ABNT	76,60	76,5	0,1	0,3	0,3	Rejeita-se $H_0$
Cal virgem dolomítica		76,40					
	FRX	69,1	66,5	2,3	5,6	0,36	
		65,2					3,681
	ABNT	71,5	71,3	0,2	0,4	0,04	Rejeita-se $H_0$
	71,2						

Fonte: elaborado pelos autores

Tabela 8 – Tratamento estatístico dos resultados de óxidos totais (CaO+MgO) na base de não voláteis

Material	Método	Média	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	ICM	U	$t_{\text{calculado}}$	Avaliação $H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$
Calcário calcítico		100,0					
	FRX	100,0	99,9	0,1	0,3	0,08	
		99,8					7,955
		98,7					
	ABNT	98,5	98,5	0,3	0,8	0,02	Rejeita-se $H_0$
	98,1						
Calcário dolomítico		95,6					
	FRX	92,4	94,1	1,6	4,0	0,23	
		94,4					1,280
		92,9					
	ABNT	93,1	93,0	0,2	0,4	0,03	Aceita-se $H_0$
	92,8						
Cal hidratada calcítica		98,3					
	FRX	100,5	99,8	1,3	3,2	0,08	
		100,6					2,085
		98,2					
	ABNT	98,2	98,2	0,1	0,1	0,01	Aceita-se $H_0$
	98,3						
Cal hidratada dolomítica		97,1					
	FRX	94,6	95,5	1,4	3,5	0,18	
		94,8					0,746
		96,0					
	ABNT	96,2	96,1	0,1	0,2	0,03	Aceita-se $H_0$
	96,1						
Cal virgem calcítica		95,6					
	FRX	97,5	96,8	1,1	2,7	0,08	
		97,4					3,451
		99,0					
	ABNT	99,0	99,0	0,1	0,1	0,05	Rejeita-se $H_0$
	98,9						
Cal virgem dolomítica		93,5					
	FRX	89,7	90,9	2,2	5,5	0,36	
		89,6					4,103
		96,2					
	ABNT	96,2	96,2	0,0	0,0	0,04	Rejeita-se $H_0$
	96,2						

Fonte: elaborado pelos autores

A partir das análises químicas das amostras: calcário calcítico, calcário dolomítico, cal hidratada calcítica, cal hidratada dolomítica, cal virgem calcítica e cal virgem dolomítica (**Tabelas 3 e 4**), realizadas por meio da técnica de fluorescência de raios X (FRX) e conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003b), pode-se concluir que:

- a análise por FRX possibilitou as determinações de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), necessários para os cálculos dos parâmetros para verificação da qualidade da cal, conforme a norma ABNT NBR 6473:2003;
- a análise por FRX possibilitou a identificação de possíveis contaminantes, sem aumento expressivo de tempo, tais como: de anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), anidrido silícico (SiO<sub>2</sub>), óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), óxido de cromo (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de estrôncio (SrO), óxido de zinco (ZnO), óxido de manganês (Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>);
- na comparação do resíduo insolúvel (SiO<sub>2</sub> + RI), pelas duas técnicas, verificou-se que o resíduo insolúvel é composto quase totalmente de SiO<sub>2</sub>, pois os valores na maioria das análises foram próximos. Assim, os resultados obtidos pela FRX podem ser considerados como um índice para uma estimativa dos resultados obtidos pela norma;
- na comparação dos sesquióxidos (R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), pelas duas técnicas, verificou-se que R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> determinado pela FRX é menor em comparação aos resultados determinados por gravimetria. Esta diferença pode estar relacionada às características mineralógicas e/ou outros elementos que incorporaram no resíduo chamado de R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pois a determinação por FRX considerou a somatória de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Assim, os resultados obtidos pela FRX podem ser considerados como um indicador dos resultados obtidos pela norma;
- a explicação para a diferença superior nos resultados de SO<sub>3</sub> na FRX quando comparados pela via úmida (ABNT) é que a FRX determina enxofre em sua forma total (S e outras formas), enquanto a ABNT NBR 6473:2003 determina-se o SO<sub>3</sub> apenas na forma de sulfato.

No tratamento estatístico dos resultados de óxidos não hidratados (CaO+MgO), na base do material original e, de óxidos totais (CaO+MgO), na base de não voláteis (**Tabelas 7 e 8**), verificou-se que esses dois óxidos, determinados por meio das duas metodologias, possuem incertezas expandidas menores, quando são analisados pela norma ABNT NBR 6473:2003.

Os teores de CaO e MgO das cales hidratadas foram considerados semelhantes após a avaliação do teste de hipótese pelas duas metodologias (**Tabelas 5 e 6**).

Embora os resultados das amostras de cales virgens e calcário pelas duas metodologias indiquem, estatisticamente, que as médias apresentam uma diferença significativa, na avaliação dos resultados dos óxidos não hidratados (CaO+MgO) na base do material original e dos óxidos totais (CaO+MgO) na base de não voláteis (**Tabelas 7 e 8**), as cales hidratadas e o calcário dolomítico foram considerados semelhantes pelas duas metodologias.

## 4 Conclusões

Conclui-se que a metodologia por fluorescência de raios X (FRX) é um método alternativo que pode ser utilizado no controle de qualidade da cal e possibilita: a redução de tempo de análise, redução de técnicas analíticas, redução de equipamentos calibrados e a eliminação de produtos químicos. Cabe ressaltar que a metodologia utilizada pela NBR 6473 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b) é a adotada como método arbitrário devido a sua maior precisão e seletividade, e que o método por fluorescência poderia ser incorporado à referida norma como método alternativo, em futura revisão da norma.

## 5 Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C114 – 18**: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement. West Conshohocken: ASTM International, 2018. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14656**: Cimento Portland e matérias-primas – Análise química por espectrometria de raios X – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6453**: Cal virgem para construção civil – Requisitos: Rio de Janeiro: ABNT, 2003a. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada – Análise química. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2003c. 4 p.

BUHRKE, V. E.; JENKINS, R.; SMITH, D. K. **A Practical Guide for the Preparation of Specimens for X-Ray Fluorescence and X-Ray Diffraction Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 333 p.

CHOTOLI, F. F.; FONSECA, E. F. L.; QUARCIONI, V. A. Validação da robustez de determinação de perda ao fogo em cal hidratada. In: ENQUALAB – CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA, 2013, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Remesp, 2013.

CLAISSE. **Pérola de vidro e soluções para fusão em borato para usuário de Claisse Fluxers**. Rio de Janeiro; Segunda Editora, 2000.

EURACHEM. **Guia EURACHEM / CITAC. QUAM**: Determinando a Incerteza na Medição Analítica. 2 ed. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Metrologia, 2002. 168 p. (versão brasileira). Disponível em: <http://www.quimlab.com.br/PDF-art/Guia%20Eurachem%20em%20Portugu%EAAs.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2020.

GUIMARÃES, J. E. P. A Cal – Fundamentos e aplicações na Engenharia civil. São Paulo: Pini, 1997. 285 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/FDIS 29581–2:2010**: Cement – Test Methods – Part 2: Chemical analysis by X-ray fluorescence. Geneve: ISO, 2010.

JORNADA, D. H.; PIZZOLATO, M. Sistemática para avaliação da robustez de métodos de ensaio através de projetos de experimentos. In: ENQUALAB – CONGRESSO DA QUALIDADE EM METROLOGIA, 2007, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Remesp, 2007. 6 p.

PANALYTICAL LTD. MINIPAL. **User's Guide**.. 3 ed. Netherlands: Panalytical, Dec., 2009.



## Artigos técnicos

Equipamentos de proteção individual: o uso da norma ISO 11393-2: 1999 para ensaio em protetores de perna para uso de motosserrista.

*Personal protection equipment: the usage of ISO 11393-2: 1999 standard in tests of leg protectors for chainsaw users.*

Nicole Aparecida Amorim de Oliveira<sup>a</sup>, Sandro Gonçalves de Andrade<sup>b</sup>, Felipe Cintra Clementino<sup>a</sup>, David Henrique Zago<sup>a</sup>, Pedro Yuri Kovatch<sup>a</sup>, Fernando Soares de Lima<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

<sup>b</sup> Laboratório de Calçados e Produtos de Proteção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

\*E-mail: nicoleao@ipt.br

Palavras-chave:  
motosserra; EPI; ISO 11393; proteção, pernas.

Keywords:  
chainsaw; PPE; ISO 11393; protection; leg.

### Resumo

A adoção de normas técnicas no intuito de regulamentar os Equipamentos de Proteção Individual no Brasil, além de tentar fornecer condições de trabalho mais seguras, tem por consequência a diminuição do valor gasto com benefícios acidentários e aposentadorias especiais. Recentemente, a Secretaria Especial de Previdência e Trabalho (SESPREVT) adotou diversas normas com vistas à proteção do trabalhador que utiliza motosserras no que tange a proteção de pernas, pés, mãos e tronco. O IPT se mostrou mais uma vez pioneiro na adequação do laboratório e capacitação do corpo técnico às normas adotadas, mantendo-se até hoje como o único laboratório no Brasil que realiza ensaios para Equipamentos de Proteção Individual para essa finalidade. Tendo em vista a pouca divulgação do conteúdo sobre as normas adotadas e a necessidade de divulgação desse conhecimento, este artigo visa explanar a norma ISO 11393-2:1999, norma de proteção para protetores de perna para uso de motosserrista.

## Abstract

*The adoption of technical standards for regulating Personal Protective Equipment in Brazil, in addition for trying to provide safer working conditions, presents as an objective to decrease the amount spent on accidental benefits and special pensions. Recently, the Special Secretariat of Social Security and Labor (SESPREVT) has adopted several standards to protect workers who use chainsaws regarding the protection of legs, feet, hands and trunk. IPT has, once again, pioneered the adequacy of the laboratory and the training of its technical staff to adopt updated standards and, thus, being up to this day the only laboratory in Brazil which performs Personal Protective Equipment testing for human safety. Given the poor disclosure of the content on the adopted standards and the need to disseminate this knowledge, this article aims at explaining the ISO 11393-2: 1999 standard for chainsaw leg guards.*

## 1 Introdução

Segundo a legislação trabalhista brasileira, compete ao empregador a função de promover ao operário o ambiente seguro para execução de suas atividades, por meio do cumprimento das disposições legais e regulamentares sobre segurança e medicina do trabalho, elaboração de ordens de serviço, e conscientização do trabalhador sobre segurança e saúde na execução de suas atividades. O empregador deve informar ao trabalhador sobre os riscos inerentes da função, fornecer medidas de prevenção destes riscos além de equipamentos de proteção certificados pela SESPREVT, ficando a cargo da empresa o treinamento do empregado na função, no uso correto das medidas de segurança adotadas e no uso adequado dos equipamentos de proteção fornecidos. Em contrapartida, o trabalhador deve adotar as medidas propostas pelo empregador e fazer uso dos equipamentos de proteção fornecidos.

Tendo em vista estas deliberações, a SESPREVT constantemente amplia a sua gama de normatizações adotadas, tendo como objetivo certificar novos tipos de equipamentos de proteção individuais - EPI's. Uma das normas recentemente adotadas compreende os protetores de perna para uso de operadores de motosserra. Este artigo tem por objetivo analisar a norma adotada para os EPI's utilizados no setor siveicultor para uso de motosserras.

## 2 Desenvolvimento

Segundo Valente (2019), atualmente é registrado no país uma morte a cada 3 h 40 min devido à algum tipo de acidente de trabalho. A Escola Nacional de Inspeção do Trabalho (ENIT) registrou que entre 2012 e 2017 uma média de 710 mil acidentes do trabalho ao ano; dos quais 2,8 mil resultaram em morte, 15 mil em sequelas permanentes e mais de 7 milhões de dias de trabalho perdidos anualmente (BRASIL, 2017). Esses acidentes geraram despesas anuais de aproximadamente R\$ 11 bilhões para a Previdência Social, não levando em consideração os milhares de acidentes não notificados e os eventos envolvendo trabalhadores autônomos, informais, servidores públicos, militares e empregados domésticos. O Informe da Previdência Social de outubro 2001, registrou em 2000 o custo de 23,6 bilhões ao Brasil, destes 5,9 bilhões foram gastos com benefícios acidentários, aposentadorias especiais e reabilitação profissional; os outros 17,7 bilhões referem-se à assistência à saúde do acidentado, indenizações, novo treinamento, reinserção no mercado de trabalho e horas de trabalho perdidas. É possível verificar através desses dados que o custo acidentário vem diminuindo ao longo dos anos, isso possivelmente aconteceu devido ao incremento da fiscalização do trabalho e as exaustivas campanhas de prevenção que aos poucos estão se disseminando nos ambientes de trabalho. No entanto, esses índices ainda são altos e afetam, consideravelmente a competitividade das empresas, uma vez que, o custo com a mão de obra é elevado, o que implica no aumento dos custos dos produtos gerados. Em 2000, 83,6 % dos acidentes de trabalho registrados corresponderam a acidentes típicos, decorrentes do exercício da função, provocando lesão corporal, perda ou redução da capacidade de trabalho. Um ponto a ser destacado é a localização das lesões no mesmo ano, que segundo o anuário da Previdência Social, apresentaram maior incidência no punho e mão, sendo 32,4 % dos acidentes registrados.

Dos dados levantados, verificou-se também que grande parte desses acidentes é gerada por máquinas obsoletas. A utilização dessas máquinas está diretamente ligada à incidência de acidentes graves ou incapacitantes que poderiam ser evitados ou prevenidos com a reforma destes equipamentos e pelo uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletivos (EPC).

Em 2013, por meio da portaria nº407, foram adotadas normas de ensaio para calçados e protetores de perna para uso de operadores de motosserra. Em 2014, a portaria nº 427 de 27 de maio, incluiu a norma de ensaio em luvas e em novembro deste mesmo ano, a portaria nº 452, que veio atualizar a portaria 407, inseriu norma técnica para protetores de tronco para atividades com uso de motosserra (BRASIL, 2013; 2014a; 2014b). As normas regulamentadoras foram adotadas como forma de monitorar e regulamentar a qualidade dos EPI's oferecidos ao operador de motosserras. A **Tabela 1** indica o uso de máquinas obsoletas e/ ou inseguras e as relaciona com a área industrial na qual são utilizadas e suas importâncias como causadoras de acidentes graves. Segundo o Prof. René Mendes, nos registros do Informe da Previdência Social, as máquinas e equipamentos obsoletos e inseguros são responsáveis por cerca de 25 % dos acidentes do trabalho graves e incapacitantes registrados no país. Entre essas máquinas, destacam as indicadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1 – Acidentes de trabalho causados por máquinas no Brasil**

Máquina ou equipamento	Utilização setorial predominante	Importância como causador de acidentes graves e incapacitantes
1. Prensas: máquinas nas quais o material (placa ou chapa) é trabalhado sob operações de conformação ou corte, que se sucedem entre a parte superior ou inferior da ferramenta	Metalurgia básica; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias.	Responsáveis por 31,8 % de todos os acidentes graves investigados pelo INSS-SP; 15 % de todos os acidentes do trabalho causados por máquinas; 42 % dos casos de esmagamento de dedos ou mão.
2. Serras circulares : máquinas de trabalhar madeiras.	Construção; fabricação de artigos de mobiliário; comércio atacadista de madeira, etc.	Responsáveis por 15 % dos acidentes graves investigados pelo INSS-SP; Serras circulares: 15 % de todos os acidentes do trabalho causados por máquinas e 16 % dos casos de amputação de dedos.
3. Tupias: confecção de molduras. Desempenadeiras: ajustar ou endireitar a peça de madeira bruta.	Construção civil; fabricação de artigos de mobiliário; fabricação de produtos de madeira.	As máquinas de trabalhar madeiras foram responsáveis por 15 % de 1.000 acidentes graves investigados pelo INSS-SP; as desempenadeiras são classificadas entre as mais perigosas.
4. Injetoras de plástico: utilizada para fabricação descontínua de produtos moldados, pela injeção de material plastificado no molde, que contém uma ou mais cavidades.	Fabricação de produtos de plástico - distribuição nacional, em todas as áreas com indústrias, principalmente pequenas e médias.	Em 1992, 39 % dos casos de acidentes graves na indústria plástica foram com máquinas injetoras de plástico.
5. Guilhotinas: máquinas ou ferramentas de corte, principalmente de chapas ou lâminas de metal.	Metalurgia básica; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias.	Responsáveis por: 2,6 % de todos os acidentes graves causados por máquinas; 4,5 % dos casos de amputações de dedos.
6. Calandras e cilindros: máquinas utilizadas com o propósito de atingir a espessura desejada para a sequência do processo.	Fabricação de produtos de padaria, confeitaria e pastelaria; lavanderias e tinturarias.	Responsáveis por: 3,4 % de todos os acidentes com máquinas; 6,6 % de todos os acidentes graves, causados por máquinas; 16,1 % de todos os esmagamentos de dedos, causados por máquinas.
7. Motosserras.	Silvicultura, exploração florestal e serviços relacionados com estas atividades; fabricação de produtos de madeira.	Acidentes são atingidos mãos e braços; as pernas; os pés, cabeça e face e tronco.
8. Máquinas de descortçar e desfibrar o sisal.	Atividades de serviços relacionados com a agricultura; beneficiamento de outras fibras têxteis naturais.	Os acidentes com máquinas "paraibas" constituem um dos exemplos mais conhecidos e trágicos, associados com mutilações graves, que incluem amputação de mãos e antebraços.

Fonte: Brasil (2001)

Em Minas Gerais, foi desenvolvido um estudo envolvendo trabalhadores com uso de motosserras onde se constatou que 40 % dos acidentes acontecem no momento da derrubada (ASSUNÇÃO; CAMARA, 2011). Haselbruger e Greffenhagen (1989) verificaram que aproximadamente 80 % dos acidentes com operadores de motosserra têm origem em falhas humanas e 20 % são provenientes de causas mecânicas. Em estudo realizado por Sant'Anna e Malinovski (2002), detectou-se que 72,5 % dos acidentes com esse equipamento acontecem por falhas de atenção dos operadores. Tendo em vista estas considerações, é possível afirmar que o uso de EPI's adequados ao corte por motosserra e o fornecimento de treinamento correto para operador poderiam reduzir significativamente os índices de acidentes com lesões graves. A **Tabela 2** indica a área de incidência dos acidentes decorrente do uso de motosserra.

**Tabela 2 – Área de incidência dos acidentes no corte por motosserra**

Área atingida	Pernas	Pés	Tronco	Cabeça	Mãos	Braços
%	37	15	15	12	11	10

Fonte: : Fenner (1991)

Hoje no Brasil, é considerado EPI para uso de operador de motosserra todo equipamento que tenha sido submetido a testes conforme normalização adotada pela SESP/REVT, sido aprovado neles e possua certificado de aprovação (CA) válido. Uma das normas adotadas para regulamentação de EPI's para este setor é a ISO 11393, que é subdividida em seis partes, sendo a parte 2 alvo desta análise.

### 3 Norma ISO 11393-2:1999

A norma ISO 11393-2:1999 é subdividida em seis partes. A primeira parte trata do procedimento de ensaios e equipamentos utilizados, a parte 3 trata dos princípios para calçados motosserristas, a parte 4 dos métodos para luvas motosserristas, a parte 5 sobre perneiras para motosserristas e a parte 6 para protetores de tronco.

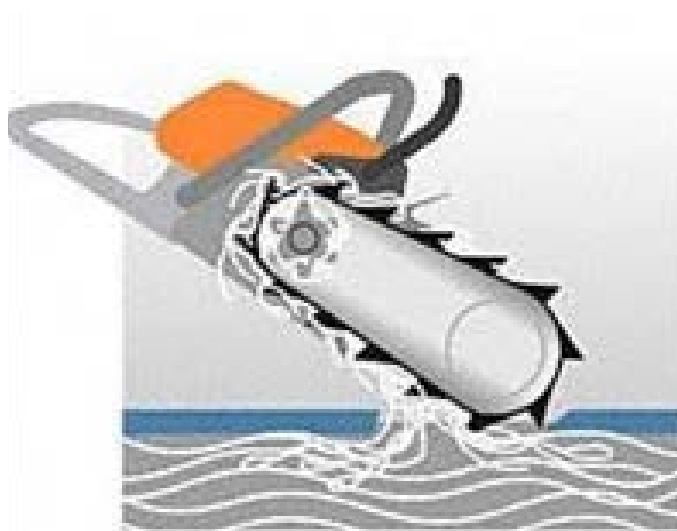
A parte 2 da ISO 11393-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1999, tradução nossa), objeto deste estudo, estabelece parâmetros de ensaio para calças e protetores de perna utilizados no corte por motosserra. Diferentes princípios funcionais podem ser aplicados de forma a propiciar a proteção são eles:

- **o escorregamento da corrente de corte:** em contato com o EPI, a corrente escorrega e não corta o material;
- **obstrução da corrente de corte:** as fibras do EPI são atraídas pela corrente de corte, de modo a bloquear o movimento rotacional;
- **frenagem da corrente de corte:** fibras de alta resistência ao corte absorvem a energia rotacional, reduzindo assim a velocidade da motosserra.

A ocorrência de um dos princípios não impede os demais.

A **Figura 1** exemplifica o ensaio de corte tendo como princípio um material capaz de obstruir a corrente de corte da motosserra.

**Figura 1 – Ensaio de corte realizado em EPI utilizando como princípio a obstrução da corrente de corte**



Fonte: Engenatex (2015)

### 3.1 Modelagens

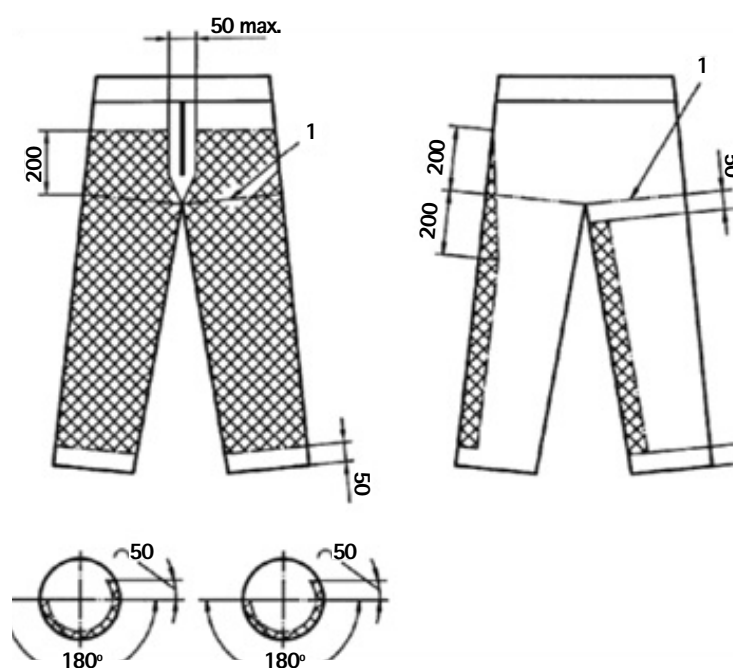
Além de especificar os ensaios propriamente ditos, a norma impõe regras com relação à construção da vestimenta, aos tamanhos e às informações que a embalagem e a vestimenta devem trazer.

São especificadas três modelagens para as vestimentas, de acordo com a área intencional de proteção, conforme segue as **Figuras 2, 3 e 4** que exemplificam dimensões das modelagens A, B e C, respectivamente.

#### Modelagem A

A área de proteção especificada cobre totalmente a parte dianteira da peça a partir de, no máximo, 50 mm da extremidade inferior das pernas até, no mínimo, 200 mm acima da virilha. A cobertura de proteção da área traseira da perna esquerda especificada (lado exterior da perna, conforme **figura 2**) corresponde a uma faixa contínua do material de proteção, com 50 mm de largura (valor mínimo), a partir dos mesmos 50 mm da extremidade inferior das pernas até 200 mm abaixo da virilha e, em seguida, reduzindo-se para zero a uma altura de 200 mm acima da virilha. A área de proteção da porção traseira da perna direita especificada (lado interior da perna, conforme **figura 2**) corresponde a uma faixa contínua do material de proteção, com 50 mm de largura (valor mínimo), a partir dos 50 mm da parte inferior da perna até 50 mm abaixo da virilha.

Figura 2 – Modelo de calça conforme a modelagem A

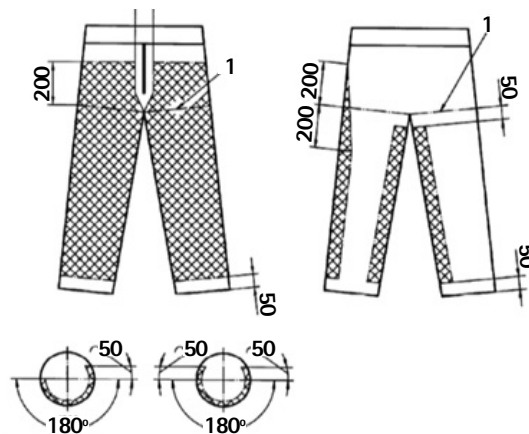


Fonte: International Organization for Standardization (1999)

## Modelagem B

Possui as mesmas especificações de tamanho descritas na Modelagem A, com o acréscimo de uma faixa contínua com largura mínima de 50 mm do material de proteção na parte traseira da perna esquerda (parte interior da perna, conforme a **Figura 3**) a partir dos 50 mm da parte inferior da perna até 50 mm abaixo da virilha.

Figura 3 – Modelo de calça conforme a modelagem B

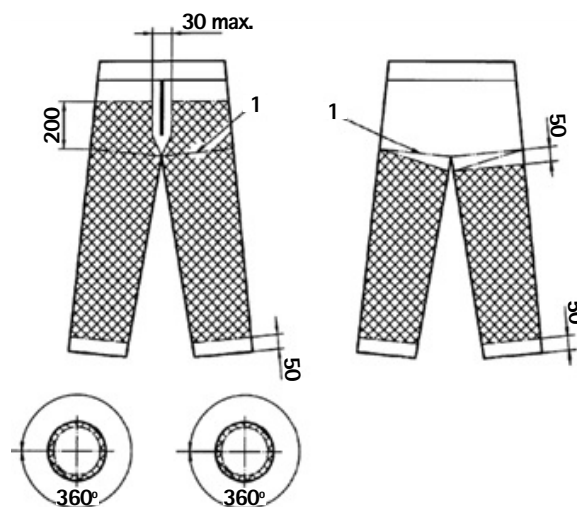


Fonte: International Organization for Standardization (1999)

## Modelagem C

A porção dianteira possui a mesma especificação da porção dianteira da Modelagem A. A área de proteção traseira especificada cobre totalmente a parte traseira a partir, no máximo, de 50 mm acima da extremidade inferior das pernas continua até a virilha.

Figura 4 – Modelo de calça conforme a modelagem C



Fonte: International Organization for Standardization (1999)

### 3.2 Requisitos ergonômicos

Devem ainda ser considerados alguns requisitos de construção do EPI, são eles:

- a) o EPI não deve trazer em sua modelagem partes soltas que possam prender em máquinas;
- b) a construção na região dos joelhos deve permitir sua flexão;
- c) entre a virilha e a braguilha uma zona de 30mm sem proteção é permitida, no entanto é aconselhável que esta zona seja a menor possível;
- d) a braguilha deve ter largura mínima de 3 cm;
- e) caso o EPI seja uma perneira, além de atender a todas as exigências citadas, ainda deve possuir um sistema que a fixe firmemente ao usuário.

### 3.3 Procedimentos de pré-tratamento e alteração dimensional

Além dos desenhos, também é especificado o pré-tratamento disponível para os EPI's. Para isso é utilizada a norma ISO 6330:1984 que trata sobre os procedimentos domésticos de lavagem e secagem para materiais têxteis. São solicitadas lavagens de acordo com o procedimento 2A da ISO 6330:1984 em tambor, com temperatura máxima de 70 °C, conforme procedimento E da norma ISO 6330:1984 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1984). A **Tabela 3** informa as condições de lavagem pelo método 2A da ISO 6330:1984.

**Tabela 3 – Parâmetros do procedimento 2A**

Procedimento de lavagem	Método 2A
Massa seca	2± 0,1 Kg
Temperatura de lavagem	60 +/- 3°C
Frequência de agitação	Normal 2,983 ±0,033 s <sup>-1</sup>
Tempo de lavagem	15 min
Nível da solução para lavagem	10cm
Número de enxágues	4 ciclos
Tempo de enxágue	3 min por ciclo
Nível de água no enxágue	13 cm
Número de centrifugação	1 ciclo
Tempo de centrifugação	5 min

Fonte: adaptado pelos autores com dados da ISO 6330 da International Organization for Standardization (1984)

São previstas ainda exceções ao procedimento de lavagem solicitado para os seguintes casos:

- a) quando a vestimenta deve ser lavada a seco, a norma a ser utilizada é a ISO 3175-2:1998 que trata sobre cuidados profissionais com materiais têxteis como limpeza a seco e a úmido. utilizando como surfactante o percloroetileno;
- b) quando for possível lavagem comum e lavagem a seco, ambos pré-tratamentos devem ser feitos e os ensaios de corte deverão ser realizados tanto no EPI que sofreu lavagem a seco, quanto no EPI que sofreu lavagem comum; e
- c) quando a secagem em tambor não for indicada, o EPI deverá ser lavado por um dos procedimentos citados e a secagem deverá ser em varal conforme o procedimento A da ISO 6330:1984.

Após a lavagem o EPI deverá ser remodelado com as mãos, sem a utilização de fonte de calor.

No entanto, tendo em vista os EPIs fabricados no Brasil e a incompatibilidade das configurações dos mesmos aos processos de lavagem solicitados pela norma e, ponderando que a parte 5 - da ISO 11393 datada de 2010 prevê lavagem conforme instrução do fabricante, foram adotadas pelo MTE, como pré-tratamento, as indicações de lavagem fornecidas pelos fabricantes (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2010).

A alteração dimensional deverá ser realizada conforme a ISO 3175-1 e para sua aferição deverá ser distribuída no EPI, de forma uniforme, uma força de 20 N no sentido do comprimento, e o valor da alteração obtida não poderá exceder 6% (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998).

### 3.4 Ensaio de corte por motosserra

A indicação correta do procedimento de lavagem é de extrema importância para a realização dos ensaios, pois tanto o procedimento de lavagem, quanto a modelagem da vestimenta influenciará diretamente no procedimento de execução dos ensaios de corte. Além desses parâmetros, a norma ainda prevê três velocidades de corte, sendo que cada velocidade implica em uma classificação do EPI. Essas velocidades têm por objetivo simular as diferentes potências de motosserras encontradas no mercado e atrelar o equipamento de proteção a um grau de proteção, sendo a classe 1 a menor graduação de proteção e a classificação 3 o maior grau de proteção. A relação velocidade de corte e classificação do EPI são apontadas na **Tabela 4**.

**Tabela 4 – Velocidades de corte versus classificação**

VELOCIDADE	CLASSIFICAÇÃO
20 m/s	Classe 1
24 m/s	Classe 2
28 m/s	Classe 3

**Fonte: elaborado pelos autores**

Para cada configuração adotada (modelagem, velocidade e pré-tratamento), é especificada uma quantidade de cortes que devem ser realizados. Para a aprovação do EPI, os cortes realizados não devem ultrapassar a camada mais interna do objeto de estudo. Caso o corte transcenda a camada mais interna, o material é considerado reprovado.

Para as modelagens A e B existem três opções:

- a) quando o EPI for submetido apenas ao processo de lavagem comum, são ensaiados quatro pares dos protetores de perna;
- b) quando o EPI for submetido apenas a lavagem a seco, são ensaiados quatro pares completos dos protetores de perna; e
- c) quando o EPI puder ser submetido tanto a lavagem comum quanto a lavagem a seco, são ensaiados oito pares completos dos protetores de perna.

Para a modelagem C também existem três opções:

- a) quando o EPI for submetido apenas ao processo de lavagem comum, são ensaiados cinco pares completos dos protetores de perna;
- b) quando o EPI for submetido apenas a lavagem a seco, são ensaiados cinco pares completos dos protetores de perna; e

c) quando o EPI puder ser submetido tanto a lavagem a seco quanto a lavagem comum, são ensaiados dez pares completos de protetores de perna.

Para cada uma das situações citadas anteriormente, os cortes devem ser realizados a uma distância mínima de 250 mm e máxima de 500 mm em relação a braguilha e com angulação de 45° em relação a linha horizontal que contém o corpo de prova, conforme Figura 6. Para peças conforme as modelagens A e B, deverão ser realizados seis cortes frontais e para peças conforme a modelagem C deverão ser realizados oito cortes, sendo quatro frontais e quatro posteriores.

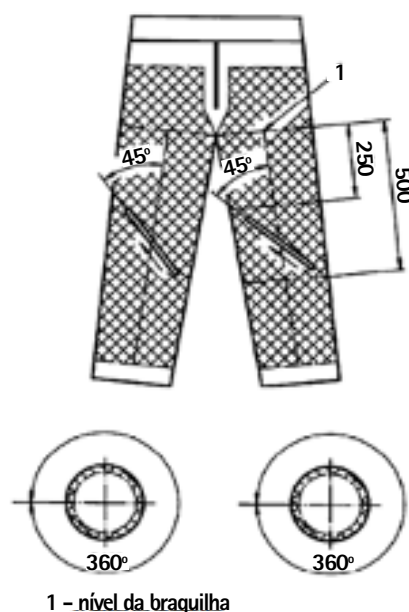
A Figura 5 mostra a condição antes e depois de a perna de uma calça ser submetida ao ensaio de corte por motosserra, e exemplifica a obstrução da corrente de corte pelas fibras do EPI.

Figura 5 – Ensaio de corte por motosserra sendo realizado



Fonte: Ricotest (2015)

Figura 6 – Posições do corte do ensaio de motosserra



Fonte: ISO 11393 da International Organization for Standardization (1999)

### 3.5 Protetores de perna para uso de operador de motosserra no Brasil

Em pesquisa realizada junto a SESPREV (2019), foi possível verificar que existem no Brasil cerca de seis empresas produtoras de EPI's para proteção das pernas para o uso de motosserra que possuem certificados de aprovação válidos. Essas empresas oferecem juntas ao mercado 11 modelos de protetores de perna. Dos EPI's disponíveis, cinco são da modelagem tipo C e seis da modelagem tipo A. Além disso, foi constatado que dos cinco EPI's modelo tipo C, quatro foram testados a 24 m/s e um a 20 m/s. Dos quatro EPI's modelos tipo A, três foram testados a 20 m/s e um foi testado a 24 m/s. Essas informações são apresentadas na **Tabela 5**.

**Tabela 5 – Divisão dos protetores de perna para uso de operador de motosserra no Brasil em novembro/2019**

Número de CA's para protetores de perna para uso de operador de motosserra	Quantidade de CA's válidos por modelo	Número de CA's válidos por velocidade de teste
11 (atual)	6 modelos A	4 EPI's a 20 m/s
		2 EPI a 24 m/s
	5 modelos C	1 EPI a 20 m/s
		4 EPI's a 24 m/s

Fonte: elaborado pelos autores

Tendo os valores da **Tabela 5** em vista, é possível verificar a necessidade no Brasil de EPI certificado para uso de operador de motosserra que tenha modelagem tipo B e, também, que tenha sido aprovado nos ensaios a 28 m/s.

Outro fato que se destaca é que, entre os EPI's consultados, todos possuem como princípio de funcionamento a obstrução da correia de corte pelas fibras do EPI o que bloqueia o movimento rotacional da motosserra. Todos os EPI's foram desenvolvidos utilizando camadas de fibras de polietileno entrelaçadas. Foi possível ainda verificar, por meio de consulta ao site da SESPREV e dos fabricantes, que dos 11 EPI's disponíveis, três são constituídos de 7 camadas de fibras entrelaçadas, seis são constituídos de oito camadas de fibras entrelaçadas, um é constituído de dez camadas de fibras entrelaçadas e em um não foi possível verificar a quantidade de camadas. Dos três EPI's que possuem sete camadas, dois foram testados a 24 m/s e um a 20 m/s; dos seis EPI's que possuem oito camadas, quatro foram testados a 20 m/s e quatro a 24 m/s; o EPI com dez camadas foi testado a 20 m/s; e o EPI com quantidade indefinida de camadas foi testado a 20 m/s. A **Tabela 6** relaciona o número de EPI's certificados com o número de camadas que possuem e com a velocidade de corte utilizada no ensaio.

**Tabela 6 – Relação do número de EPI's pelo número de camadas e velocidade de ensaio**

Velocidade de ensaio	Nº de EPI's testados com sete camadas de fibras	Nº de EPI's testados com oito camadas de fibras	Nº de EPI's testados com dez camadas de fibras	Nº de EPI's testados com quantidade indefinida de camadas de fibras
20 m/s	1	3	1	1
24 m/s	1	3	0	1

Fonte: elaborado pelos autores

Além disso, dos cinco EPI's modelagem tipo C, quatro são constituídos de oito camadas de fibras e um de sete camadas de fibras. Dos seis EPI's modelos tipo A, dois possuem oito camadas, dois possuem sete camadas, um possui dez camadas e de um não foi possível verificar a quantidade de camadas que possui. Como mostrado na **Tabela 7**.

Não existe na norma, uma especificação dos materiais a serem utilizados nem da quantidade de camadas que devem ser aplicadas. As informações citadas sobre as modelagens utilizadas refletem apenas a forma encontrada pelos fabricantes nacionais de viabilizar a construção do EPI.

**Tabela 7 – Relação do tipo de modelagem e quantidade de camadas utilizada na confecção dos EPI's**

Tipo de modelagem	Nº de EPI's testados com sete camadas de fibras	Nº de EPI's testados com oito camadas de fibras	Nº de EPI's testados com dez camadas de fibras	Nº de EPI's testados com quantidade indefinida de camadas de fibras
A	2	2	1	1
C	1	4	0	0

Fonte: elaborado pelos autores

Nota-se então que, apesar da quantidade de camadas atender aos requisitos ergonômicos especificados pela norma, esses EPI's tornam-se relativamente pesados e, levando em consideração o clima nacional, o volume de chuvas e o calor ambiente, o uso dos mesmos provavelmente acarreta um *stress* térmico e mecânico muito acentuado ao usuário. O desenvolvimento de novos materiais e novas construções para este tipo de EPI, de forma a torná-lo mais leve, pode dar um incremento substancial na aceitação do EPI pelos usuários.

## 4 Considerações Finais

O trabalho com motosserras exige indiscutivelmente o uso de equipamentos que visem proteger o usuário. A normalização adotada pela SESPREV para a regularização dos EPI's para esta finalidade é bem simples, concisa e de fácil entendimento. Apesar disso, foi verificado que é ainda uma área pouco explorada pelos fabricantes, sendo necessária a realização de uma busca por novos materiais mais tecnológicos que se adequem melhor ao clima do Brasil. A confecção de EPI's mais leves, que propiciem um maior conforto térmico aos usuários, facilita a adaptação do trabalhador ao EPI e a sua aceitação dar-se-á com uma facilidade também maior. Os acidentes não deixarão de existir somente pelo uso dos EPI's. Existe a necessidade do desenvolvimento e realização de uma adaptação além da conscientização da equipe operacional; no entanto a utilização do EPI reduz substancialmente o número de acidentes com vítimas.

## 5 Referências

ASSUNÇÃO, A. A.; CAMARA, G. R. A precarização do trabalho e a produção de acidentes na colheita de árvores. **Caderno CRH**, Salvador, v. 24, n. 62, p. 385-396, maio/ago. 2011.

BRASIL. Escola Nacional de Inspeção do Trabalho. 27 de julho - Dia Nacional de Prevenção de Acidentes do Trabalho. **Notícias da Escola**, 27 jul. 2017. Disponível em <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/arquivo-de-noticias/166-27-de-julho-dia-nacional-de-prevencao-de-acidentes-do-trabalho>. Acesso em: 2 ago. 2019.

BRASIL. Ministério da Previdência e Assistência Social. **Informe da previdência Social: segurança do trabalho no Brasil**. Brasília: MP, 2001.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria nº 427, de 27 de maio 2014. Altera a Portaria SIT nº 121/2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 maio 2014a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria nº 452, de 20 de novembro de 2014. Estabelece as normas técnicas de ensaios e os requisitos obrigatórios aplicáveis aos Equipamentos de Proteção Individual - EPI enquadrados no Anexo I da NR-6 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 dez. 2014b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria n. 407, de 14 de novembro de 2013. **Diário Oficial da União, Brasília**, 18 nov. 2013.

ENGETEX. **Imagem de um sistema de obstrução da corrente da motosserra**. Disponível em: <http://www.engetex.com>. Acesso em: 1 ago. 2015.

FENNER, P. T. **Estudo descritivo dos acidentes de trabalho em uma empresa florestal**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba 1991.

HASELGRUBER, F.; GRIEFFENHAGEN, K. **Motosserras**: mecânica e uso. Porto Alegre: Metrópole, 1989.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11393**: Protective clothing for users of hand held chain saws- Part 2. Geneve: ISO, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11393**: Protective clothing for users of hand held chain saws- Part 5. Geneve: ISO, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3175**: Textiles - Professional care, drycleaning and wetcleaning of fabrics and garments - Part 1: Assessment of performance after cleaning and finishing. Geneve: ISO, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6330**: Textiles - Domestic washing and drying procedures for texting. Geneve: ISO, 1984.

RICOTEST. **EN 381 - chain saw cut resistance**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4nLihEB1gRA>. Acesso em: 23 set. 2015.

SANT'ANA, C. M.; MALINOVSKI, J. R. Uso da análise multivariada no estudo de fatores humanos em operadores de motosserra, **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 101-107, 2002.

SECRETARIA ESPECIAL DE PREVIDÊNCIA E TRABALHO. **Pesquisa no Sistema CAEPI**. Disponível em: <http://www.mte.gov.br>. Acesso em: 06 nov. 2019.

VALENTE, J. A cada 3 horas e 40 minutos uma pessoa morre por acidente de trabalho **Agência Brasil**, 28 abr. 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2019-04/cada-3-horas-e-40-minutos-uma-pessoa-morre-por-acidente-de-trabalho>. Acesso em: 5 dez. 2019.



## *Effect of Particle Geometry and $Nb_2O_5$ Addition in the Sintering of Partially Stabilized Zirconia with $Y_2O_3$*

Catia Fredericci<sup>a\*</sup>, Alexandre M. Jordão<sup>b</sup>, Arnaldo M. Shima Junior<sup>b</sup>, Fernanda C.P. Baraldini<sup>b</sup>, Flávio I. Santana<sup>b</sup>, Juliana I. Affonso<sup>b</sup>, Laércio A. Piva<sup>b</sup>, Liece Rodrigues Junior<sup>b</sup>, Pedro Garcia<sup>b</sup>, Juliana Flor<sup>c</sup>

a Laboratório de Processos Metalúrgicos, 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 IPT, São Paulo-SP, Brasil.

\*E-mail: catiaf@ipt.br

### *Keywords:*

*sintering;  $ZrO_2$ ,  $Nb_2O_5$ ; spray dryer; powders*

### *Abstract*

*Zirconia ( $ZrO_2$ ) has several applications in diverse industrial segments due to its excellent properties, especially regarding resistance to mechanical stress and high-temperature scenarios. However, due to phase transformations that this ceramic material exhibits at various temperatures, the appearance of cracks in the sintered compact during cooling is perceived. Studies have been performed in the way to stabilize zirconia during the sintering process by adding small quantities of other oxides, such as  $Y_2O_3$ ,  $CeO$ ,  $MgO$  and  $Nb_2O_5$ . Some studies show that the use of  $Nb_2O_5$  in the system  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  promotes an increase in its fracture toughness. Additionally, there are several controversies about the effect of the content and the polymorph of  $Nb_2O_5$  on zirconia stabilization. There are several commercial zirconia powders partially stabilized in the form of granules obtained by the spray dryer method which promotes better densification of the green and sintered compacts. This study aims at evaluating the effect of adding 0.8 % and 2.0 % (by weight) of monoclinic  $Nb_2O_5$  in 3Y-TZ-E (Tosoh) on the stabilization of this zirconia and the grinding effect of 3Y-TZ-E granules on the densification and on the sintered compact microstructure. Sintered compacts were characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and Raman spectroscopy. The results indicate that*

the use of 2.0 % (in weight) of  $Nb_2O_5$  implies in the destabilization of tetragonal zirconia and in the formation of  $Zr_6Nb_2O_{17}$ . No significant difference was observed in the densification and in the grain size of the unground TZ-3Y-E with the addition of 0.8 % (in weight) of monoclinic  $Nb_2O_5$ .

## 1 Introduction

Zirconia is one of the most important oxides due to its large diversity of applications, ranging from fuel cells, thermal barrier protection, impact-resistant materials, burner blocks, biomaterials such as hip and dental implants (YOSHIMURA et al., 2007), and so on. The zirconia appears in three polymorphic forms such as monoclinic (m), tetragonal (t) and cubic (c), depending on the temperature: monoclinic  $m-ZrO_2$  up to 1100 °C,  $t-ZrO_2$  up to 2285 °C, and  $c-ZrO_2$  above this temperature (RODDATIS et al., 2002). During cooling, the tetragonal phase becomes the monoclinic followed by large volume variation (3 % to 5 %) which is enough to fracture a sintered compact (YOSHIMURA et al., 2007). Gupta et al. (1977, 1978) reported that it is possible to manufacture dense monolithic zirconia compacts with small grain size ( $\sim 0.3 \mu m$ ) containing approximately 98 % of tetragonal phase with the addition of small portions of  $Y_2O_3$  for metastable phase retention. Other oxides such as CaO, MgO, and rare-earth oxides can be used for zirconia stabilization (BEJUGAMA; PANDEY, 2018). Also according to Gupta et al. (1977), zirconia-based ceramics with metastable phase present high toughness ((6 to 9)  $MNm^{-3/2} = (6 \text{ to } 9) MPa \cdot m^{1/2}$ ), when compared to other ceramics such as alumina (4  $MNm^{-3/2}$ ) and monocrySTALLINE spinel (1.3  $MNm^{-3/2}$ ), for example.

Same as zirconia, niobium pentoxide ( $Nb_2O_5$ ) is also found in several polymorphic forms such as TT and T (low temperatures), M and B (average temperatures) and H (high temperatures). The most common polymorphs are T- $Nb_2O_5$  and H- $Nb_2O_5$ , orthorhombic and monoclinic, respectively. According to Piralek, Pelczarska and Szczygiel (2017), phase H is thermodynamically more stable and can be obtained from any polymorph from heat treatment. These authors studied the niobium pentoxide polymorphic transformations, including the optical grade (CBMM), and reported that at ambient temperature this raw material is composed of phases T, H and M, and after heat treatments above 900 °C the tetragonal phase disappears, and phase H (monoclinic) becomes predominant after cooling. Guha (1969) also reported that two polymorphs were observed in  $Nb_2O_5$ , namely, a low temperature form that turns irreversibly in the form of high temperature at about 850 °C.  $Nb_2O_5$  monoclinic, once formed, becomes stable throughout the process and therefore is the equilibrium phase at all temperatures above the ambient one.

Small partially stabilized zirconia particles, when dispersed in a matrix, can increase its toughness. This is due to monoclinic-tetragonal transformation, causing compressive residual stress, closing the crack tips present in the matrix (CALLISTER, 2016).

Efforts are being dedicated in attempts to increase fracture toughness of  $\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-ZrO}_2$  system. Jin, Gao and Kan (2002), for example, studied the effect on  $t\text{-ZrO}_2$  toughening in mullite ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) and reported that although the addition of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  in  $\text{ZrO}_2$  makes the tetragonal phase more unstable, it resulted in an increase in  $m\text{-ZrO}_2$  phase, and mechanical properties have been considerably improved. Golieskardi, Satgunam and Ragurajan (2014) developed a two-step method of treatment aiming at increasing ceramic density by reducing grain size at the final sintering stage. Increasing density, mechanical properties such as hardness, toughness and attrition resistance have improved considerably. The authors reported that several researchers studied the effect of the addition of  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  as sintering aids in the Y-TZP (yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline) to improve ceramics properties and microstructure control, such as Kimura et al. (1988), Ramesh (2001), Hwang and Chen (1990) and Ran et al. (2007). Golieskardi, Satgunam and Ragurajan (2014) obtained ceramics from the TZP- $\text{Nb}_2\text{O}_5$  system with approximately 97 % densification at 1500 °C with a maximum of 1 % (by weight) of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  and fracture toughness of 8.5 MPam<sup>1/2</sup>. Kim (1990) studied the effect of adding  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  and  $\text{HfO}_2$  on the transformation of  $\text{ZrO}_2$  stabilized with yttria (2Y-TZP and 3Y-TZP). The powders were prepared by the coprecipitation method with  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  ratios of 0.0 %, 0.5 %, 1.0 % and 1.5 % in mol (between 0.0 wt% and 3.0 wt %). The authors have prepared specimens from isostatic pressing with 170 MPa and sintering treatment at 1500 °C for 1 h. The density of the samples was  $\geq 97$  % of the theoretical density. In another work of Kim et al. (1998), the authors had studied the effect of adding 0.0 %, 0.5 %, 1.0 % and 1.5 %  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (in mol) in 3Y-TZP (Tosoh). The  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  brand and polymorph were not disclosed. The authors mention that all samples presented only the  $t\text{-ZrO}_2$  phase and that when more than 1.5 % (mol) of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  was added, it became difficult to obtain pure tetragonal phase, resulting in destabilization of yttria stabilized zirconia.

As a critical topic, authors noted that in many references, polymorphic phases for both zirconia and niobium pentoxide are not specified (LOPES et al., 2015; GUHA, 1969).

Another important topic in ceramic materials processing is that the geometry and particle size distribution influence the pressing and sintering processes. Granulated powders, obtained by spray dryer method, present greater fluidity and, therefore, easiness and homogeneity in filling the mold (SANTANA et al., 2008). Thus, the closer and more compact the raw materials particles are, the greater the compaction of the green compact will be and the better the sinterability of the material, increasing densification, which is critical for applications that demand high mechanical strength.

According to Brito, Medeiros and Lourenço (2007), sintering corresponds to the physical process where compressed powders are subjected to high temperatures (slightly below their melting point) so that they acquire mechanical resistance. In this process, the porosity is decreased as a consequence of the decrease of free surface energy on the particle compact, by reducing the total surface of the system. That results in total or partially dense body.

This work aims at studying the effect of the addition of the monoclinic  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  on the stabilization of TZ-3Y (Tosoh) and at studying the effect of the particles geometry on the microstructure of the sintered compact in the system TZ-3Y- $\text{Nb}_2\text{O}_5$ .

## 2 Experimental Procedure

This section presents the raw materials used, their characterization and the method of preparation of green and sintered compacts.

### 2.1 Materials

The following raw materials were used: TZ-3Y-E from Tosoh Corporation (as received – without grinding), TZ-3Y-E from Tosoh Corporation, ground in a mortar and sieved on a sieve of 270 mesh and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> optical grade of CBMM (**Table 1**), treated to 1000 °C for 3 h, for obtaining only the monoclinic phase. TZ-3Y-E already features binders, facilitating the molding of the green compact. As the Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> presents very coarse-grained aggregates (> 20 μm), making homogenization difficult in zirconia, wet grinding in a planetary mill was required. The milling process was carried out in a Pulverizette 5 Fritsch mill for 2 h, using 20 g of monoclinic Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 mL of isopropyl alcohol and 100 g of zirconia balls of approximately 10.8 mm at 150 rpm, in order to obtain a fine niobium pentoxide powder to promote better homogenization between the two oxides (ZrO<sub>2</sub> + Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

**Table 1 – Characteristics of used powders: TZ-3Y-E and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Raw Material	TZ-3Y-E	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Supplier/Manufacturer	Tosoh	CBMM
Condition	Commercial	Commercial
Category	5.2 % (weight) Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3 % mol)	Optical grade
Density (g/cm <sup>3</sup> )	6.05	4.6

Source: created by authors

## 2.2 Specimens Preparation

The raw materials were mixed according to the ratios of 0.0 % wt, 0.8 % w (0.37 % mol) and 2.0 % wt (0.93 % mol) of monoclinic  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (**Table 2**) in ball mill without any grinding element for 8 h in order to not compromise the granular shape of TZ-3Y-E, generating then samples ZS0.0, ZS0.8, ZS2.0. The ground TZ-3Y-E sample with addition of 0.8 % wt was named ZM0.8, as described in **Table 2**. After that, the mixtures were dried at 100 °C in an oven for 14 h.

**Table 2 – Studied Compositions**

wt%	mol%	Samples
TZ-3Y-E unground + 0.0 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	TZ-3Y-E unground + 0.0 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	ZS0.0
TZ-3Y-E unground + 0.8 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	TZ-3Y-E unground + 0.37 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	ZS0.8
TZ-3Y-E unground + 2.0 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	TZ-3Y-E unground + 0.93 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	ZS2.0
TZ-3Y-E ground + 0.8 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	TZ-3Y-E ground + 0.37 $\text{Nb}_2\text{O}_5$	ZM0.8

Source: created by authors

Specimens in the disk form were prepared in a mold with a diameter of 11.36 mm. Approximately one gram of the compositions (**Table 2**) was pressed uniaxially by 200 MPa in an EMIC machine (model DL 10000). The pressing method was chosen based on Lopes (2009).

The specimens were sintered in a Fortlab oven with the following heating rates: from room temperature to 800 °C at 8 °C/min, from 800 °C to 1200 °C at 5 °C/min and from 1200 °C to 1500 °C at 3 °C/min.

## 2.3 Characterizations

### 2.3.1 X-ray diffraction

Raw materials and sintered samples were characterized by X-ray diffraction using the Shimadzu DRX 6000 equipment,  $K\alpha$ Co radiation, scanning of  $1^\circ$  per minute, to determine crystalline phases.

### 2.3.2 Scanning Electron Microscopy

The scanning electron microscope (SEM) used was the FEG Quanta 3D (with an acceleration voltage of 20 kV) to check the powders' particle sizes and the microstructure of the green and sintered compacts.

The grain size of the sintered compacts was measured from SEM images using the Scandium (Olympus) software. At least 100 grains of three micrographs of each specimen were measured.

### 2.3.3 Raman Spectroscopy

As the  $Nb_2O_5$  content was a maximum of 2 % w (0.93 % mol), it was not possible to identify it by X-ray diffraction. Therefore, Raman spectroscopy was used. Raman is a technique which allows analyzing several specific regions in the sample since the diameter of the laser is approximately  $2 \mu\text{m}$ .

Raman spectra were obtained from the surface of the sample ZS2.0, using Raman Confocal spectrophotometer WiTec alpha 500, containing double monochromator, 600 lines/mm and a CCD detector. The focusing of the laser on the sample and collection scattered radiation at  $180^\circ$  were done by a WiTec metallurgical microscope and objective lens of 100x CF Plan aperture number of 0.55. An excitation line in the visible region was used at 532 nm of Argon laser (WiTec brand, S/N 100-1665-154). The laser power was kept below 20 mW. Each spectrum corresponds to the average of 100 accumulations, acquired with an integration time of 50 s.

### 2.3.4 Green and Sintered Specimens' Density Measurement

Green specimen density ( $\rho$ ) was measured for determining the compaction level. These measurements were performed with a Mitutoyo digital caliper, measuring the diameter and height of each specimen. The volume was calculated according to the expression  $v = \pi r^2 h$ . The samples were weighed and the expression  $\rho = m/v$  was used to calculate the green specimen density. The density ( $\rho$ ) for the densification percentage calculation was theoretical, using the value of  $6.05 \text{ g/cm}^3$  of TZ-3Y-E, provided by the manufacturer and  $4.6 \text{ g/cm}^3$  for monoclinic niobium pentoxide, using the mixture method:  $\rho_{\text{mixture}} = 1/\text{Mass}_{\text{ZrO}_2}/\rho_{\text{ZrO}_2} + 1/\text{Mass}_{\text{Nb}_2\text{O}_5}/\rho_{\text{Nb}_2\text{O}_5}$ . The value used for calculations was  $6.0 \text{ g/cm}^3$  when using 0.8 % wt of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . The values related to the samples with 2 % wt of  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  were not calculated for reasons presented in the results and discussion section.

The sintered specimens were characterized by apparent density using the Archimedes method (**Equation 1**).

$$D_{ap} = (M_s/M_s - M_i) \times \rho_{\text{water}} \quad (1)$$

where  $D_{ap}$  = apparent density,  $m_s$  = dry mass and  $m_i$  = immersed mass. The temperature was  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  and  $\rho_{\text{water}}$  (water density) was considered 0.9986, according to Haynes (2014). Five specimens of each composition were analyzed and the result was expressed as an average values and an standard deviation.

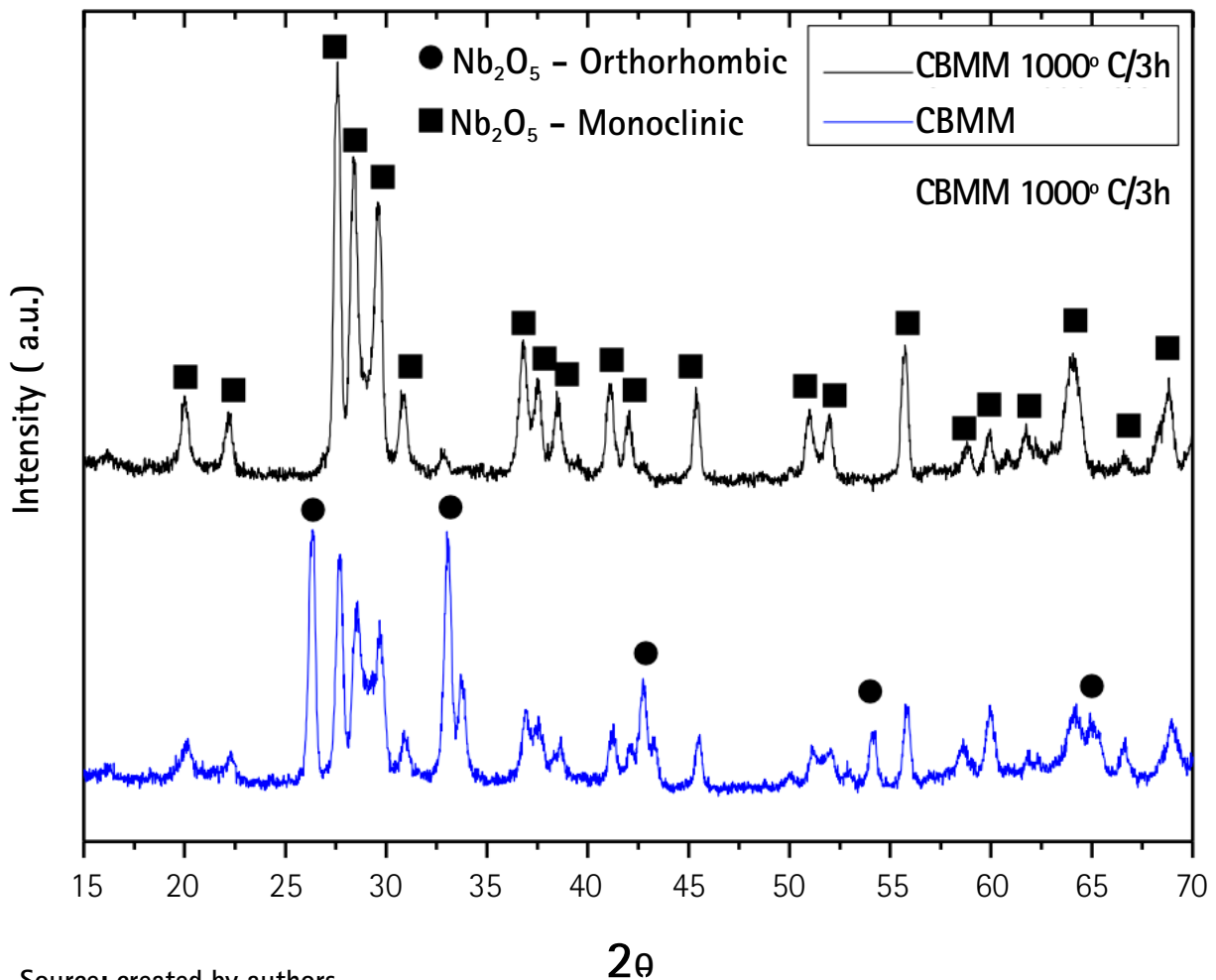
### 3 Results and Discussions

In this section, results and discussions regarding the raw materials and green and sintered specimens are described.

#### 3.1 Raw materials

As shown in **Figure 1**, the niobium pentoxide (optical grade) provided by CBMM presents orthorhombic (T) and monoclinic (H) phases. The M phase, identified by Piralek, Pelczarska and Szczygiel (2017), for the Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> optical grade, was not found in this work. The heat treatment performed at 1000 °C for 3 h resulted in the monoclinic Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as can be seen in **Figure 1**.

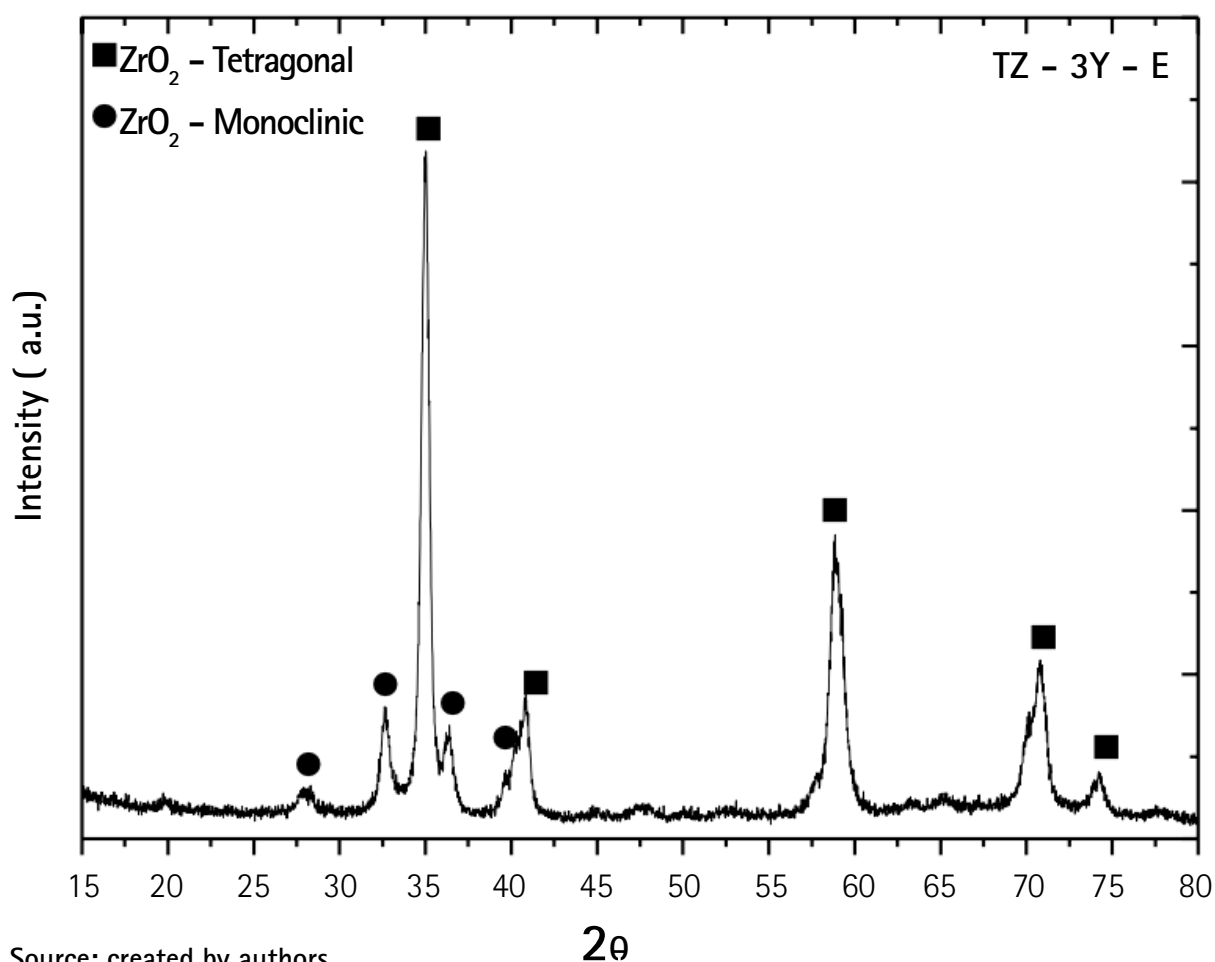
Figure 1 – X-ray diffractograms of the samples: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> CBMM (optical grade) as received and processed at 1000 °C for 3 h



Source: created by authors

Regarding zirconia TZ-3Y, the X-ray diffractogram (**Figure 2**) shows a monoclinic phase (smaller quantity) and the mostly tetragonal phase.

Figure 2 – X-ray diffractogram of TZ-3Y-E Tosoh sample



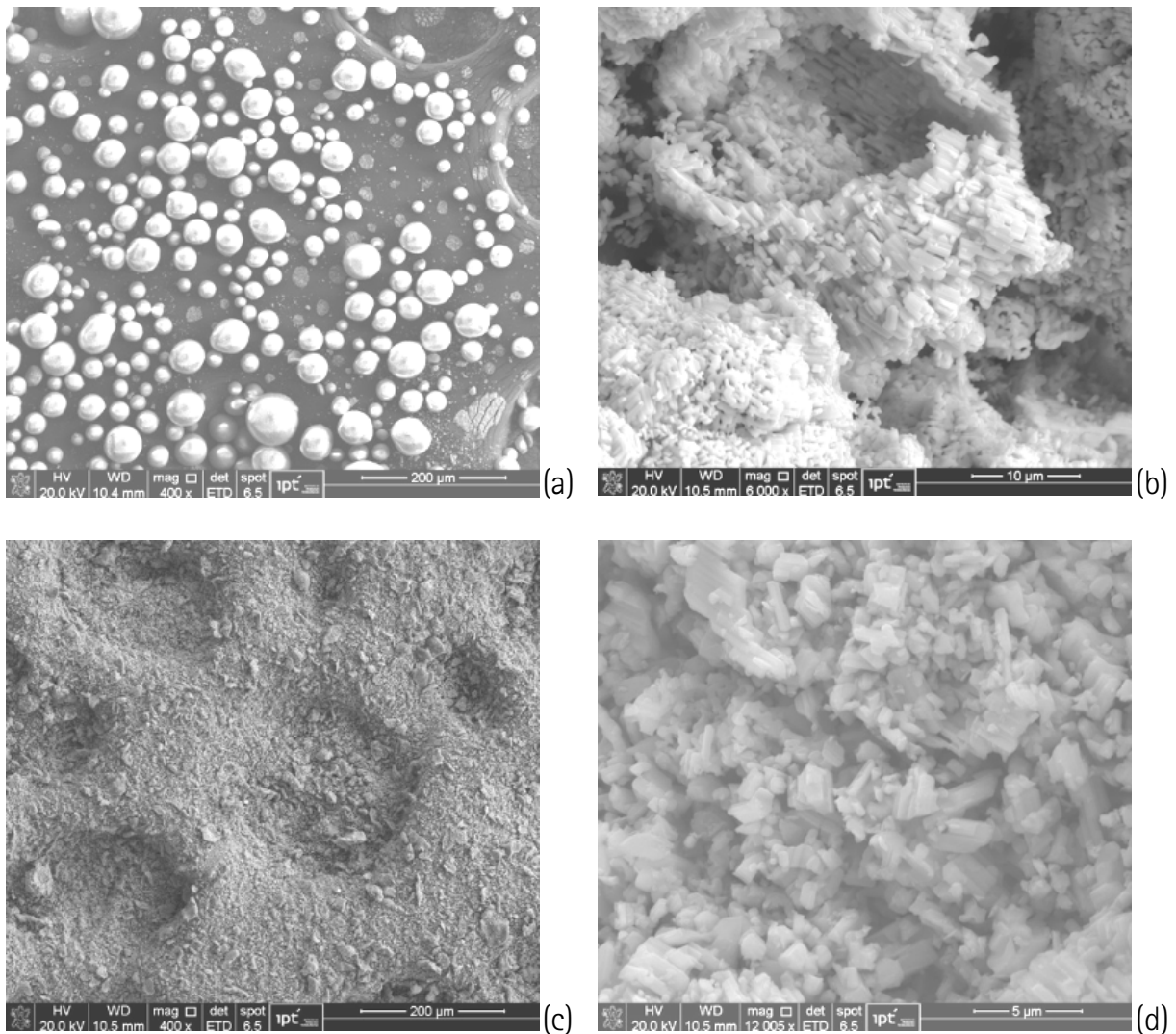
Source: created by authors

**Figure 3** shows micrographs obtained by scanning electron microscopy (SEM) of TZ-3Y-E and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> powders (optical grade) processed by 1000 °C for 3 h and ground by planetary mill, as described on section 2.1. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> powder has presented aggregates greater than 20 μm (**Figure 3b**). As small quantities of it were mixed with TZ-3Y-E the milling process was necessary to promote the best homogenization of the powders.

### 3.2 Relative Density of Green Specimens

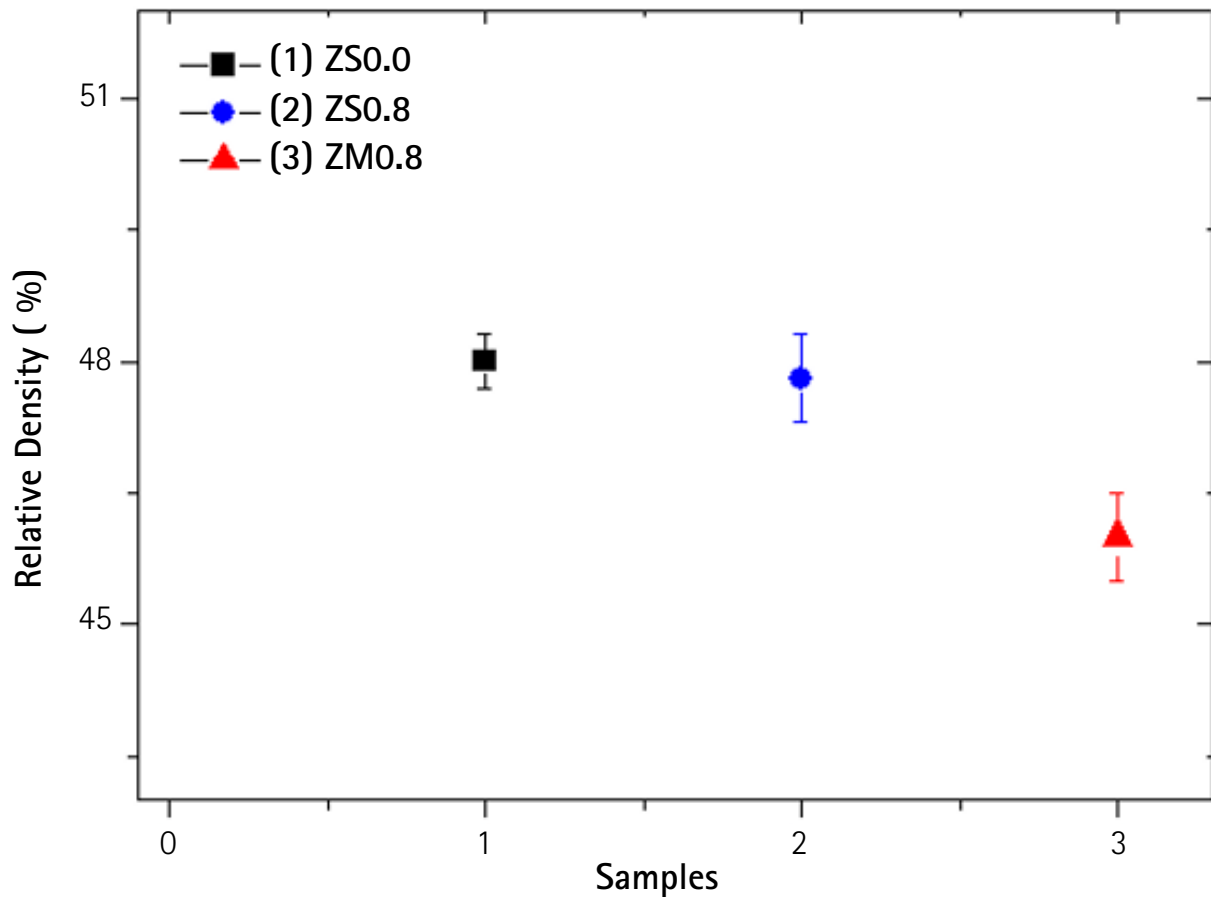
The apparent density is the ratio between the mass of a sample and its volume, including the contribution of the empty volume between particles. The apparent density values were converted into relative density, considering the density of ZS0.0 as  $6.1 \text{ g/cm}^3$  and the ZS0.8 sample as  $6.0 \text{ g/cm}^3$ . **Figure 4** shows the relative density for the green compacts. ZS0.0 and ZS0.8 samples have higher green densification ( $\sim 48 \%$ ) in relation to the ZM0.8 sample ( $\sim 46 \%$ ) indicating that the particle morphology in the form of granule results in better packaging of the green compact ZS0.8, in a scale of 4 % higher compared to ZM0.8.

Figure 3 – Micrographs obtained by SEM: (a) TZ-3Y-E as received, (b)  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  treated at  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  for 3 h, (c) and (d) milled  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  (monoclinic)



Source: created by authors

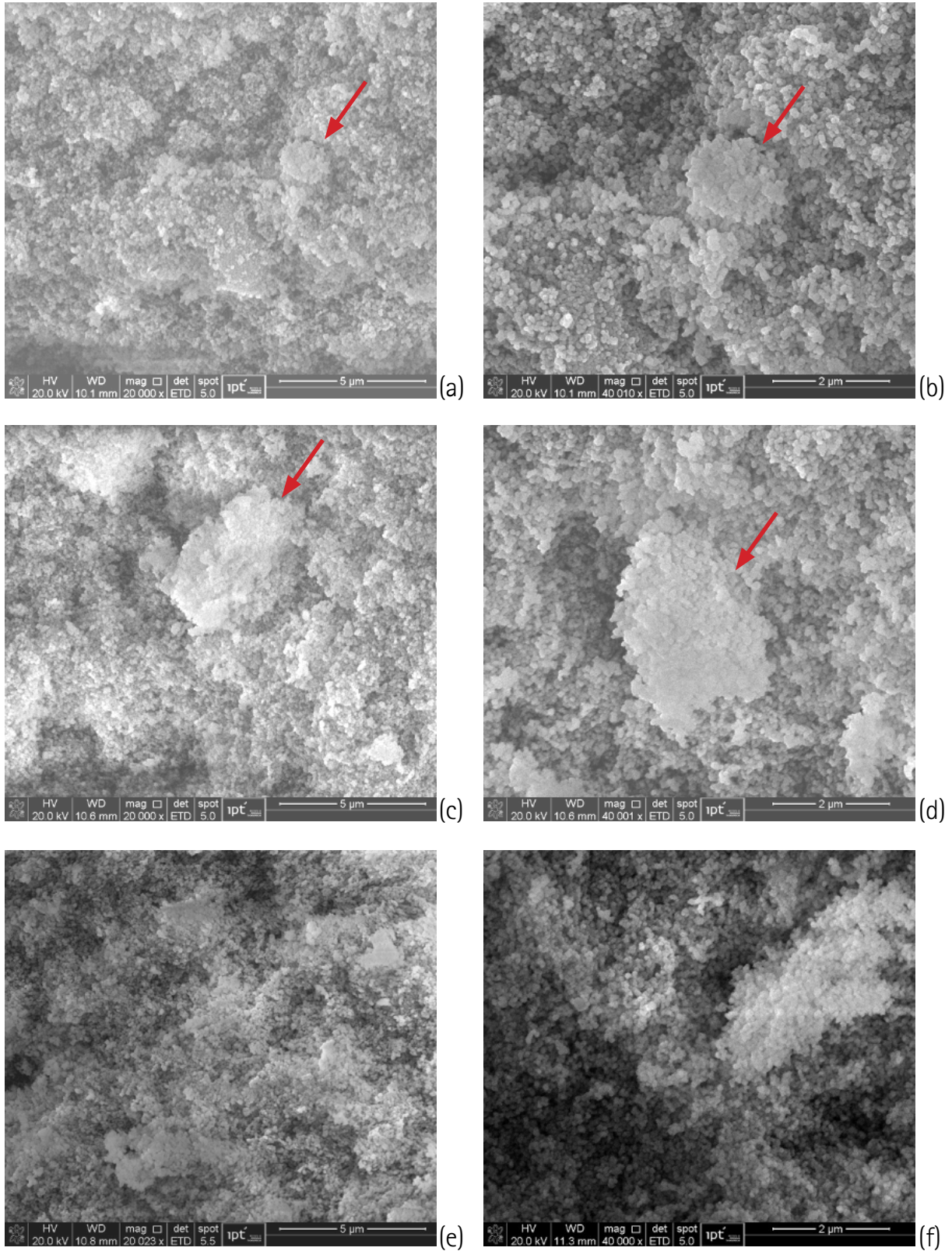
Figure 4 – Relative density of uniaxially compacted powders (green compacts – before sintering)



Source: created by authors

*Figure 5* shows that green compacts ZS0.0 and ZS0.8 present some granules, as pointed by arrows in *Figures 5a to 5d*; others were destroyed by pressing. In the ground TZ-3Y-E sample mixed with 0.8 % wt  $Nb_2O_5$  (ZM0.8), the granules are not observed.

Figure 5 – Micrographs obtained by SEM: (a) and (b) of the green compact ZS0.0, (c) and (d) of the green compact ZS0.8, (e) and (f) of the green compact ZM0.8.



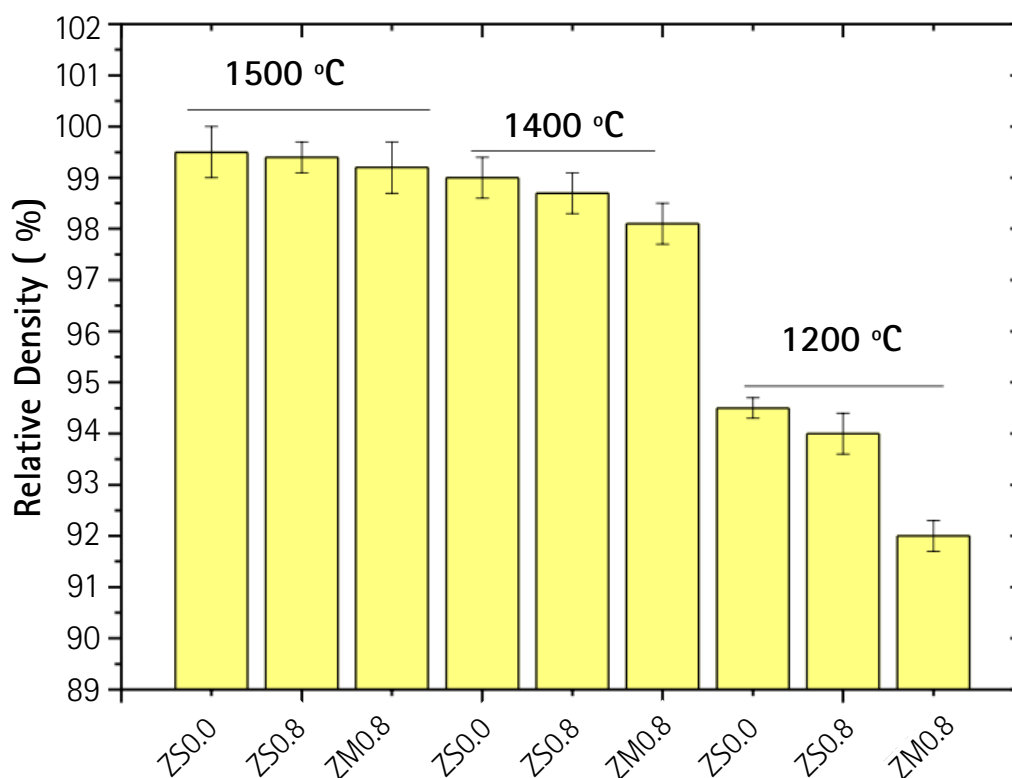
Source: created by authors

### 3.3 Characterization of Sintered Compacts

#### 3.3.1 Densification and Scanning Electron Microscopy Analyses

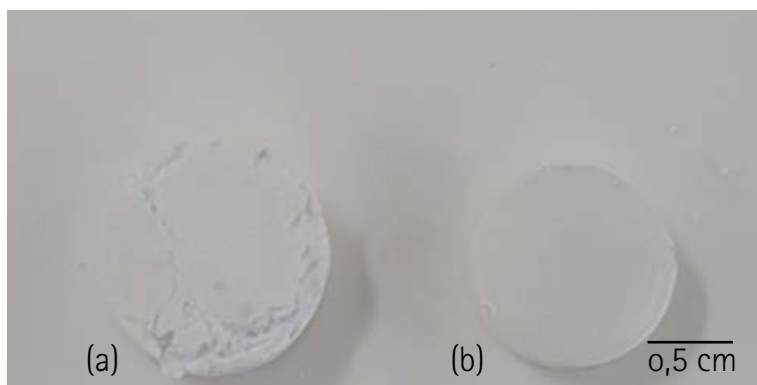
**Figure 6** presents the relative density of the ZS0.0, ZS0.8 and ZM0.8 sintered compacts. It was not possible to measure the density of the sintered compacts with the addition of 2% wt of  $Nb_2O_5$ , due to the high quantity of cracks resulting in fragmentation when handling the samples (**Figure 7**).

Figure 6 – Relative density of ZS0.0, ZS0.8 and ZM0.8 sintered compacts



Source: created by authors

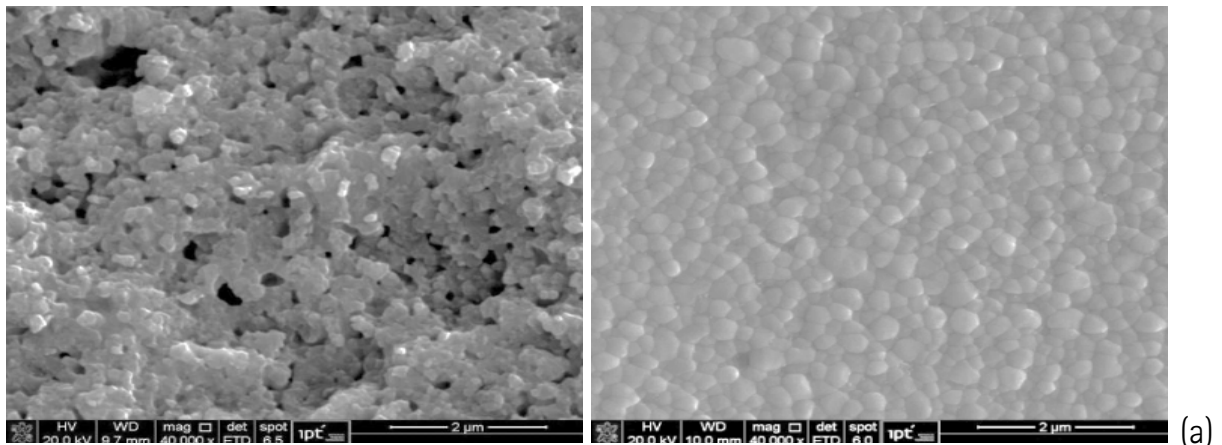
Figure 7 – Images of compacts sintered at 1400 °C for 3 h: (a) ZS2.0 and (b) ZS0.8



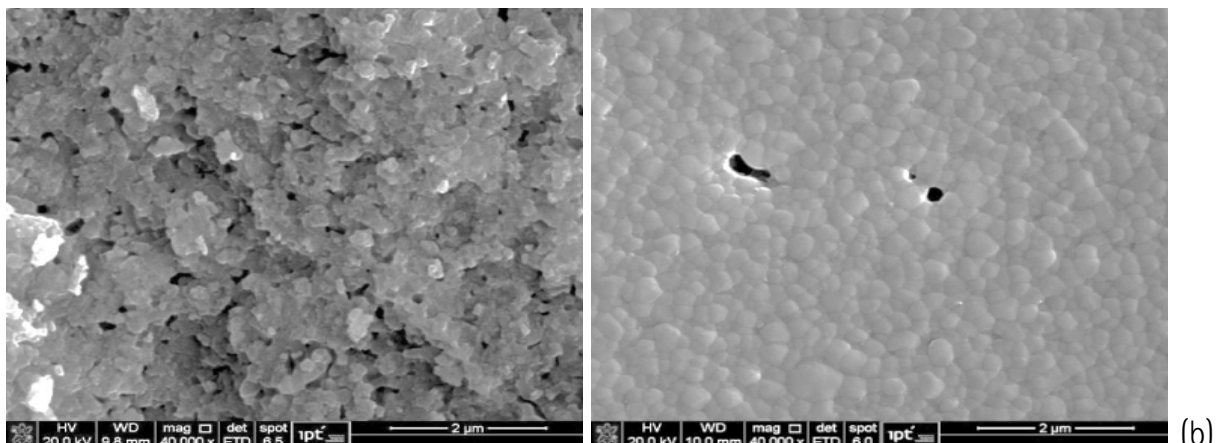
Source: created by authors

Figures 8, 9 and 10 show scanning electronic micrographs of the fractured and polished surface of the sintered compacts at 1200 °C, 1400 °C and 1500 °C for 3 h, respectively.

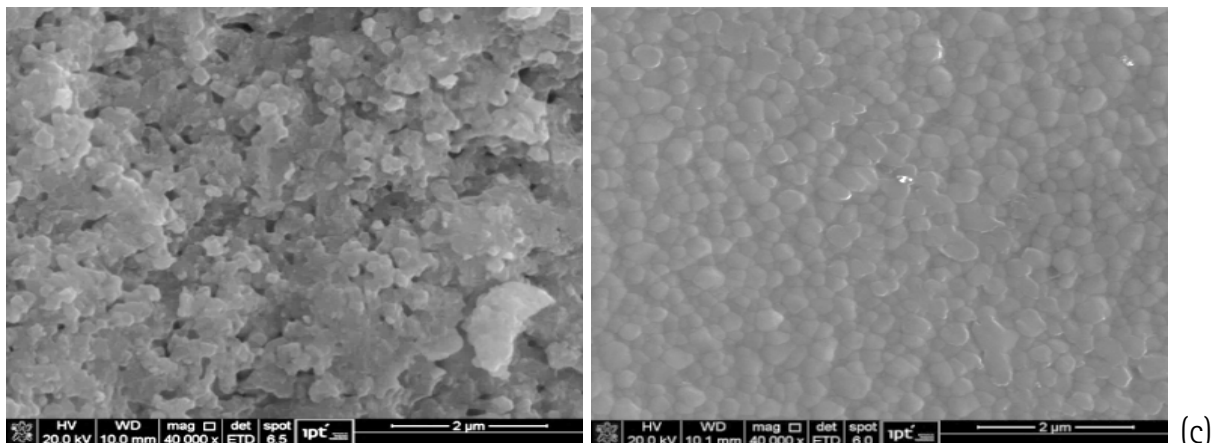
Figure 8 – Micrographs obtained by SEM of the specimens treated at 1200 °C for 3 h (left side: fractured surface TZ-3Y-E and right side: polished surface)



ZSO.0 (1200 °C)



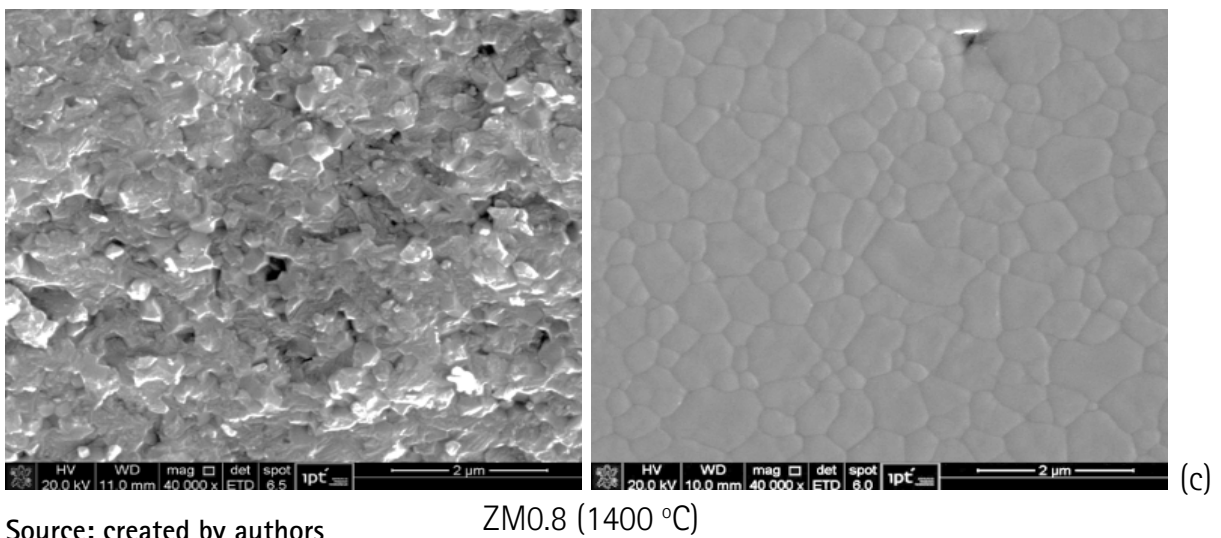
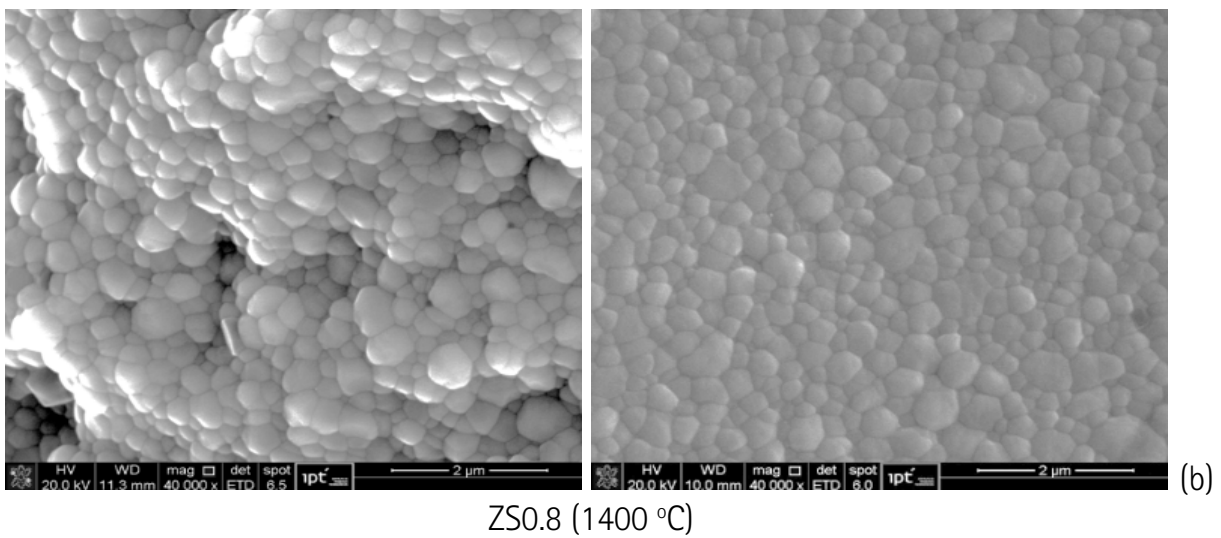
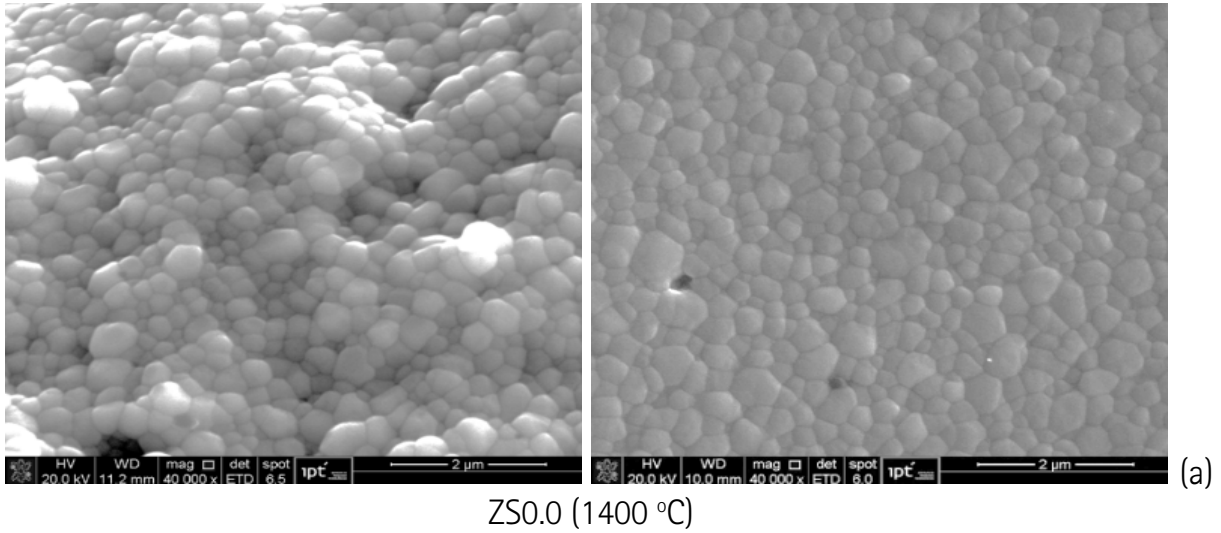
ZSO.8 (1200 °C)



ZMO.8 (1200 °C)

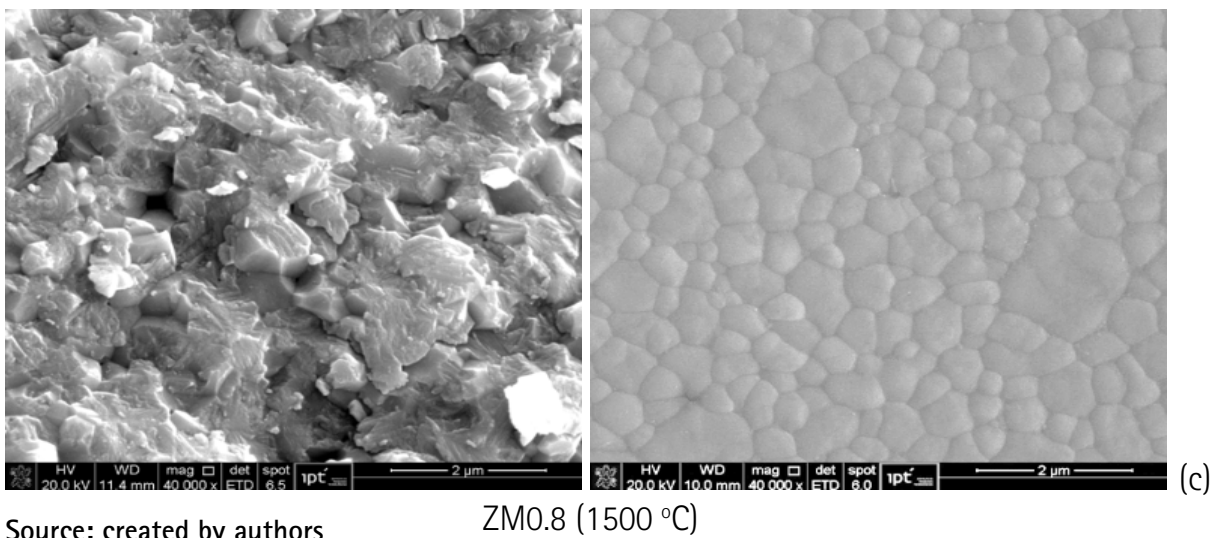
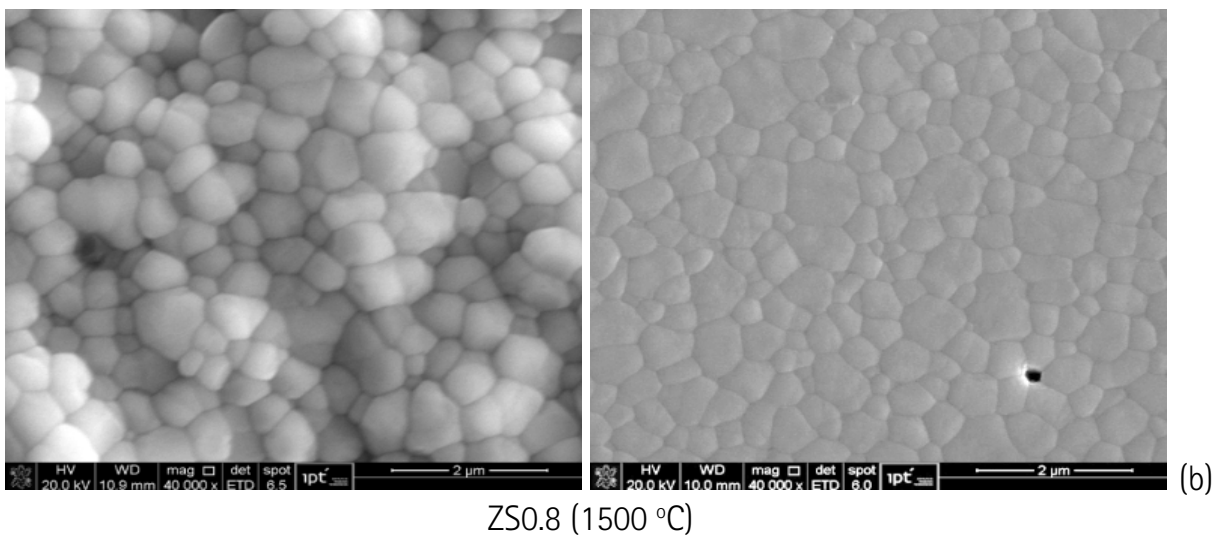
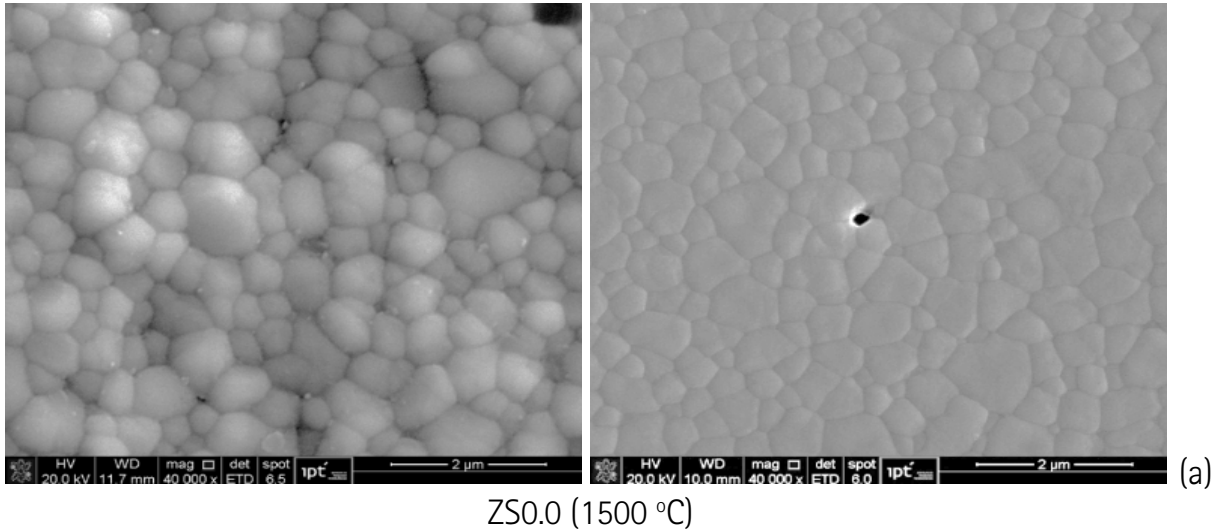
Source: created by authors

Figure 9 – Micrographs obtained by SEM of the specimens treated at 1400 °C for 3 h (left side: fractured surface TZ-3Y-E and right side: polished surface)



Source: created by authors

Figure 10 – Micrographs obtained by SEM of the specimens treated at 1500 °C for 3 h (left side: fractured surface TZ-3Y-E and right side: polished surface)

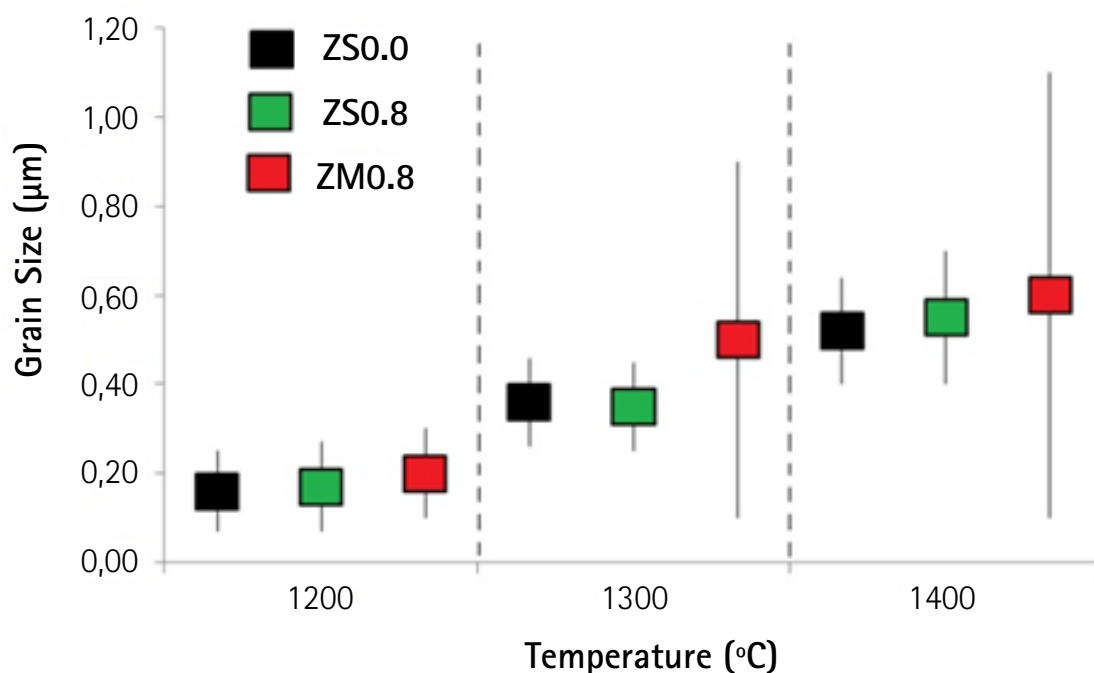


Source: created by authors

A slight bias for lower densification of ZM0.8 samples (ground zirconia) was observed related to ZS0.0 and ZS0.8 (unground zirconia). The highest influence regarding grinding was observed in specimens processed at 1200 °C, with approximately 2.6 % difference in densification. At higher temperatures (1400 °C and 1500 °C), the difference is lower, around 1 % when considering the average value. Lopes (2009) reported similar densification values with those found in this study when sintering 3Y-TZP (Tosoh) in the range from 1400 °C to 1500 °C. The addition of 0.8 % wt of monoclinic Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> showed a very slight decrease in the densification of ungrounded TZ-3Y-E.

**Figure 11** presents grain size as a function the temperature for the ZS0.0, ZS0.8 and ZM0.8 sintered compacts. It can be noted that the grain size for the samples heat-treated at 1200 °C does not show a significant difference. The same behavior was observed for the density of the compacts at this temperature. The medium grain size for the compacts obtained at 1400 °C and 1500 °C shows a slightly higher value and a heterogeneous distribution for the samples obtained with grounded zirconia. It can be concluded that the microstructure of the compacts obtained from the spray-dried powders, without grinding, seems to be formed by smaller and more uniform grains. Grain size is an important property for ceramics, because the smaller and homogeneous the grain size is, the higher the mechanical properties are. Some pores are observed in the micrographs since full densification was not reached. Santana et al. (2008) studied the sintering of the same stabilized zirconia powder with 8 % wt of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atomized and non atomized and had obtained similar results regarding the grain shape and size.

Figure 11 – Grain size as a function of temperature for samples with TZ-3Y-E with (ZM0.8) and without grinding (ZS0.0 and ZS0.8)

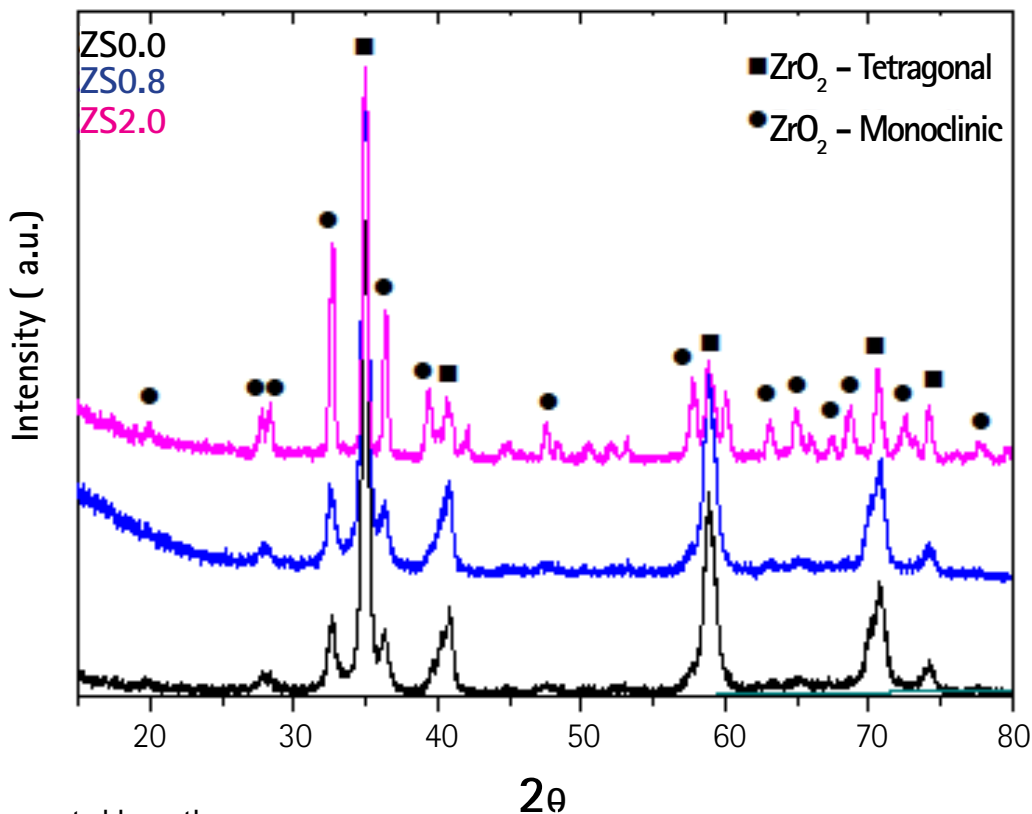


Source: created by authors

### 3.4 Scanning Electron Microscopy and X-Ray Diffraction

As mentioned before and shown in **Figure 7**, specimens with 2 wt% of  $Nb_2O_5$  presents numerous cracks after heat treatment at 1400 °C for 3 h. **Figure 12** shows the X-ray diffractograms of samples ZS0.0, ZS0.8 and ZS2.0.

Figure 12 – X-ray diffractograms of ZS0.0, ZS0.8, ZS2.0

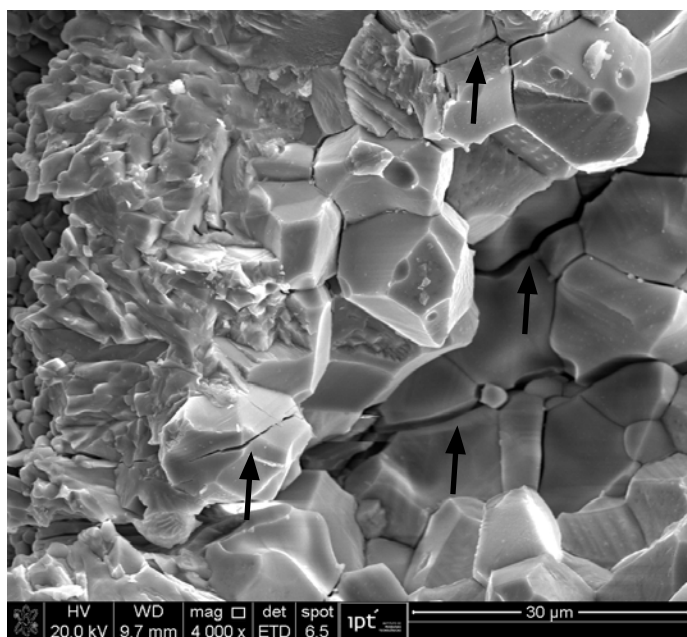


Source: created by authors

The diffractograms of ZS0.0 and ZS0.8 are almost identical in relation to the phases  $m-ZrO_2$  and  $t-ZrO_2$  and their relative intensities, indicating that the addition of 0.8 % wt of monoclinic  $Nb_2O_5$  did not result in the destabilization of zirconia. On the other hand, the addition of 2.0 % wt of monoclinic niobium pentoxide proved to be inadequate for producing ceramics for technical applications, due to the transformation of phase  $m \rightarrow t-ZrO_2$  resulting in the high formation of cracks and fragmentation of the specimen. The results obtained in this study are similar to those obtained by Golieskardi (2014), which used a maximum of 1 % wt of  $Nb_2O_5$  (0.70 % mol). In Kim's work (1990) it is reported that only above 1.5 % wt (3 % mol) it was difficult to obtain a pure tetragonal phase. It is important to highlight that in the mentioned studies the polymorph of  $Nb_2O_5$  was not reported, and Kim (1990) used the coprecipitation method to prepare the mixture of oxides.

**Figure 13** shows a scanning electronic micrograph image of the fractured surface of ZS2.0 sample. Intergranular fracture (crack along the grain boundaries) and intragranular fracture (cracks within the grains) can be observed, showing the severe stress due to the  $m \rightarrow t$ -ZrO<sub>2</sub> transformation, causing the fracture of the sample.

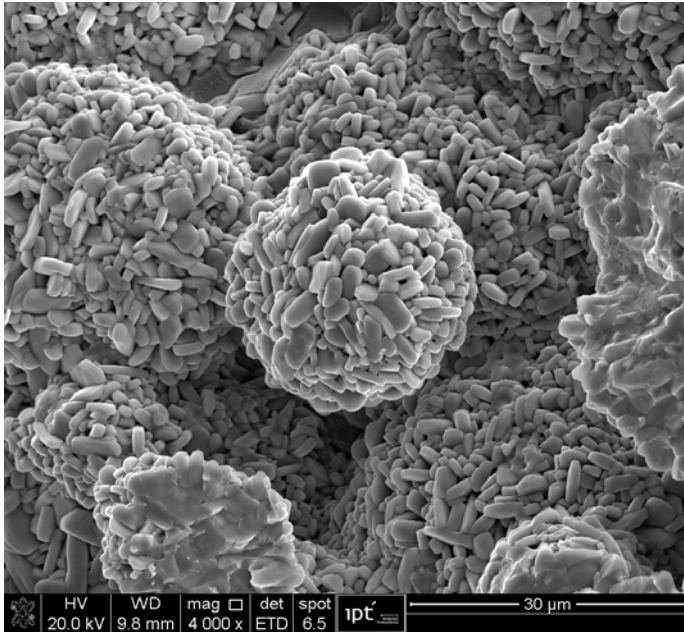
Figure 13 – Micrograph obtained by SEM from the ZS2.0 compact obtained at 1400 °C for 3 h. Arrows indicate cracks



Source: created by authors

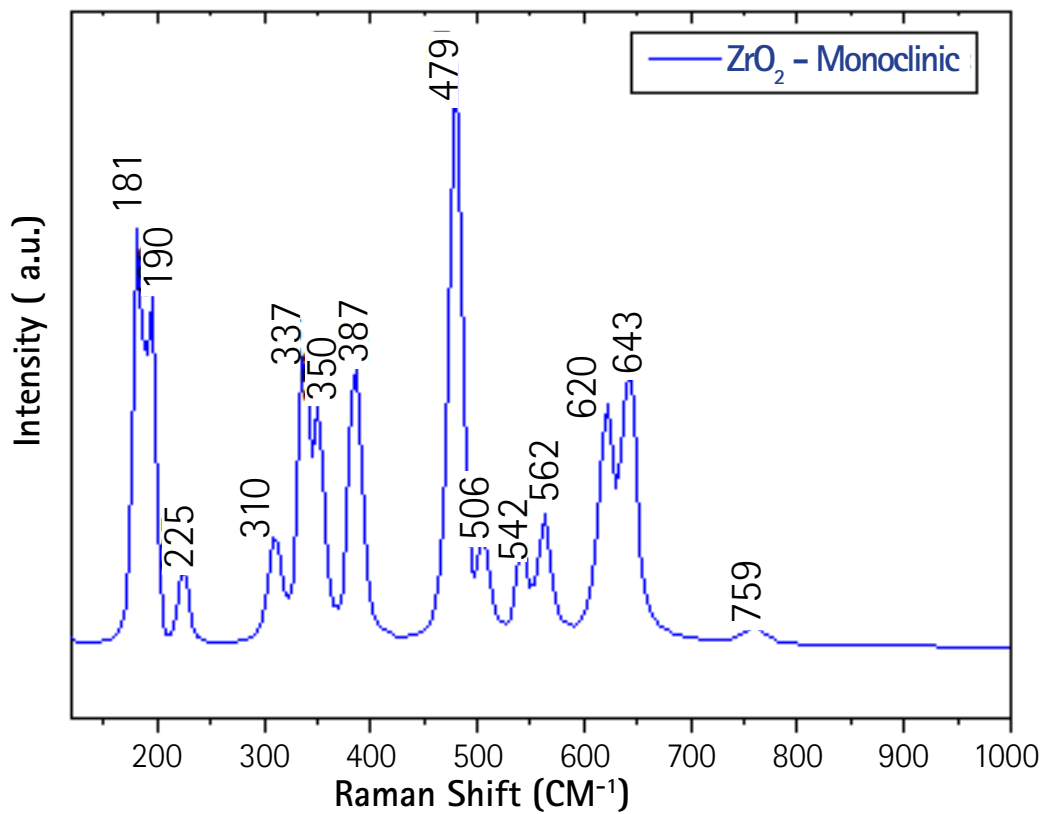
An interesting fact observed in the ZS2.0 sample was the presence of rounded regions (**Figure 14**) with morphologies differentiated from those observed in **Figures 8 to 10**. As the niobium pentoxide content was a maximum of 2 % wt, it was not possible to identify it using X-ray diffraction. However, using Raman spectroscopy, which is a technique that allows the analysis of specific regions in the sample, the monoclinic ZrO<sub>2</sub> spectrum was observed (**Figure 15**). A spectrum that had neither relation with the monoclinic and tetragonal zirconia phases nor with the monoclinic and orthorhombic niobium pentoxide phases was also obtained (**Figure 16**). Thus, a standard analysis of the compound Zr<sub>6</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>17</sub> (6ZrO<sub>2</sub>·Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) was performed, as shown in the diffractograms of **Figure 17**. It was found that the Raman spectrum of a region similar to that presented in **Figure 16** is equal to the phase Zr<sub>6</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>17</sub>. It can be concluded that the addition of 2 % wt of monoclinic Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> resulted in the destabilization of the tetragonal phase for TZ-3Y-E and in the solid-state reaction of ZrO<sub>2</sub> and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, forming zirconium niobate. The fact that it is a rounded region suggests that niobate formed into granules that were not destroyed during the uniaxial compaction process.

Figure 14 – Micrograph obtained by SEM of a small region (~ 90 μm) of ZS2.0 sample heat-treated at 1400 °C for 3 h



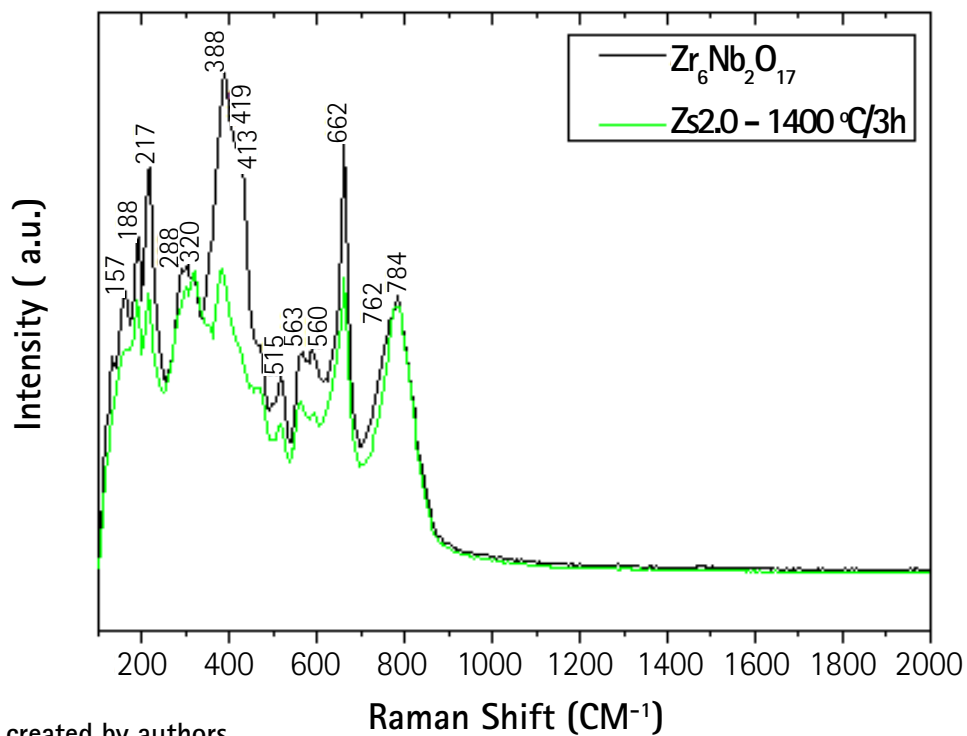
Source: created by authors

Figure 15 – Raman spectrum of the compact ZS2.0 treated at 1400 °C for 3 h



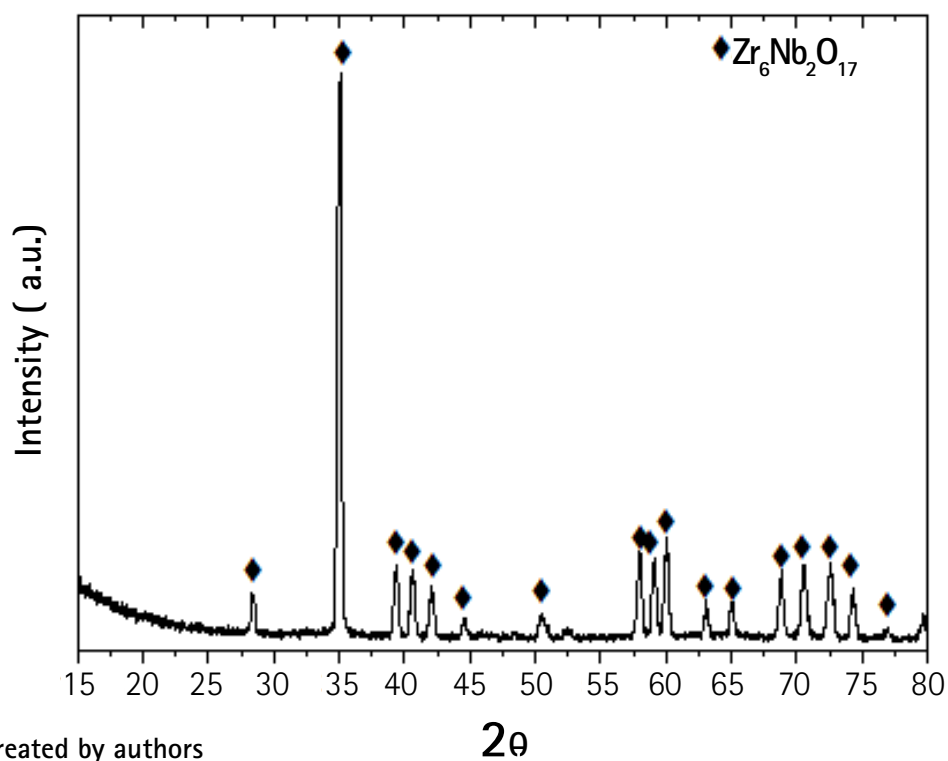
Source: created by authors

Figure 16 – Raman spectrum of the compact ZS2.0 treated at 1400 °C for 3 h, compared with standard  $Zr_6Nb_2O_{17}$



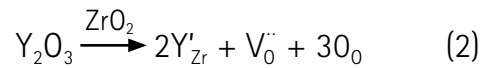
Source: created by authors

Figure 17 – X-ray diffractograms of zirconium niobate ( $Zr_6Nb_2O_{17}$ )

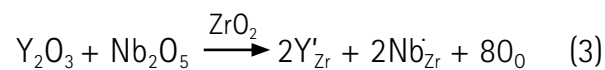


Source: created by authors

Several authors (JIN; GAO; KAN, 2002; RAI et al., 2017; KIM, 1990; KIM et al., 1998) reported that replacing  $Zr^{4+}$  for  $Y^{3+}$  in  $ZrO_2$  results in the formation of oxygen vacancy, as represented below (**Equation 2**):



where  $Y'_{Zr}$  and  $V_{O}^{\cdot\cdot}$  represent  $Y^{3+}$  replacing  $Zr^{4+}$  in the crystalline reticle of zirconia and oxygen vacancy, respectively. The concentration of oxygen vacancy predominantly influences the stability of t- $ZrO_2$  in Y-TZP. When  $Y_2O_3$  and  $Nb_2O_5$  are added to zirconia, there is the elimination of oxygen vacancies, due the charge compensation between  $Y^{3+}$  and  $Nb^{5+}$  which can be represented by (KIM et al., 1998) (**Equation 3**):



Thus, the stabilization of zirconia is compromised, demonstrating that it is possible to add low niobium pentoxide content to the stabilizes zirconia with yttria in such a way as to obtain intact monolithic ceramics for technical applications.

## 4 Conclusions

Through this study, it is possible to conclude:

- the addition of 0.8 % wt of monoclinic  $Nb_2O_5$  in unground and ground TZ-3Y-E did not result in the destabilization of zirconia;
- there was observed a slight differences in the densification between TZ-3Y-E ground and non ground with 0.8 % wt of monoclinic  $Nb_2O_5$ , especially for compacts sintered at 1200 °C, and in the microstructure formed with smaller and homogeneous grain size distribution in the compacts obtained with non ground TZ-3Y-E;
- the addition of 2 wt% of monoclinic  $Nb_2O_5$  in TZ-3Y-E proved to be ineffective at sintering, as it presented numerous cracks. This level of niobium pentoxide saturation in the sample caused the destabilization of the zirconia tetragonal and also resulted in the formation of  $Zr_6Nb_2O_{17}$ .

## 5 References

BEJUGAMA, S.; PANDEY, A. K. Effect of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on sintering and mechanical properties of ceria stabilized zirconia. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 765, p. 1049-1054, 2018.

BRITO, F. I. G.; MEDEIROS, K. F.; LOURENÇO, J. M. Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó. **Holos**, v. 3, p. 204-211, 2007.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. São Paulo: LTC Editora, 2016.

GOLIESKARDI M.; SATGUNAM, M.; RAGURAJAN, D. The influence of niobium pentoxide (Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) on the sintering behavior of yttria tetragonal zirconia polycrystal using two-step sintering (TSS) Method. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 8, n. 15, p. 59-63, 2014.

GUHA, J. P. Studies on niobium oxides and polymorphism of niobium pentoxide. **Transactions of the Indian Ceramic Society**, v. 28, n. 4, p. 97-101, 1969.

GUPTA, T. K.; BECHTOLD, J. H.; KUZNICKI, R. C.; CADOFF, L. H.; ROSSING, B. R. Stabilization of tetragonal phase in polycrystalline zirconia. **Journal of Materials Science**, v. 12, p. 2421-2426, 1977.

GUPTA, T. K.; LANGE, F. F.; BECHTOLD, J. H. Effect of stress-induced phase transformation on the properties of polycrystalline zirconia containing metastable tetragonal phase. **Journal of Materials Science**, v. 13, p. 1464-1470, 1978.

HAYNES, W. M. (Ed.). **Handbook of chemistry and physics**. 95 ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. Section 6-7, p. 1098.

HWANG, C. M. J.; CHEN, I. W. Effect of a liquid phase on superplasticity of 2-mol%-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-stabilized tetragonal zirconia polycrystals. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 73, p. 1626-1632, 1990.

JIN, X.; GAO, L.; KAN, Y. M. Effects of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on the stability of t-ZrO<sub>2</sub> and mechanical properties of ZTM. **Materials Letters**, v. 52, p. 10-13, 2002.

KIM, D. J. Effect of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and HfO<sub>2</sub> alloying on the transformability of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-stabilized tetragonal ZrO<sub>2</sub>. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 73, 1, p. 115-120, 1990.

KIM, D. J.; JUNG, H. J.; JANG, J. W.; Lee H. L. Fracture toughness, ionic conductivity, and low-temperature phase stability of tetragonal zirconia codoped with yttria and niobium oxide. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 81, n. 9, p. 2309-2314, 1998.

KIMURA, N., ABE, S.; MORISHITA, J.; OKAMURA, H. Low temperature sintering of Y-TZP and Y-TZP- $\text{Al}_2\text{O}_3$  composites with transitional metal oxide additives. In: SOMIYA, S. (Ed.). **Sintering 88**. [S.l.]: Elsevier Applied Science, 1988. v. 2, p. 1142-1148.

LOPES, O. F.; MENDONÇA, V. R.; SILVA, F. B. F.; PARIS, E. C.; RIBEIRO, C. Óxidos de nióbio: uma visão sobre a síntese do  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  e sua aplicação em fotocatalise heterogênea. **Química Nova**, v. 38, n. 1, p. 106-117, 2015.

LOPES, R. J. **Efeitos da temperatura de sinterização nas propriedades mecânicas e na resistência ao envelhecimento de cerâmicas de zircônia (3Y-TZP) para aplicações dentárias**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

PIRALEK, B.; PELCZARSKA, A. J.; SZCZYGIEL, I. Characterization of niobium (V) oxide received from different sources. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 130, p. 77-83, 2017.

RAI, K. A.; SINGH, R. P.; SINGH, S.; JAISWAL, A.; OMAR, S. Phase stability and ionic conductivity of cubic  $x\text{Nb}_2\text{O}_5-(11-x)\text{Sc}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2$  ( $0 \leq x \leq 4$ ). **Journal of Alloys and Compounds**, v. 703, p. 643-651, 2017.

RAMESH, S.; GILL, C. Environmental degradation of CuO-doped Y-TZP ceramics. *Ceramics International*, v. 27, n. 6, p. 705-711, 2001.

RAN, S.; WINNUBST, A. J. A.; KOSTER, H.; DE VEEN, P. J.; BLANK, D. H. A. Sintering behaviour and microstructure of 3Y-TZP+8% CuO nano-powder composite. **Journal of European Ceramic Society**, v. 27, n. 2-3, p. 683-687, 2007.

RODDATIS, V. V.; SU, D. S.; BECKMANN, E.; JENTOFT, F. C.; BRAUN, U.; KRÖHNERT, J.; SCHLÖGL, R. The structure of thin zirconia films obtained by self-assembled monolayer mediated deposition: TEM and HREM study. **Surface and Coatings Technology**, v. 151-152, p. 63-66, 2002.

SANTANA, L. P.; LAZAR, D. R. R.; YOSHITO, W. K.; USSUI, V.; PASCHOAL, J. O. A. Spray-dried YSZ ceramic powders: Influence of slurry stability on physical characteristics of agglomerates. **Materials Science Forum**, v. 591-593, p. 465-470, 2008.

YOSHIMURA, H. N.; MOLISANI, A. L.; NARITA, N. E.; GONÇALVES, M. P.; CAMPOS, M. F. Zircônia parcialmente estabilizada de baixo custo produzida por meio de mistura de pós com aditivos do sistema  $\text{MgO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CaO}$ . **Cerâmica**, v. 53, p. 116-132, 2007.



# Comportamento mecânico de revestimento externo com isolante térmico - EIFS

*Mechanical behavior of the Exterior Insulation Facade System - EIFS*

Luciana Alves de Oliveira<sup>a\*</sup>, Evania Sabará Leite Teixeira<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doutora e Pesquisadora, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

<sup>b</sup> Mestre em Habitação pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, São Paulo – SP, Brasil.

\*E-mail: luciana@ipt.br

## Palavras-chave:

EIFS; desempenho estrutural; resistência de aderência; comportamento mecânico.

## Keywords:

*Exterior Insulation Facade System; mechanical behavior; bond strength.*

## Resumo

Este artigo discute o desempenho estrutural do *Exterior Insulation Facade System*, o qual depende das características físicas e mecânicas dos seus componentes (adesivo, isolante térmico e *base coat*), além das resistências de aderências entre eles. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas e estudos de caso, para compreender os projetos e processos de montagem do *Exterior Insulation Facade System* no edifício. Os resultados aqui apresentados são parte de uma dissertação de mestrado. A resistência de aderência do adesivo (e do *base coat*) é o que garante a atuação conjunta dos componentes. O isolante aumenta a resistência térmica da parede, porém seu coeficiente de dilatação e módulo de elasticidade diferem muito dos outros componentes, por isso, sua dilatação causa tensões que exigem maior resistência de aderência. O *base coat* atua de forma a conter as dilatações. As fixações mecânicas no tipo de *Exterior Insulation Facade Systems* tratado neste artigo são suplementares, porém são importantes para auxiliar a manutenção da estabilidade em todos os tipos de *Exterior Insulation Facade Systems*. Aspectos como segurança ao fogo, eficiência térmica, durabilidade e manutenibilidade do EIFS, não foram objeto de discussão desse artigo, mas devem ser analisados em uma eventual discussão sobre adoção de *Exterior Insulation Facade Systems* nos edifícios no Brasil.

## Abstract

*This article discusses the structural performance of Exterior Insulation Facade System which depends on the mechanical and physical characteristics of its components (adhesive, thermal insulation and base coat) and the bond strengths among them. A literature review and case studies were done to conduct the work. The results presented here are part of a science master degree dissertation. The adhesion resistance between the adhesive and the base coat influences the structural performance of the Exterior Insulation Facade System. The insulating material increases the thermal resistance of the wall, but its coefficient of expansion and modulus of elasticity differ significantly from other components. Then its expansion causes stresses that require greater bond strength. The base coat acts to contain the dilations and can be considered as an essential reinforcement. The supplementary mechanical fixation discussed here is important, and it facilitates the stability of all types of Exterior Insulation Facade Systems. Characteristics such as fire safety, thermal efficiency, durability and maintainability of the Exterior Insulation Facade Systems were not discussed in this article but should be analyzed in any design with Exterior Insulation Facade System on building facades in Brazil.*

## 1 Introdução

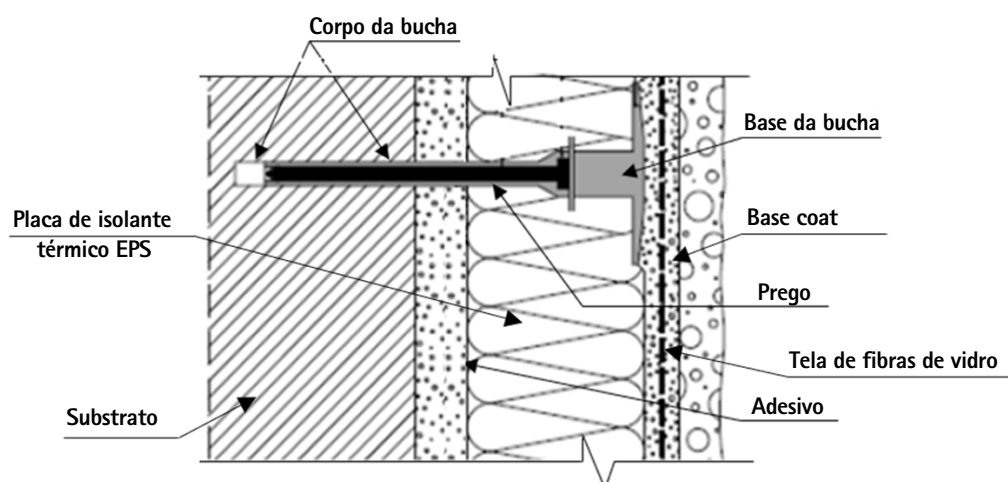
Estudos mostram que parte significativa do consumo de energia na Europa é proveniente dos edifícios, nas fases de construção e de uso. Naquele continente, os edifícios são responsáveis por 30 % desse consumo, o setor de transportes 37 %, e indústrias 17 % (incluindo a indústria de materiais de construção civil) e outros 16 % (ZAGORSKAS et al., 2013). No Brasil, todo o setor industrial é responsável por 32 % do consumo energético, o setor de transportes 33 %, as residências por 10 %, o setor de serviços por 5 % e o restante em outros setores (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019).

Estima-se que, em uma década, metade dos trabalhos nas construções europeias sejam readequações e reformas de edifícios existentes o que gera uma demanda para estudos e desenvolvimentos de produtos, procedimentos e técnicas para a adaptação desses edifícios à regulamentação atual, inclusive às regulamentações de eficiência energética. Nesse sentido, citam-se as possibilidades de adaptação de sistemas de ventilação, aquecimento e ar-condicionado, e que as edificações sejam mais estanques à penetração de ar externo, com maior resistência térmica de suas vedações, mas, com maior permeabilidade para a saída dos vapores através das paredes o que pode ser conseguido, por exemplo, com o isolamento das paredes externas (ZAGORSKAS et al., 2013) combinado com materiais de adequadas propriedades de transporte de umidade. Portanto, o revestimento externo com isolante térmico, comercialmente denominado de *Exterior Insulation and Finish Systems* (EIFS) apresenta-se como uma possibilidade para edifícios antigos e novos.

O EIFS, segundo a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), é um revestimento de fachada multicamadas que deve ter resistência térmica mínima superior a  $1 \text{ m}^2\text{-K/W}$ . As placas de isolante térmico são coladas sobre o vedo (substrato), utilizando-se argamassa

polimérica e/ou fixadas mecanicamente por meio de parafusos e buchas. Na sua face externa, o isolante recebe uma camada de transição, e, sobre este, o acabamento. O render é composto por duas camadas de argamassas com tela de fibras de vidro (*base coat*). É opcional se acrescentar uma barreira impermeável à água e permeável aos vapores de água sobre o substrato e aplicar um *primer* sobre o render. Segundo a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), as camadas do EIFS devem ser projetadas para possuírem a necessária resistência de aderência entre elas, ou seja, entre o *base coat* e isolante térmico; entre o adesivo e isolante e entre o adesivo e o substrato, isso para que o revestimento como um todo apresente resistência mecânica e estabilidade; resistência a impactos de corpos duros e à perfuração. Tais camadas devem possuir as espessuras mínimas conforme determinadas pela ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013) que são: argamassa polimérica (adesivo químico) de 3 mm a 5 mm; isolante térmico  $\geq 50$  mm; *base coat* (cada camada) de 2 mm a 5 mm. Na **Figura 1**, nomeiam-se os componentes que formam o revestimento externo com isolante térmico (EIFS) e apresenta-se um detalhe comum para a fixação mecânica, composta por bucha e prego.

Figura 1 – Composição básica do EIFS com detalhe da fixação mecânica



Fonte: Silva (2015)

O objetivo deste artigo é apresentar as principais características dos componentes que formam o EIFS (adesivo, isolante térmico e *base coat*) e evidenciar como elas influenciam as resistências de aderência e, conseqüentemente, no desempenho estrutural do sistema. Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas e estudos de caso para se compreender os conceitos adotados nos projetos e nos processos de montagem do EIFS nos edifícios. Os resultados aqui apresentados são parte de uma dissertação de mestrado. Mais especificamente, o escopo desse artigo trata de revestimento externo com isolante térmico aderido, com utilização de fixações mecânicas suplementares, no qual a colagem ao substrato, no longo prazo, se dá pela ação do adesivo e as fixações mecânicas atuam, somente, na fase inicial, antes da cura do adesivo. As abordagens desse artigo são feitas para substratos pesados, conforme sugere a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013).

## 2 O substrato

O substrato não é parte do sistema de revestimento de fachada, mas compõe o Sistema de Vedação Vertical Interna e Externa (SVVIE), e deve suportar as camadas do revestimento, ter estabilidade, estanqueidade à água e resistência mecânica. Para tanto, as principais características a serem analisadas são: rugosidade, porosidade, absorção de água e resistência à tração, além do teor de umidade. A ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013) estabelece que o EIFS deve ser projetado e construído apenas sobre substratos pesados, tais como: vedações de painéis pré-fabricados ou pré-moldados de concreto, alvenarias de blocos de concreto, de silicato de cálcio, cerâmicos e outros.

Os substratos influenciam o desempenho estrutural do EIFS, pois deles dependem a escolha do modo de fixação, do isolante, bem como a vida útil do revestimento e a qualidade de sua execução (SOUZA, 2010). As faltas de rugosidade e de porosidade do substrato, segundo Antunes (2016), podem ser resolvidas com a aplicação de um chapisco ou de um adesivo químico especificados para essa finalidade. Os substratos devem ter baixa absorção de água, pois podem retirar água das argamassas poliméricas utilizadas como adesivo (PEREIRA, 2009).

Para Duarte (2008), a umidade inicial no revestimento depende do tipo de material e das características do substrato, da constituição do adesivo e, principalmente, da condição atmosférica na data da execução e da temperatura superficial do substrato durante a aplicação ( $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $\leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , substrato superficialmente seco). Nessas condições, a umidade do substrato deverá ser  $\leq 3\%$  da massa total da alvenaria. A resistência mínima de aderência à tração (em condições secas) do adesivo ao substrato deve ser  $\geq 0,25\text{ N/mm}^2$  (ETAG 004, EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013). Entretanto, a resistência mínima de tração do substrato em concreto é  $R_a \geq 1,5\text{ N/mm}^2$ , em condições secas. Deve-se dar especial atenção, segundo Freitas e Gonçalves (2015), à estabilidade das alvenarias, pois as deformações podem ser altas, principalmente daquelas que forem muito esbeltas com confinamentos laterais e que sejam encunhadas em pisos, lajes e estruturas laterais. Freitas e Miranda (2014) afirmam que se deve atender, entre outras, às seguintes recomendações para o substrato: a superfície não deverá apresentar poeiras ou partículas soltas; o substrato não deverá estar molhado por chuvas; deve-se tratar as fissuras existentes se forem maiores que 0,5 mm; deve-se aplicar jatos de ar ou areia para a limpeza, se necessário.

## 3 Componentes do EIFS

### 3.1 Argamassa polimérica

A argamassa polimérica ou adesivo têm função primordial no desempenho, pois garante a aderência do isolante térmico ao substrato, resistindo conjuntamente com o substrato às tensões de tração, compressão, cisalhamento e outras que advêm das ações atuantes das intempéries, dos movimentos dos substratos, do peso próprio e de condições ambientais, como as higroscópicas, térmicas e vento. Os adesivos são avaliados por sua resistência de aderência (ensaios de resistência à tração e de resistência ao cisalhamento) e pelo tempo em aberto (tempo máximo entre a aplicação do adesivo e a aplicação de um material sobre ele). Conforme a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), os adesivos também devem ser ensaiados quanto ao seu comportamento ao fogo, que é influenciado pela quantidade de material orgânico que possuem. Pode-se considerar que adesivos com teor orgânico  $\leq 15\%$  de sua massa seca possuem os requisitos necessários para que o EIFS tenha um bom comportamento ao fogo, sem serem ensaiados. Os com teor orgânico  $> 15\%$  devem ser testados conforme norma técnica específica. Segundo Duarte (2008), o adesivo deve ter uma constituição que lhe garanta menor retração e menor módulo de elasticidade que as argamassas comuns ( $\leq 10.000$  MPa).

### 3.2 Isolante térmico

Para a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), o isolante térmico é um material de condutividade  $\leq 0,065$  W/(m.K) e deve ser dimensionado para aumentar a resistência térmica da parede exterior. Segundo Vicente (2012, apud PERDIGÃO, 2013), o material isolante térmico deve suportar o render, ser pouco permeável à água, ter estabilidade às variações de temperatura e umidade, ter durabilidade e não propagar chamas.

Na Europa, conforme Perdigão (2013), o material mais utilizado como isolante é a placa de espuma de poliestireno expandido (EPS). Outros tipos são: poliuretano, cortiça expandida, lã de madeira, lã mineral e o aerogel que é um produto da nanotecnologia. No Brasil, existe a norma técnica ABNT NBR 11752 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) que classifica os diversos tipos de EPS, porém ela não leva em conta os diversos usos e aplicações do EPS. Assim, utiliza-se da própria ETAG e de outros regulamentos para definir as características que o EPS deve apresentar para ser aplicado no EIFS.

São citados, no Quadro 1, os valores mínimos para a resistência ao cisalhamento, condutividade e módulo de elasticidade do isolante térmico (EPS), conforme a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013) e SINAT 011 (SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS, 2017).

**Quadro 1 – Características do isolante térmico EPS**

Espessura	Mínima de 5 mm (ETAG 004:2013)
Resistência ao cisalhamento <sup>2</sup>	≥ 0,03 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidade transversal <sup>3</sup>	≥ 1,0 N/mm <sup>2</sup>
Condutividade térmica	≤ 0,065 W/(m.K), conforme ETAG 004 ≤ 0,06 W/(m.K), conforme SINAT 011
Resistência térmica	≥ 0,5 m <sup>2</sup> .K / W
Absorção de água total	< 35 %

Fonte: adaptado da Diretriz SINAT 011 – Revisão-2 do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (2017) e ETAG 004 European Organisation for Technical Approvals (2013)

Conforme ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), o isolante necessita ter uma relação entre suas resistências à tração na condição úmida e na condição seca maior que 0,80. Se o isolante apresentar uma relação menor, o ensaio *pull-through*, ou seja, de arrancamento das fixações deve ser realizado em condições úmidas aos 28 dias de exposição e, nesta condição, o revestimento não deve ser do tipo aderido. Essa relação significa que o valor da resistência na condição úmida não pode ser menor, nem igual a 80 % do valor na condição seca. Se o isolante for composto, deve-se verificar se ele obedece a relação da **Equação 1**, que representa uma condutividade térmica equivalente.

$$d / R \leq 0,065 \text{ (W/ (m.K))} \quad (1)$$

Onde:

$d$  = espessura do isolante composto em m;

$R$  = resistência térmica do produto de isolamento ((m<sup>2</sup>. K) /W).

<sup>1</sup> Placa de poliuretano sólido com 90 % de seu volume de aerogel orgânico (2<sup>a</sup>+ CONSTRUÇÃO: Portal de notícias, 2018).

<sup>2</sup> Resistência ao cisalhamento característica (valor mínimo de uma série de testes como substituto do percentil de 5%).

<sup>3</sup> G-Determinado em ensaios com corpos de prova submetidos à cisalhamento puro por torção, pela expressão  $G = t/y$  (MPa ou N/mm<sup>2</sup>); sendo  $t$  = tensão de cisalhamento por torção (MPa) e  $y$  = deformação angular.

Conforme Primo (2008), são pequenos os riscos de acúmulos prolongados de umidade no isolante, porque o EPS tem boa permeabilidade ao vapor d'água. Essa característica permitirá uma secagem mais rápida desse material desde que a condição climática permitir. Dessa forma, quanto maior for a compatibilidade entre as permeabilidades ao vapor de água do render e da placa de isolante, menor serão os riscos desse acúmulo de umidade.

Para o material EPS, a diretriz europeia (ETAG) não estabelece um valor para sua permeabilidade ao vapor de água, porém, o fabricante deve declarar na ETA do produto o valor do coeficiente de resistência à difusão do vapor de água. A deterioração do isolante térmico pode ocorrer se ele tiver contato com a água e/ou se o render apresentar alguma dificuldade para a saída do vapor de água (MALANHO, 2012).

No Brasil, quanto ao comportamento ao fogo, o EPS deve ser avaliado pela NBR 11752 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016) e ETAG 004:2013, devendo ser no mínimo classe F I, II ou III (material retardante à chama). Conforme a Diretriz SINAT, a reação ao fogo das faces externas das paredes de fachada deve estar nas classes I, IIA ou II B, sendo que os materiais empregados no núcleo das paredes devem estar nas classes I, II A ou III A e ensaiados conforme a ABNT NBR 9442.

Destacam-se, ainda, alguns outros critérios que devem ser observados para o bom desempenho do EPS, tais como: resistência à tração  $\geq 150$  kPa, resistência à compressão  $\geq 100$  kPa, permeabilidade ao vapor de água ( $P$ )  $< 0,60$  m, módulo de elasticidade ( $E$ )  $\geq 1.000$  kPa e resistência característica ao cisalhamento ( $f_{rk}$ )  $\geq 0,03$  N/mm<sup>2</sup>, conforme ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013).

### 3.3 Base coat

É uma camada de argamassa de cimento e resinas sintéticas, estruturada por uma tela de fibras de vidro álcali resistente, para melhorar sua resistência à fissuração e aos choques (VEIGA; MALANHO, 2010, p. 2). A tela impede a abertura de fissuras que podem ocorrer no encontro de duas placas de isolante térmico e auxiliam na contenção das dilatações do revestimento (SOUSA, 2010, p. 19). Conforme Pereira (2009), o *base coat* pode ser executado com uma argamassa similar à utilizada como adesivo. Mas, Veiga e Malanho (2010) propõem que as características de flexibilidade (aptidão de dissimular fissuras) e absorção de água por capilaridade também sejam analisadas nessas argamassas.

A tela de fibra de vidro deve ser utilizada em toda extensão do revestimento e em locais mais suscetíveis ao choque, sendo sua resistência a tração no estado novo  $R_t \geq 50$  N/mm<sup>2</sup> (ETAG 004,

---

<sup>4</sup> ETA - European Technical Approval (Aprovação Técnica Europeia). São especificações técnicas para um produto inovador ou grupo de produtos para os quais ainda não há uma norma europeia harmonizada.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013, p. 78). As **Fotografias 1 (a e b)** apresentam o modo de aplicação da tela de fibras de vidro.

A aplicação de um *primer* é opcional, conforme a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), porém tende a melhorar a aderência entre o *base coat* e o acabamento. O acabamento, segundo Malanho (2012), fornece ao revestimento uma proteção complementar contra as intempéries e contribui para a resistência aos impactos, além do aspecto estético.

#### Fotografias 1a e 1b – Tela de fibras de vidro



(a) aplicação de tela de fibras de vidro



(b) imprimação da tela

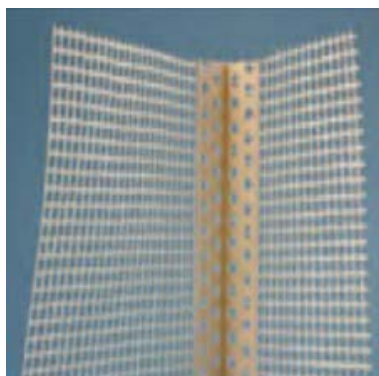
Fonte: Veiga e Malanho (2006)

### 3.4 Componentes auxiliares básicos

Os principais componentes auxiliares são os perfis de quina, perfis de arranque e os acessórios de fixação, como as buchas e pregos. O perfil em forma de "U" deve ser fixado no substrato por parafusos no limite inferior da alvenaria, servindo de arranque horizontal e em nível para iniciar a colocação das placas isolantes. Esses são uma proteção para que a umidade por capilaridade não chegue até o revestimento. Segundo Primo (2008), o perfil de esquina, canto ou perfil ângulo pode ser metálico ou PVC, colado em tela de fibra de vidro. Esse perfil reforça os pontos críticos como os cantos que suportam impactos, dá verticalidade e alinhamento e forma bordas perpendiculares.

As **Fotografias 2 (a e b)** mostram um perfil de esquina ou de canto antes e depois de sua aplicação. O encontro do perfil de esquina com o de arranque é feito em ângulo de 45°.

#### Fotografias 2a e 2b – Perfis de esquina



(a) perfil de esquina com tela



(b) perfil de esquina aplicado

Fonte: Veiga e Malanho (2006); Asociación de Fabricantes de Morteros y et al. SATE (2017)

Outros componentes básicos são as fixações mecânicas, colocadas sobre o EPS fixando-o ao substrato, que são buchas de polipropileno com prego de aço ou de plástico. A quantidade de fixações mecânicas depende das condições da face externa do substrato e do modo de aplicação do adesivo, devendo-se utilizar no mínimo duas fixações mecânicas por placa, se o adesivo for distribuído homogeneamente no verso da placa de isolante.

As **Fotografias 3 (a, b e c)** mostram a aplicação de adesivo, a furação no EPS e a colocação de bucha e prego.

#### Fotografias 3a, 3b e 3c – Aplicação de adesivo e fixação mecânica



(a)



(b)



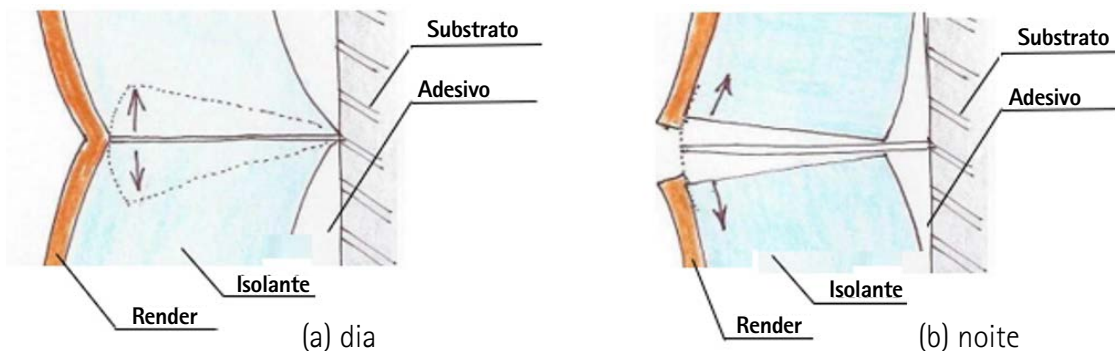
(c)

Fonte: Asociación de Fabricantes de Morteros y et al. SATE (2017)

## 4 Comportamento mecânico

O comportamento mecânico do revestimento EIFS, conforme Freitas e Gonçalves (2015), depende das dilatações térmicas das camadas que ocorrem devido às diferenças de temperatura do dia e noite e, mais intensamente, com as diferenças do clima no inverno e no verão. As **Figuras 2 (a e b)** apresentam as deformações que ocorrem durante o dia e noite na placa de isolante térmico.

Figuras 2a e 2b - Comportamento do isolante



Fonte: Freitas e Gonçalves (2015)

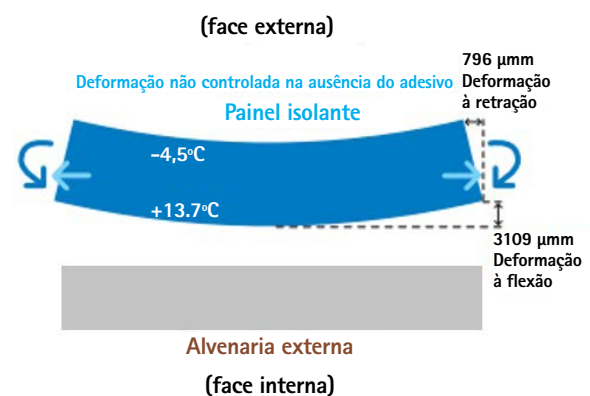
Para exemplificar as deformações do revestimento no inverno e verão, apresenta-se a **Figura 3** que representa o comportamento da placa de isolante, num dia de inverno europeu, considerando o substrato como uma base rígida, ou seja, com a deformação controlada e a Figura 4 representando o isolante porém com a deformação não controlada, ou seja, com a placa de isolante deformando-se livremente. No verão, a deformação da placa inverte-se, ou seja, a face exterior está sujeita às forças de tração.

Figura 3 - Comportamento do EPS com sua deformação controlada



Fonte: Mapei Spa (2011)

Figura 4 - Comportamento do EPS com sua deformação não controlada

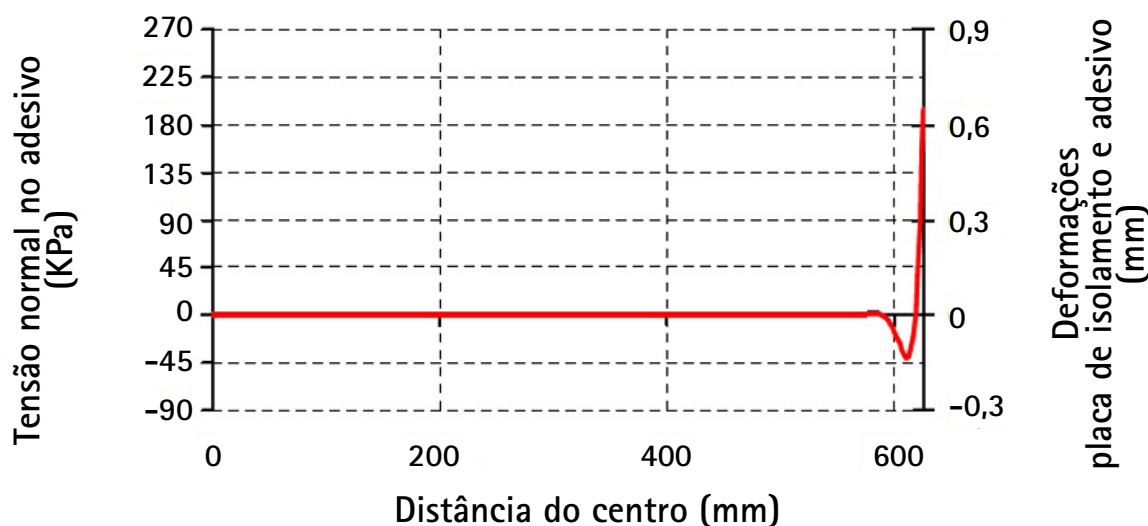


As regiões mais solicitadas do adesivo estão próximas às bordas da placa de isolante e na interface do adesivo com o substrato onde ocorrem as mais altas tensões de tração, conforme Collina e Lignola (2010). Segundo a ETAG 004 (EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), a resistência mínima de aderência para o revestimento (interface adesivo e isolante) não se descolar do substrato é  $R_a \geq 0,25 \text{ N/mm}^2$  (0,25 MPa) em condições secas. No entanto, entre o adesivo e o isolante térmico a resistência é em torno de 0,08 MPa, sendo similar ao valor entre o *base coat* e o isolante térmico, pois nesses casos a ruptura ocorre no isolante (ruptura coesiva).

Para estudo das deformações, Collina e Lignola (2010) estabeleceram como hipótese que no centro do isolante (metade do comprimento e da espessura) as forças e rotações são nulas e nas bordas, quando estão restritas, ocorrem as maiores tensões e deformações.

A **Figura 5** apresenta o gráfico das tensões normais da seção transversal do conjunto adesivo-isolante, para a situação de uma das borda estar restrita. Nessa figura, o centro do isolante é  $x=0$ . As tensões desse estudo foram calculadas considerando um gradiente térmico na seção do isolante de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  (condições de inverno), obtendo-se uma tensão na borda do isolante em torno de 195 kPa e um deslocamento em torno de 0,7 mm.

**Figura 5 – Gráfico das tensões normais e das deformações no conjunto adesivo-isolante (seção transversal do isolante)**



Fonte: Collina e Lignola (2010)

Barreira e Freitas (2016) explicam que quanto mais próximos forem os coeficientes de dilatação térmica dos componentes, melhor será o desempenho do revestimento. O coeficiente de dilatação térmica das argamassas poliméricas tem valor aproximadamente  $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , semelhante ao coeficiente das vedações de blocos de concreto, e ao coeficiente da tela de fibras de vidro que variam de  $0,9$  a  $1,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . O coeficiente do EPS, no entanto, é aproximadamente de  $5 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  a  $7 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  o que justifica maiores dilatações nas faces do EPS. Conforme Duarte (2008), o módulo de elasticidade do adesivo é menor que o das argamassas comuns, porém, muito superior ao do

EPS e, conforme Collina e Lignola (2010), as tensões de cisalhamento são geradas na interface do isolante com o adesivo, em razão das movimentações diferenciais da placa de isolante. Para a placa de isolante, necessita-se prever um fator de segurança. Collina e Lignola (2010) afirmam que a tensão máxima no isolante é praticamente independente da sua espessura, porém, a tensão crítica se relaciona com essa; assim, quanto menor a espessura, maior será a possibilidade de falhas de estabilidade. Ainda influenciam negativamente, ou seja, reduzem a estabilidade: a falta de planeza da placa de isolante e seus defeitos de fabricação (descontinuidades/fissuras/vazios); e a esbeltez da placa e o módulo de elasticidade.

A tensão de compressão normal advém, principalmente, de impactos no revestimento e a tensão de tração normal de solicitações dos ventos. Segundo Pereira (2009), as ações devidas ao vento devem ser suportadas pelo conjunto de componentes do revestimento e se deve utilizar um fator de segurança estabelecido por normas nacionais para determinar a carga de vento solicitante. Ainda, para garantir o desempenho, conforme a ETAG 004 ((EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS, 2013), deve-se consultar as normas de cada país referentes ao dimensionamento as cargas de vento, a localidade e considerar a arquitetura da edificação, pois, para atendê-las, pode-se necessitar de uma quantidade maior de fixações mecânicas que a considerada mínima obrigatória.

Collina e Lignola (2010) afirmam que a qualidade do isolante influencia na estabilidade, mas um fator predominante é a aplicação do adesivo, a qual deve ser feita em toda a superfície da placa de EPS. A **Fotografia 4** mostra a queda do revestimento de toda uma fachada, permitindo-se verificar que o adesivo foi aplicado inadequadamente.

#### Fotografia 4 – Falha na estabilidade



Fonte: Moreira (2015)

## 5 Conclusão e considerações finais

O estudo das características mecânicas do revestimento EIFS e de seus componentes, conforme apresentado, é importante para a verificação do desempenho estrutural desse revestimento, sendo a compatibilidade em termos de variação térmica entre os componentes do EIFS é a chave para o seu bom desempenho.

O substrato, de forma sucinta, deve garantir a estabilidade e atender suas normas específicas, e suas características definem o tipo de isolante e o modo de fixação. A resistência de aderência do adesivo (e camadas do *base coat*) é o que garante a atuação conjunta dos elementos.

O isolante aumenta a resistência térmica da parede, porém seu coeficiente de dilatação e seu módulo de elasticidade diferem dos outros componentes. Sua dilatação causa tensões que exigem maior resistência de aderência. Assim, sua resistência à tração também deve ser verificada de forma que esse suporte as tensões de arrancamento. O *base coat* atua de forma a conter as dilatações, e os componentes auxiliares são importantes reforços. As fixações mecânicas no tipo de EIFS tratado neste artigo são suplementares, porém são importantes para auxiliar a manutenção da estabilidade em todos os tipos de EIFS.

Observa-se que quanto mais próximos os valores dos coeficientes de dilatações térmicas dos componentes e do substrato, mais próximos os valores de suas deformações térmicas e melhor o desempenho. O conhecimento do comportamento mecânico do revestimento justifica a necessidade de aplicação de adesivo em toda a superfície da placa de isolante, pois a falta desse faz com que o comportamento mecânico do revestimento se assemelhe ao de uma viga simplesmente apoiada, surgindo tensões que não podem ser suportadas. Observa-se ainda que a quantidade mínima de fixações mecânicas deve ser utilizada em todos os tipos de revestimentos EIFS, além das razões expostas, em favor da segurança.

## 6 Referências

ANTUNES, Giselle Reis. **Contribuição para avaliação de desempenho de revestimentos de argamassa reforçados com telas metálicas**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/148684>. Acesso em: 04 jun. 2018.

ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE MORTEROS Y ET AL SATE. **Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE)**. ANFAPA Disponível em: <http://www.anfapa.com/es/sate>. Acesso em: 22 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752-2016**: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas define poliestireno expandido. Rio de Janeiro, 2016.

BARREIRA, Eva; FREITAS, Vasco de Peixoto. **External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS): an Evaluation of Hygrothermal Behaviour**. Suíça: Springer International Publishing AG Switzerland is part of Springer Science+business Media, 2016. 71 p.

COLLINA, Amilcare; LIGNOLA, Gian Piero. The External Thermal Insulation Composite System (EIFS) More than comfort and energy saving. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2010, Lisboa, Portugal. **Comunicações...** Lisboa: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 2010. p. 1 - 11. Disponível em: [http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper\\_09\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper_09_2010.pdf). Acesso em: 08 nov. 2017.

DUARTE, Carlos. **Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção**: Tema 3 - Argamassas de Reboco e Monomassas (EN 998-1). Lisboa, Portugal: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 2008. 61 p. Disponível em: [http://www.apfac.pt/monografias/Monografia\\_Rebocos\\_e\\_Monomassas\\_v1Mai08.pdf](http://www.apfac.pt/monografias/Monografia_Rebocos_e_Monomassas_v1Mai08.pdf). Acesso em: 10 nov. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2019 – Relatório Síntese / Ano Base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. 67 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório%20Síntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2020.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. **ETAG 004**: Guideline for european technical approval of external thermal insulation composite systems with rendering. Brussels: EOTA, 2013. 143 p. Disponível em: <http://www.apfac.pt/docs/2011-1st-progress-file-etag-004.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2018.

FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de; GONÇALVES, Pedro Filipe. **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior – Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido – EIFS**. Porto: FEUP - Unidade de Formação Contínua, 2015. 66 slides, color. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/EIFS.pdf>. Acesso em: 30 set. 2017.

FREITAS, Vasco Manuel Araújo Peixoto de; MIRANDA, Andreia Mota. **Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS**. Porto: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e Etics, 2014. 37 p. (Relatório – LFC-IC-282A). Disponível em: <https://www.apfac.pt/patologias/LFC-IC-282A-2014.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

MALANHO, Sofia de Olivença. **Avaliação do desempenho de EIFS com acabamento de ladrilhos cerâmicos**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2012. Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/9425>. Acesso em: 30 nov. 2017.

MAPEI SPA. **Technical Notebook MAPETHERM – External thermal insulation composite system for buildings**. Milan, Italy: Mapei Spa, 2011. 52 p. Disponível em: <https://www.ribaproductselector.com/Docs/3/09563/external/COL238656.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2017.

MOREIRA, Nelson. **Patologias de Sistemas do tipo ETICS**: Porto, PT, 2015. 12 slides, color. Disponível em: <https://docplayer.com.br/54679380-Patologias-de-sistemas-de-isolamento-termico-pelo-exterior-do-tipo-etics.html>. Acesso em: 25 jan. 2019.

PERDIGÃO, Mário Nuno Lopes Vitorino. **Análise de Ciclo de Vida de duas soluções de EIFS**. 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa - PT, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3408/1/Dissertação.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

PEREIRA, Fernando Pedro Fernandes. **Avaliação laboratorial do desempenho do EIFS**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil - Especialização em Construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto - PT, 2009. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60469/1/000135685.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

PRIMO, André Duarte de Oliveira. **Estudo da durabilidade de materiais e sistemas construtivos: Sistema EIFS**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: [https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59584/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59584/2/Texto%20integral.pdf). Acesso em: 11 nov. 2017.

SILVA, Luís Prata. **Patologias de sistemas de isolamento térmicos pelo exterior tipo ETICS**. Porto: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 2015. 12 slides, color. Disponível em: <https://docplayer.com.br/54679380-Patologias-de-sistemas-de-isolamento-termico-pelo-exterior-do-tipo-etics.html>. Acesso em: 25 jan. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretrizes para avaliação técnica de produtos diretriz SINAT n° 005** – revisão 02: Sistemas construtivos estruturados em peças leves de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas (Sistemas leves tipo "Light Wood Framing"). Brasília: SINAT, 2017. 71 p. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=e4d0ffb0-df04-46c0-9b03-170fd4819db9&text=.pdf&cd=1876>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

SOUSA, Luís Filipe Tavares Teixeira de. **Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil – ETICS**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58981/1/000143518.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

VEIGA, Maria do Rosário; MALANHO, Sofia. **ETICS e argamassas térmicas: novos desafios de desempenho e sustentabilidade**. Lisboa: LNEC, 2006. 52 p.

VEIGA, Maria do Rosário; MALANHO, Sofia. Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (EIFS): Comportamento global e influência dos componentes. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010, Lisboa, Portugal. **Comunicações...** Lisboa: Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, 2010. v. 1, p. 1 - 12. Disponível em: [http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper\\_07\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper_07_2010.pdf). Acesso em: 28 nov. 2017.

ZAGORSKAS, Jurgis et al. Energetic Refurbishment of Historic Brick Buildings: Problems and Opportunities. **Scientific Journal of Riga Technical University. Environmental and Climate Technologies**, v. 12, n. 1, p. 20-27, 1 Dec. 2013. <http://dx.doi.org/10.2478/rtuect-2013-0012>. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?q=Energetic+Refurbishment+of+Historic+Brick+Buildings:+Problems+and+Opportunities&hl=pt-BR&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholart](https://scholar.google.com.br/scholar?q=Energetic+Refurbishment+of+Historic+Brick+Buildings:+Problems+and+Opportunities&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart). Acesso em: 04 nov. 2019.



# Avaliação da segurança contra incêndio de sistemas construtivos

*Fire safety assessment of constructive systems*

Antonio Fernando Berto<sup>a\*</sup>; Carlos Roberto Metzker de Oliveira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Segurança ao Fogo e a Explosões, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

\*E-mail: [afberto@ipt.br](mailto:afberto@ipt.br)

## Resumo

Discute-se a abordagem da avaliação de desempenho, relativa à segurança contra incêndio, desde a análise do projeto do sistema construtivo, passando por questões associadas à definição de ensaios e corpos de prova, à análise de resultados obtidos nos ensaios e à avaliação de aspectos relativos ao projeto. O presente trabalho descreve a abordagem técnica utilizada na avaliação do desempenho de materiais e sistemas de proteção contra incêndio das edificações, com o objetivo de mostrar a importância da adoção integral dos requisitos e critérios estabelecidos nas normas e regulamentos de segurança contra incêndio.

Palavras-chave:  
segurança contra incêndio;  
desempenho; sistemas  
construtivos.

*Keywords:*  
*fire safety; performance;*  
*Bbuilding systems.*

## Abstract

*Fire-safety-performance evaluation is discussed based on the analysis of the construction system design, on questions associated with the definition of tests and specimens, on the analysis of the results obtained in tests and on the evaluation of project related aspects. This paper describes the technical approach used in the performance evaluation of fire-protection building materials and systems, with the aim at evaluating the importance of fully adopting the requirements and criteria set for fire safety standards and regulations.*

## 1 Introdução

As ações que definem segurança contra incêndio, e que devem ser consideradas em uma avaliação técnica, sob a ótica de desempenho, dividem-se em duas categorias: preventivas, cujo intuito é prevenir a ocorrência do início do incêndio e, protetoras, que têm o sentido de limitar os danos ou perdas que podem ser ocasionadas pelo desenvolvimento do incêndio.

A prevenção de incêndios em edificações habitacionais está fortemente relacionada ao projeto e execução das instalações de serviço, de modo geral e, em especial, das instalações elétricas. Bem como aos seus processos de manutenção e operação. Estatisticamente, falhas nas instalações elétricas se destacam entre as causas mais frequentes de incêndios no ambiente doméstico.

A proteção contra incêndio também está associada ao processo produtivo (concepção, projeto e construção) e ao uso da edificação (operação e manutenção). No uso das edificações, a proteção contra incêndio se relaciona às ações no momento da emergência (de combate ao foco e de abandono da edificação) e à manutenção dos sistemas de proteção contra incêndio, com o objetivo de mantê-los em prontidão operacional.

No processo produtivo, as ações de proteção se dividem em duas categorias: ativas e passivas. As primeiras correspondem, correntemente, nos casos de edificações residenciais multifamiliares, aos sistemas de proteção por extintores, de hidrantes, de iluminação de emergência e de alarme de incêndio. As ações passivas estão intrinsecamente associadas ao sistema construtivo em si (partes do edifício), e seus respectivos detalhes construtivos (soluções de interface).

O estabelecimento de requisitos e critérios de desempenho, com relação à segurança contra incêndio, deve levar em conta as etapas de evolução do incêndio e considerar o atendimento das seguintes premissas, que caracterizam a segurança das edificações:

- a) capacidade de limitar o risco de início de incêndio;
- b) capacidade de assegurar o abandono rápido e seguro da população do edifício;
- c) capacidade de dificultar o rápido crescimento de incêndio no ambiente de origem;

- d)** disposição de meios para garantir o combate ao incêndio em seu estágio inicial;
- e)** capacidade de limitar da propagação do incêndio dentro da edificação;
- f)** capacidade de limitar da propagação do incêndio para edificações adjacentes;
- g)** capacidade de suportar a ação do incêndio sem sofrer o colapso estrutural;
- h)** capacidade de facilitar as ações externas de combate e resgate.

O atendimento a cada uma dessas premissas depende da adoção de ações de prevenção e proteção contra incêndio que devem ser consideradas no projeto dos edifícios e suas partes (sistemas construtivos), definindo requisitos que devem ser comprovados por meio de correspondentes critérios de avaliação.

Nesse sentido, este artigo objetiva discutir a abordagem que deve ser adotada por uma avaliação técnica, cujo enfoque é o desempenho da edificação com relação à segurança contra incêndio, sendo que tal avaliação tem como pressuposto a adoção integral dos requisitos e critérios definidos na norma NBR 15575, partes 1 a 6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013e; 2013f; 2013g; 2013h; 2013i; 2013j), de outras normas da ABNT referenciadas e de regras de segurança contra incêndio definidas pelos Corpos de Bombeiros.

Este artigo foi desenvolvido com base em revisão bibliográfica, análise de resultados de ensaios e experiência dos autores no tema.

## 2.2 Processo de avaliação de desempenho

### 2.1 Reconhecimento, no projeto, do sistema construtivo e dos detalhes construtivos de interface

A segurança contra incêndio depende de detalhes que compõem o edifício e suas partes, tais como materiais empregados, processo construtivo adotado, sistema estrutural, composição de cada elemento construtivo, ligações entre elementos construtivos, características das vedações internas e externas, forros empregados, cobertura, revestimentos empregados e respectiva forma de aplicação, etc.; enfim, todos os detalhes são relevantes e devem ser reconhecidos no processo de avaliação técnica sob a ótica de desempenho.

A avaliação de desempenho da edificação pode ser feita antes da construção do protótipo, ou seja, por meio de seus projetos e respectivos memoriais descritivos. Dessa maneira, o projeto será peça fundamental, e, por conta disso, deve ser o mais completo possível, incluindo todos os detalhes construtivos possíveis.

Considerando tal abordagem, durante o processo de avaliação, encontra-se uma série de dificuldades. Isto corresponde ao fato de que os projetos, em inúmeras situações, apresentarem indefinições e falta de detalhamento. É necessário destacar que quando se consideram sistemas construtivos convencionais, cujos projetos não sejam extensamente detalhados, embora não sejam situações desejáveis, os detalhes construtivos são reconhecidos e não geram, de modo geral, dificuldades incontornáveis no processo produtivo (construção da edificação). O mesmo não ocorre relativamente a sistemas construtivos inovadores que devem ser submetidos à avaliação de desempenho.

É comum encontrar situações em que as soluções construtivas não estejam totalmente desenvolvidas, para as quais ainda haja alternativas possíveis ou dúvidas, e que naturalmente se deseja que a própria avaliação seja capaz de resolver. Essa não é uma abordagem inadequada, na medida em que o processo de avaliação de desempenho também se constitui em ferramenta fundamental para o desenvolvimento/ aprimoramento de sistemas construtivos. Desta forma, a primeira etapa da avaliação de desempenho precisa corresponder à análise de projeto, cujo objetivo é reconhecer as especificações técnicas do sistema construtivo e seus respectivos detalhes construtivos de interface.

Observa-se, diante do exposto, de que a primeira etapa da avaliação de desempenho deve corresponder à análise de projeto, cujo objetivo é reconhecer as especificações técnicas do sistema construtivo e seus respectivos detalhes construtivos de interface. Nessa etapa, o papel do laboratório que está conduzindo esta avaliação é importante, pois poderá auxiliar o desenvolvedor do sistema construtivo no aprimoramento das definições do projeto, indicando aspectos que devem ser considerados de modo a se alcançar o atendimento às exigências de desempenho requeridas.

## 2.2 Avaliações realizadas no projeto

É necessário comprovar, por meio de análise de projeto, que a ocorrência de princípio de incêndio é dificultada, tendo em conta as premissas adotadas no projeto e na construção da edificação. Essa análise deve envolver a proteção contra descargas atmosféricas, proteção contra o risco de ignição nas instalações elétricas e proteção contra risco de vazamento em instalações de gás, conforme definido na norma NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013e).

Também é necessário comprovar, analisando-se o projeto arquitetônico, que as rotas de saída de emergência dos edifícios atendam ao disposto na NBR 9077 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001b).

No caso da implantação de conjuntos habitacionais, deve-se analisar, em projeto, a condição de isolamento de risco entre edificações. Caso não seja possível o atendimento ao critério de isolamento de risco à distância ou por proteção, a edificação não é considerada independente, e o dimensionamento das medidas de proteção contra incêndio deve ser feito considerando o conjunto de edificações como uma única unidade.

A minimização do risco de colapso estrutural também pode ser analisada em projeto, ou por meio de ensaios de resistência ao fogo. A análise do projeto estrutural, em situação de incêndio, deve comprovar o atendimento das seguintes normas relativas a projeto estrutural: NBR 14323 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013d), para estruturas de aço; e NBR 15200 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), para estruturas de concreto. Para as demais estruturas aplica-se o Eurocode correspondente, em sua última edição.

Apesar disso, existem sistemas construtivos que devem ser especialmente considerados em relação à resistência ao fogo, como é o caso em que os elementos estruturais são compostos por materiais combustíveis, ou seja, madeira e materiais poliméricos reforçados com fibras. Esses materiais alimentam sua própria combustão após o incêndio extinguir-se. Se não houver, em razão da dificuldade de combate, uma ação decisiva de extinção total do fogo, a estrutura poderá continuar queimando e se consumir a ponto de chegar ao colapso, mesmo que o dimensionamento para o tempo requerido de resistência ao fogo tenha sido comprovado como satisfatório. Essa situação exige proteções mais robustas da estrutura contra a ação do incêndio, de forma que seu processo de combustão sequer se inicie.

No Brasil, os ensaios para verificação do tempo de resistência ao fogo de um elemento estrutural, seja pilar, parede ou piso, são realizados segundo a NBR 5628 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001a) que estabelece a aplicação, durante o período do ensaio pretendido, de carregamento que origine esforço da mesma natureza e de mesma ordem de grandeza do produzido em temperaturas normais nos elementos em situação de uso. Essa norma também estabelece que, após o término do período de ensaio, o forno seja desligado, sem que as chamas oriundas do elemento ensaiado sejam apagadas, e que após 24 horas do início do ensaio, a carga seja reaplicada.

Os ensaios em elementos de vedação (sem função estrutural) são realizados conforme critérios da norma NBR 10636 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), que não requer a aplicação de qualquer tipo de carregamento durante o ensaio, porém, três minutos antes do término do tempo de ensaio previsto, a estabilidade deve ser confirmada por meio da aplicação de três choques mecânicos. A superfície não exposta ao fogo do corpo de prova deve ser submetida ao impacto de uma esfera de aço em movimento pendular, com a energia de 20 J, em três pontos distintos do corpo de prova, alinhados horizontalmente a 1,40 m da base deste. Juntamente com o critério de estabilidade, também são analisados os critérios de estanqueidade e isolamento térmico durante o ensaio para ambas as situações, ou seja, elementos com e sem função estrutural.

Com relação aos sistemas de proteção ativa, ou seja, sistemas de extinção, alarme, iluminação de emergência e sinalização de emergência, obrigatórios de acordo com as regulamentações dos Corpos de Bombeiros estaduais, de modo compatível com o porte da edificação habitacional multifamiliar, devem ser analisados em projeto, verificando-se o atendimento, respectivamente, das seguintes normas: ABNT NBR 12693 e NBR 13714; NBR 17240; NBR 10898; e NBR 13434 (Partes 1, 2 e 3) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013c; 2000; 2010; 2013b; 2004). Após essa etapa, a avaliação de desempenho deve prosseguir, envolvendo mais estritamente o sistema construtivo em si.

### 2.3 Avaliação da reação ao fogo

Os ensaios, que a metodologia de avaliação de desempenho de segurança contra incêndio propõe, sempre devem ser executados em partes do edifício, ou seja, em elementos ou produtos que o compõem, reproduzindo os detalhes devidamente definidos e reconhecidos no projeto. Tratam-se de ensaios de reação ao fogo e de resistência ao fogo destinados a avaliar dois importantes aspectos da proteção passiva contra incêndio.

Os ensaios de reação ao fogo estão voltados para a verificação da capacidade de o sistema construtivo dificultar: o surgimento do incêndio; seu crescimento no ambiente de início; sua propagação dentro do edifício; sua propagação para edificações vizinhas; e, ainda, o desenvolvimento de fumaça, capaz de dificultar o abandono (no estágio inicial do desenvolvimento do incêndio). Esses ensaios aplicam-se aos materiais empregados nos sistemas construtivos, como revestimentos superiores e inferiores de sistemas de piso e de vedações internas e externas, à cobertura e a materiais empregados como isolamento térmico de tubulações e de elementos construtivos de modo geral, bem como a produtos empregados na impermeabilização e tratamentos acústicos. Em todos esses casos, os corpos de prova devem recompor espessuras, formas de aplicação e substratos reais.

Os ensaios de reação ao fogo, quando executados em produtos que compõem integralmente o elemento construtivo, como forros ou mesmo vedações verticais etc., devem incorporar todos os materiais que os constituem, reproduzindo trechos, considerados como críticos, destes elementos. Nesse sentido o reconhecimento do sistema construtivo, por parte do laboratório avaliador, é considerado como de importância fundamental.

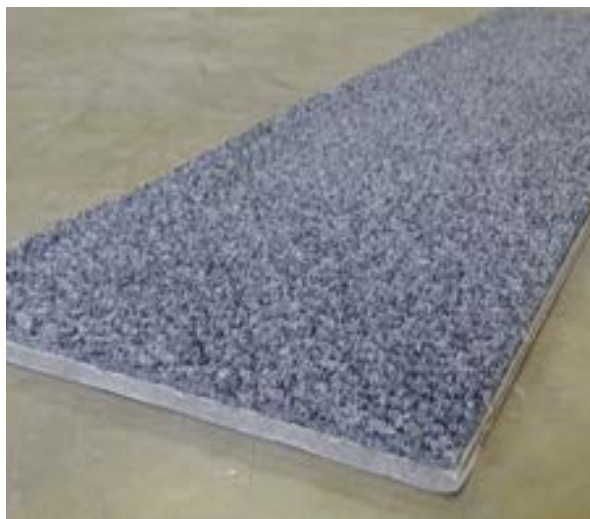
Para exemplificar, um revestimento de piso a ser aplicado em uma edificação conforme critérios da norma ABNT NBR 15575-3 deve apresentar classe de reação ao fogo de, no máximo, IV A (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013g). O numeral IV está relacionado com o comportamento de queima do produto e a letra A relacionada à densidade óptica de fumaça que pode ser gerada. Tal classificação exige que o produto seja submetido aos ensaios estabelecidos nas normas NBR 8660 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), que mede o fluxo crítico de energia radiante, ISO 11925-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2010), que verifica a ignitabilidade e métodos relacionados ao comportamento de queima, e ASTM E662 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2017), que mede a densidade óptica de fumaça, método relacionado à liberação de fumaça.

O projeto desse revestimento deve considerar as classes e critérios de segurança contra incêndio e buscar no mercado produtos que comprovadamente atendam às exigências estabelecidas no projeto. Tal abordagem exige que os fabricantes desenvolvam produtos, demonstrando por meio de ensaios realizados em laboratórios especializados, que apresentem bom comportamento e que atendam a critérios vigentes nas normas de avaliação de desempenho.

Para realizar, por exemplo, o ensaio aplicado a revestimentos de piso, conforme as normas ABNT NBR 8660, ISO 11925-2 e ASTM E662 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2010; AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2017), o laboratório, tendo como base o método de ensaio e os equipamentos envolvidos, solicita que sejam preparados corpos de prova, cada qual em suas dimensões específicas, respeitando todos os detalhes de aplicação do produto na prática, como por exemplo, utilização de adesivo para a sua instalação, apresentada na **Fotografia 1**. A **Fotografia 2** mostra o ensaio para a verificação da ignitabilidade, a **Fotografia 3** o ensaio de determinação do fluxo crítico de energia radiante e a **Fotografia 4** o ensaio para a determinação da densidade óptica de fumaça.

Nos casos de ocupações não abrangidas na norma ABNT NBR 15575, a seleção de materiais de revestimento de pisos, paredes e tetos, de isolamento termo acústico, dos forros, das fachadas, coberturas etc., sob o ponto de vista da segurança contra incêndio, deve levar em conta as características levantadas de reação ao fogo, através dos ensaios laboratoriais normalizados, considerando as exigências contidas nas regulamentações estaduais dos Corpos de Bombeiros. Essas exigências consideram a ocupação, a função dos produtos nos distintos ambientes das edificações e as características da aplicação de uso final destes produtos. Com tais informações, o arquiteto ou engenheiro deve indicar, nos projetos, as classes dos materiais que serão empregados. No desenvolvimento destes projetos, devem ser definidos quais produtos serão empregados e a forma como estes devem ser aplicados. Para isto, será necessário que fornecedores dos produtos especificados apresentem todos os dados técnicos relativos à classificação dos materiais, que comprovem seus enquadramentos nas classes definidas de reação ao fogo.

Fotografia 1 – Exemplo de corpo de prova para ensaio, para avaliação de revestimento de piso



Fotografia 2 – Ensaio para a verificação da ignitabilidade do material



Fotografia 3 – Ensaio para a determinação do fluxo crítico de energia radiante do material



Fotografia 4 – Ensaio para a determinação da densidade óptica de fumaça do material



Fonte: autores (2019)

## 2.4 Avaliação da resistência ao fogo

Os ensaios de resistência ao fogo aplicam-se a elementos estruturais e de compartimentação, e estão associados à fase em que o incêndio alcançou desenvolvimento pleno em, pelo menos, um ambiente (onde se originou). Tem-se aí o calor, desenvolvido em razão acentuada, penetrando no elemento construtivo, comprometendo suas propriedades mecânicas, ameaçando sua estabilidade e integridade, e definindo transversalmente, quando o elemento tiver função de compartimentação (paredes e entrespos), um gradiente de temperatura que pode favorecer, na face oposta ao fogo, a propagação do incêndio para ambientes adjacentes.

Esses ensaios devem ser executados em corpos de prova de grandes dimensões, que reproduzam vínculos, juntas, espessura, condições de umidade natural etc. e todos os detalhes construtivos, reproduzindo da melhor maneira possível tudo o que está previsto em projeto, onde podem ser aplicados carregamentos de mesma ordem de grandeza daqueles a que os elementos construtivos estariam submetidos em condições de incêndio, gerando esforços de mesma natureza dos reais.

Esses ensaios também se aplicam às selagens dos shafts ou de passagem das instalações, bem como, às selagens perimetrais e a todas as situações particulares que se justificarem, em razão de características especiais decorrentes de aspectos inovadores do sistema construtivo em avaliação.

A norma NBR 15575-4 propõe que o ensaio de resistência ao fogo desses elementos seja realizado conforme norma NBR 5628 para componentes construtivos estruturais e, de acordo com a norma NBR 10636, para elementos construtivos de vedação (sem função estrutural) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013h; 2001a; 1989). Os corpos de prova, nesses dois métodos, diferem consideravelmente: na situação estrutural, além do corpo de prova ser submetido a carregamento, não deve apresentar vínculos nas bordas laterais, que não devem sequer estar encostadas no quadro de ensaio; já na situação não estrutural, os corpos de prova devem estar encostados no quadro de ensaio em suas quatro bordas. Realizar ensaios em paredes estruturais vinculadas lateralmente pode falsear os resultados obtidos.

De acordo com os procedimentos do método de ensaio NBR 10636 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), para realizar um ensaio de resistência ao fogo em parede de blocos de vedação para compartimentação de ambientes, após a montagem, acondicionamento e definição do tempo de resistência ao fogo, o corpo de prova é colocado em frente a um forno de ensaio com dimensões aproximadas de 3 m x 3 m, de modo a expor uma das faces a uma elevação padronizada de temperatura definida nos métodos de ensaio. As dimensões do corpo de prova não podem ser inferiores a 2,5 m de largura por 2,5 m de altura e, ainda, não devem ser maiores que as dimensões da boca do forno de ensaios, pois devem ser exposto às condições de aquecimento em toda a sua superfície, incluindo sua região de contato com o quadro de montagem. O corpo de prova é instrumentado com sensores de temperatura (termopares) em pontos definidos na face não exposta ao fogo. O ensaio é iniciado com a elevação de temperatura interna do forno, a partir da temperatura ambiente, até o tempo pretendido de classificação do elemento ou até ter ocorrido a falha, de um ou dos dois critérios que condicionam a resistência ao fogo: integridade e isolamento térmico. A

**Fotografia 5** mostra a montagem do corpo de prova, no caso uma parede de vedação de blocos de concreto, a **Fotografia 6** o ensaio de resistência ao fogo nesta mesma parede e a **Figura 1** o gráfico de evolução da temperatura no corpo de prova em função do tempo, obtido durante a realização do ensaio por meio de sistema de aquisição de dados, onde G1, G2 e G3 são os grupos de termopares localizados na face não exposta ao fogo, para a medição do isolamento térmico do corpo de prova.

Fotografia 5 – Preparação do corpo de prova para a realização do ensaio

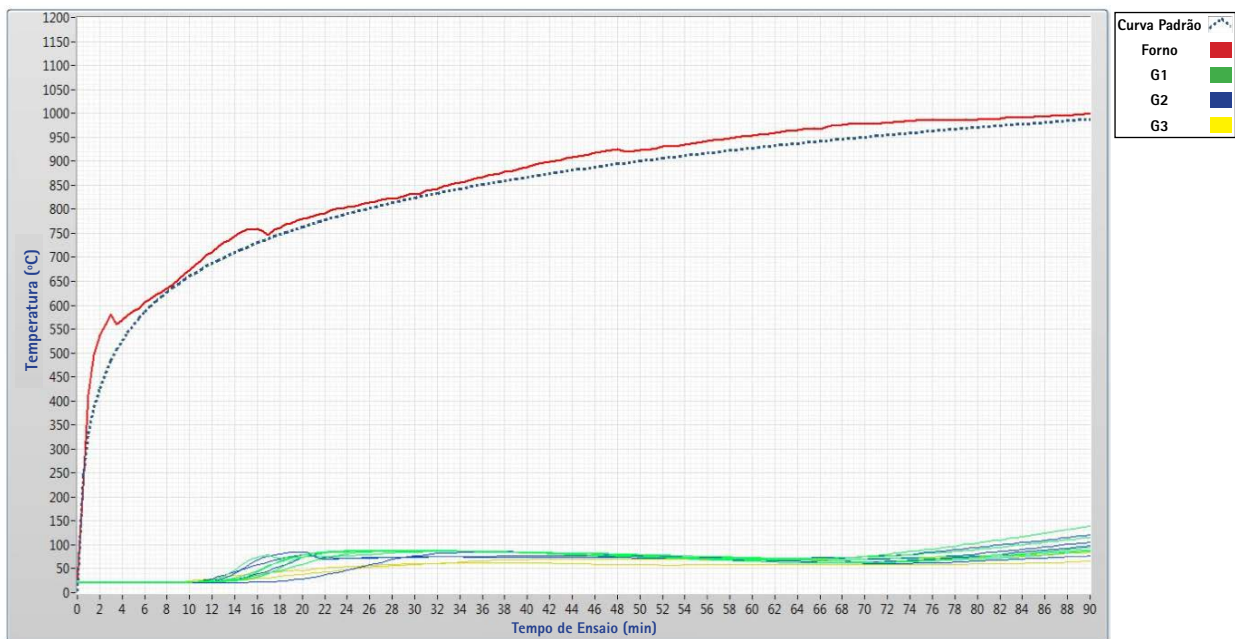


Fotografia 6 – Ensaio de resistência ao fogo em parede sem função estrutural



Fonte: autores (2019)

Figura 1 – Gráfico das medidas de temperatura obtidas durante a realização do ensaio



Fonte: elaborado pelos autores (2019)

Deve-se ter claro que o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é um parâmetro de projeto e não representa o tempo de duração do incêndio, tempo de evacuação da edificação ou mesmo tempo de resposta do Corpo de Bombeiros para o início do combate ao incêndio. A imensa maioria de localidades no Brasil não dispõe sequer do serviço de Corpo de Bombeiros. O tempo de abandono da edificação, para qualquer ocupação, inclusive as residenciais, deve ser muito menor que o menor tempo requerido de resistência ao fogo. Também, quando da ocorrência de um incêndio real, de duração igual ou mais curta ou mais longa que o TRRF, dependendo de seu potencial destrutivo (quantidade de calor liberada que penetra nos elementos construtivos), pode ter efeito equivalente ou totalmente distinto sobre os elementos construtivos.

O TRRF, inclusive no caso de edificações habitacionais, deve propiciar uma margem de segurança, de forma que a estrutura suporte a ação completa do incêndio, sem que qualquer tipo de intervenção tenha sido desenvolvida, capaz de minimizar seu efeito. Uma exceção para isso, que deveria ser tecnicamente debatida no Brasil, especialmente para o caso de edificações habitacionais multifamiliares, pode decorrer da instalação de sistema de chuveiros automáticos de supressão e controle de incêndio (sistema de sprinklers) nos casos em que o sistema construtivo incorpore carga de incêndio capaz de propiciar incêndios de potencial destrutivo destacado, como pode ser o caso de sistemas construtivos que incorporem o uso intensivo de madeira e/ou em que os elementos estruturais de madeira, de alguma maneira expostos à ação do incêndio, alimentem a própria combustão (após os materiais combustíveis, contidos no local do incêndio, já terem sido consumidos pelo fogo), levando a edificação ao colapso estrutural, uma ou algumas horas após o início do incêndio. Isso pode acontecer mesmo que o dimensionamento para o tempo requerido de resistência ao fogo tenha sido comprovado por meio de método analítico convencional. Outras soluções para isso, que também devem ser tecnicamente debatidas, correspondem ao estabelecimento da ampliação do TRRF ou à adoção de proteções térmicas robustas para os elementos estruturais de madeira, de forma que seu processo de combustão, em situação de incêndio, sequer se inicie.

### 3 Considerações Finais

Ensaio improvisados ou em escala reduzida, bem como a utilização de métodos de ensaio alternativos levam invariavelmente a avaliações equivocadas e, conseqüentemente, a avaliações de desempenho extremamente questionáveis.

Existem casos em que protótipos são montados, mobiliados e o incêndio é propositalmente promovido. Nesses casos, a evolução da temperatura é observada por meio de um conjunto de termopares. Essa abordagem, quase que invariavelmente, leva a avaliações incorretas que confrontam com as obtidas por meio convencional definida na norma ABNT NBR 15575 na qual as normas técnicas nacionais vigentes são consideradas e atendidas.

Os incêndios em edificações habitacionais, na vida real, se repetem com frequência muito superior ao que os não especialistas nessa área imaginam e, de modo geral, não encontram condições favoráveis ao seu crescimento. Inúmeras variáveis condicionam essa situação. Algumas vezes, em tantas situações de início de incêndio, o fogo avança e assume, de fato, todo o seu potencial destrutivo. Esta é a situação que a metodologia de avaliação de desempenho estabelece como base de análise. É improvável que essa situação crítica seja obtida em uma única simulação e, ainda, que os efeitos produzidos sejam acertadamente avaliados.

Reafirma-se aqui a necessidade de que a avaliação de desempenho seja conduzida seguindo-se com rigor a metodologia e os preceitos contidos na norma ABNT NBR 15575. Adicionalmente, é importante que o laboratório de ensaio atenda ao disposto na NBR ISO/IEC 17025. A partir de todos os resultados obtidos nas avaliações realizadas em projeto, devidamente complementadas com as avaliações laboratoriais, é possível concluir sobre o desempenho relacionado à segurança contra incêndio de sistemas construtivos. Ainda, é necessário que esses trabalhos sejam coordenados por um ou mais especialistas que tenham capacidade de identificar situações atípicas, como é o caso daquelas definidas por sistemas construtivos que façam uso (de modo intensivo) de materiais combustíveis compondo a estrutura, as vedações etc., e de avaliar a influência de aspectos muito distintos daqueles revelados pela experiência comum.

## 4 Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E662**: Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials. West Conshohocken, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 13714**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 5628**: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001a.

\_\_\_\_\_. **NBR 9077**: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001b.

\_\_\_\_\_. **NBR 13434**: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico Parte 1: Princípios de projeto. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 17240**: Sistemas de detecção e alarme de incêndio - Projeto, instalação, comissionamento e manutenção de sistemas de detecção e alarme de incêndio - Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 8660**: Revestimento de piso - Determinação da densidade crítica de fluxo de energia térmica - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 10898**: Sistema de iluminação de emergência. Rio de Janeiro, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 12693**: Sistemas de proteção por extintores de incêndio. Rio de Janeiro, 2013c.

\_\_\_\_\_. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013d.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013e.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 2: Requisitos para sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013f.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-3**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 3: Requisitos para sistemas de piso. Rio de Janeiro, 2013g.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013h.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013i.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575- 6**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013j.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11925-2**: Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test. Geneve, 2010.



**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](mailto:ipt@ipt.br)

[www.ipt.br](http://www.ipt.br)

### Redes Sociais

[twitter.com/@ipt](https://twitter.com/@ipt)

[youtube.com/IPTbr](https://youtube.com/IPTbr)

[facebook.com/iptsp](https://facebook.com/iptsp)



| Secretaria de Desenvolvimento Econômico