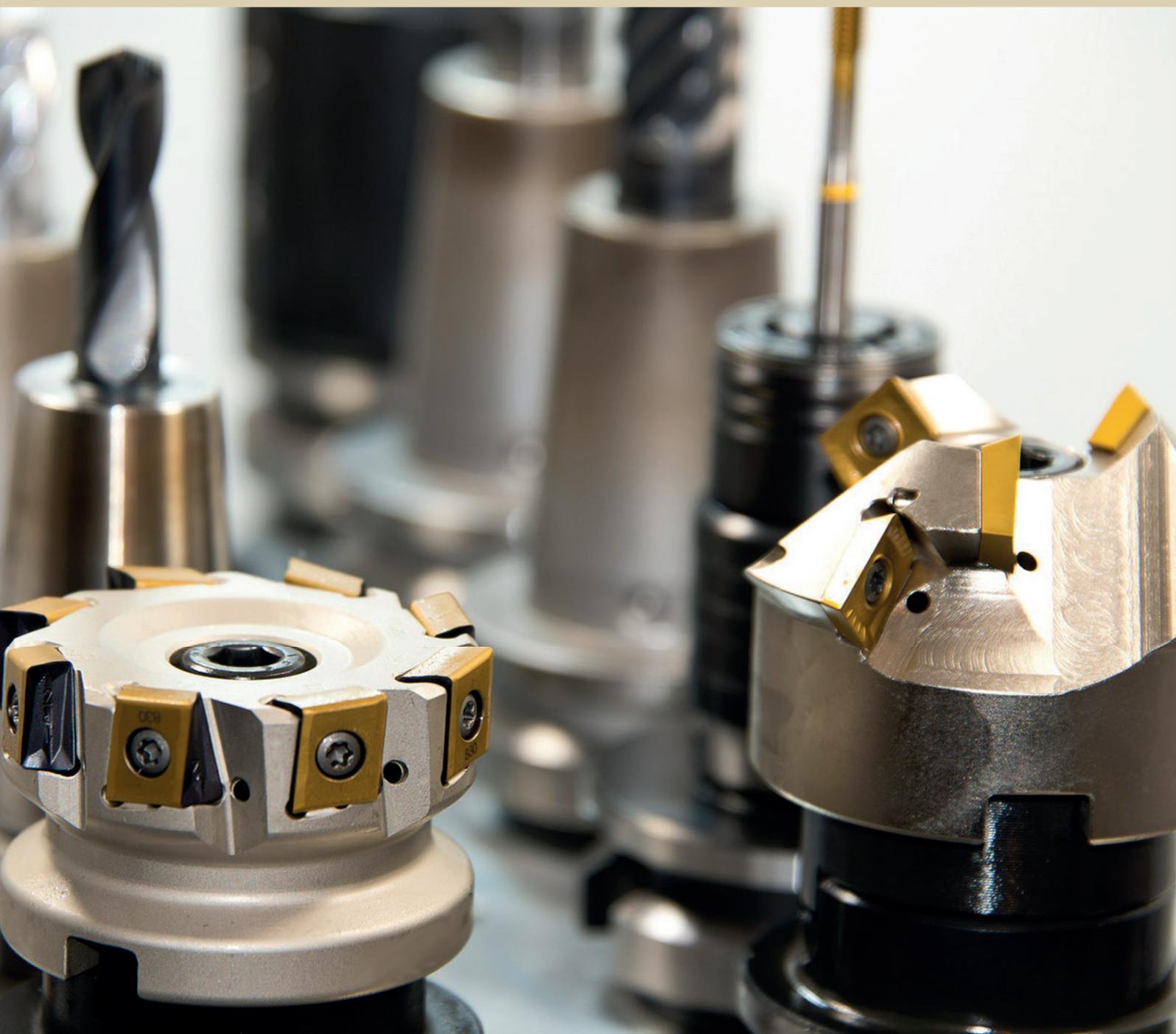


# Ciência e Engenharia de Materiais

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-62-8

DOI 10.22533/at.ed.628183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
COMPÓSITOS AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZRO <sub>2</sub> : PROCESSAMENTO E PROPRIEDADES MECÂNICAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i>	
<i>Luiz Fernando Grespan Setz</i>	
<i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
PROPRIEDADES DE ÓXIDO DE CÉRIO OBTIDO VIA SÍNTESE HIDROTERMAL ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS	
<i>João Domingos Covello Carregosa</i>	
<i>Rosane Maria Pessoa Betânio Oliveira</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> REFORÇADO COM NANOPARTÍCULAS DE ZRO <sub>2</sub> (3%MOL Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	
<i>Caio Marcello Felbinger Azevedo Cossú</i>	
<i>Claudinei dos Santos</i>	
<i>Manuel Fellipe Rodrigues Paes Alves</i>	
<i>Leonardo Queiroz Bueno Campos</i>	
<i>Bruno Galvão Simba</i>	
<i>Roberto de Oliveira Magnago</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>42</b>
EFEITO DA ADIÇÃO DO RESÍDUO DE POLIMENTO DE PORCELANATO NAS PROPRIEDADES DE BLOCOS CERÂMICOS	
<i>Geovana Lira Santana</i>	
<i>Manoel da Cruz Barbosa Neto</i>	
<i>Ricardo Peixoto Suassuna Dutra</i>	
<i>Daniel Araújo de Macedo</i>	
<i>Lizandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DO SUBSTITUINTE CÁLCIO NA ATIVIDADE CATALÍTICA NA REDE DA PEROVSKITA LA <sub>(1-x)</sub> CA <sub>(x)</sub> MNO <sub>3</sub> (X=0,2 E 0,4)	
<i>Anderson Costa Marques</i>	
<i>Mariza de Carvalho Montenegro Fernandes</i>	
<i>Cássia Carla de Carvalho</i>	
<i>Ana Karenina de Oliveira Paiva</i>	
<i>Filipe Martel de Magalhães Borges</i>	
<i>Felipe Olobardi Freire</i>	
<i>Alexandre de Sousa Campos</i>	
<i>Juan Alberto Chaves Ruiz</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE MAGNÉSIO NA ZEÓLITA MCM-22 UTILIZANDO A TÉCNICA DE IMPREGNAÇÃO POR COMPLEXAÇÃO	
<i>André Miranda da Silva</i>	
<i>Vitória de Andrade Freire</i>	
<i>Caroline Vasconcelos Fernandes</i>	
<i>Franciele Oliveira Costa</i>	
<i>Bianca Viana de Sousa</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 69**

AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DO PÓ DE RESÍDUO DE MANGANÊS EM MATRIZ CERÂMICA PARA REVESTIMENTO

*Ana Claudia Rangel da Conceição*  
*Eval Oliveira Miranda Junior*  
*Helen Fernandes de Sousa*  
*Olímpio Baldoino da Costa Vargens Neto*  
*Victor Antunes Silva Barbosa*  
*Oswaldo Cruz Santos*  
*Mirtânia Antunes Leão*

**CAPÍTULO 8 ..... 81**

ANÁLISE DO CUSTO DE FABRICAÇÃO BASEADO NA GEOMETRIA DE PEÇAS CERÂMICAS USANDO ERP - ESTUDO DE CASO EM MPE

*Suellen de Mendonça Terroso Ferreira Jacoboski*  
*Marcia Silva de Araujo*  
*José Alberto Cerrí*

**CAPÍTULO 9 ..... 93**

SÍNTESE TERMAL DE PENEIRA MOLECULAR DE ÓXIDO DE MN K-OMS-2 A PARTIR DE K-BIRNESSITA OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL

*Bruno Apolo Miranda Figueira*  
*Dayane dos Santos Rezende*  
*Kássia Lene Lima Marinho*  
*Milena Carvalho de Moraes*  
*Gilvan Pereira de Figueiredo*  
*José Manuel Rivas Mercury*

**CAPÍTULO 10 ..... 99**

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INCORPORAÇÃO DO ÓXIDO DE COBALTO NA PENEIRA MOLECULAR SBA-15

*Franciele Oliveira Costa*  
*Jonas Santana Albuquerque*  
*Bianca Viana de Sousa*

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

ATIVAÇÃO POR CALCINAÇÃO DO ÓXIDO DE ZIRCÔNIA UTILIZANDO DIFERENTES TEMPERATURAS INCORPORADO NA PENEIRA MOLECULAR MCM-41

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Carlos Eduardo Pereira*  
*José Jaílson Nicácio Alves*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*

**CAPÍTULO 12 ..... 119**

PROCEDIMENTOS NA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE VALORES E MAXIMIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS

*José Vidal Nardi*  
*Aline Souza Lopes Ventura Nardi*

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

PRODUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO A PARTIR DE RESÍDUO DA PEDRA CARIRI VISANDO SUA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS

*Tiago Maia Esmeraldo Alves*  
*Ana Cândida de Almeida Prado*

**CAPÍTULO 14..... 148**

SÍNTESE DE NANOCATALISADORES CERÂMICOS DE COMPOSIÇÃO  $ZR_{1-x}CE_xO_2$  PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL GASOSO ECOLOGICAMENTE CORRETO

*Pedro Henrique Pinheiro Lima*  
*Gislayne Rayane Alves da Silva*  
*Francisco Natanael Félix Barbosa*  
*Maria Isabel Brasileiro*  
*Laédna Souto Neiva*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 159**

## PROCEDIMENTOS NA SIMULAÇÃO MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE VALORES E MAXIMIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NOVOS MATERIAIS CERÂMICOS

**José Vidal Nardi**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Santa Catarina  
Florianópolis – SC

**Aline Souza Lopes Ventura Nardi**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de Santa Catarina  
Florianópolis – SC

**RESUMO:** A procura de novos materiais quando desenvolvidos pelas metodologias tradicionais, requerem a confecção de elevado número de corpos de prova, tempo e custos elevados, vindo por vezes a inviabilizar o novo produto em desenvolvimento. A disponibilidade de teorias utilizando simulações matemáticas, associadas a software, tem sido cada vez mais aplicada no meio científico e industrial, na tentativa da obtenção de novos materiais. O processo geralmente consiste em manipular as porcentagens dos componentes que formaram o novo produto, observando as alterações produzidas em suas correspondentes propriedades mecânicas. Este trabalho procura mostrar como se desenvolvem, utilizando um reduzido número de ensaios, as interconexões entre os trabalhos laboratoriais, simulação matemática e software. Nesse desenvolvimento se utilizam resultados de misturas cerâmicas, seus diferentes valores obtidos na resistência

à compressão axial, a transposição desses dados à teoria matemática e a resolução dada pelo software. O trabalho é desenvolvido passo a passo, mostrando a possibilidade de visualização e determinação de uma enorme gama de valores de acordo com as equações e superfícies de resposta, triangular e espacial, permitindo que as propriedades mecânicas em questão sejam dessecadas dentro das faixas percentuais usadas na mistura. Da mesma forma, essa abordagem abre horizontes para a otimização das porcentagens dos componentes, na determinação dos valores, que maximizam a propriedade mecânica estudada. Portanto, a partir do pequeno número de testes de laboratório, o estudo é totalmente resumido em uma simulação matemática, facilitada pela extrema velocidade que é peculiar no uso de software.

**PALAVRAS-CHAVE:** maximização de propriedade mecânica, resistência à compressão, simulação matemática, material cerâmico.

**ABSTRACT:** The search for new materials when developed by the traditional methodologies, requires the preparation of a high number of samples, time and high costs, sometimes making the new product in development unfeasible. The availability of theories using mathematical simulations, associated with software, has been

increasingly applied in the scientific and industrial environment, in an attempt to obtain new materials. The process usually consists in manipulating the percentages of the components that formed the new product, observing the changes produced in their corresponding mechanical properties. This work tries to show how the interconnections between the laboratory works, mathematical simulation and software are developed, using a small number of laboratory test. In this development the results of ceramic mixtures, their different values obtained in the resistance to the axial compression, the transposition of these data to the mathematical theory and the resolution given by the software are used. The work is developed step by step, showing the possibility of visualization and determination of a huge range of values according to the triangular and spatial response equations and surfaces, thus allowing the mechanical properties in question to be desiccated within the percentage ranges used in the mixture. In the same way, this approach opens up horizons for the optimization of the percentages of the components, in the determination of the values, that maximize the mechanical property studied. Therefore, from the small number of laboratory tests, the study is fully summarized in a mathematical simulation, facilitated by the extreme speed that is peculiar in the use of software.

**KEYWORDS:** mechanical property maximization, compressive strength, mathematical simulation, ceramic material.

## 1 | INTRODUÇÃO

Tradicionalmente o desenvolvimento de um projeto de misturas corresponde a método tipicamente empírico, sendo desenvolvido ponto a ponto pelo processo de tentativas sequenciais. Após elaboração de quantidade substancial de combinações entre os componentes das misturas, o conjunto dos resultados é representado por um sistema de coordenadas cartesianas. Tal procedimento tem como finalidade visualizar o comportamento das misturas em função das alterações produzidas em suas propriedades mecânicas. Na representação cartesiana se visualizam os resultados num espaço bidimensional, fator o qual começa a complicar quando o número de componentes é maior que dois. Lembramos que a solução dependerá de uma série de gráficos para representar os efeitos individuais de todos os componentes. O problema se torna bem mais complexo quando se pretende definir as percentagens dos componentes, na mistura, que maximiza uma propriedade mecânica em questão. Para elucidar procedimentos de metodologia tradicional, em (NARDI, 1987) encontramos alguns exemplos.

Embora algumas áreas da engenharia estejam, nesse quesito, utilizando-se desse procedimento arcaico, metodologias altamente sofisticadas se encontram à disposição, sejam em literaturas bibliográficas e/ou softwares.

A existência de teorias que adaptam modelos matemáticos às propriedades dos materiais, inclusive aos que tem origem em misturas com componentes reativos

quimicamente entre si, já vem de longa data. (PIEPEL et al., 1983a; CORNELL, 1990a, b; MONTGOMERY, 1996).

Esses procedimentos se diferenciam do método tradicional por adaptarem modelos matemáticos que simulam os valores das propriedades mecânicas no produto final. Igualmente preveem o comportamento de diferentes composições de misturas, permitindo o desenvolvimento de novos materiais dentro das características de engenharia desejadas.

Os estudos desenvolvidos com a teoria de “Projeto de Misturas e Superfícies de Resposta” tem como objetivo a solução de diversos problemas nas mais diversas áreas científicas. Tem sido essa metodologia aplicada no desenvolvimento de tintas e camadas de cobertura (ANDERSON et al., 1996), na formulação de polímeros (YANG et al., 1997), surfactantes e produtos farmacêuticos (MARTIMESTRES et al., 1997; CAMPISI et al., 1998), vidros (CHICK et al., 1984), produtos cerâmicos (NARDI et al., 2004a), esmaltes cerâmicos (SCHABBACH, 1999), entre outros.

Assim a necessidade da verificação das possibilidades da utilização desses novos conceitos tecnológicos foi testada também, pela primeira vez, na área rodoviária em (NARDI, 2001). A metodologia foi inicialmente testada na estabilização química envolvendo a utilização de rejeito industrial, tendo sido comprovada a possibilidade de sua utilização, podendo vir a substituir o uso da metodologia tradicional (NARDI, 2004b, c). Tal procedimento possibilitou o desenvolvimento de uma nova metodologia na estabilização de solos para pavimentos rodoviários, sendo denominada por “Método de Restrições Sucessivas para Determinação das Características Mecânicas de Misturas de Solo e Estabilizantes Químicos” (Nardi, 2006).

Tem-se conhecimento que nos experimentos com misturas a metodologia de delineamento e superfície de resposta, onde as proporções entre seus componentes impõem restrições entre si, tem sido utilizada em vários países, tanto em pesquisas efetuadas em universidades como pela própria indústria, na obtenção de novos materiais (Bilodeau et al., 2000; Boccaccini et al., 2000; Pandian et al., 2001; NARDI et al., 2016 e outros). Essa metodologia tem sido aplicada na busca de vários produtos, com propriedades que satisfazem as mais diversas necessidades exigidas pelo mercado atual. A utilização dessa nova abordagem, na manipulação das proporções dos componentes em misturas, tem como vantagem a utilização de pequeno número de ensaios laboratoriais. Possibilita também no produto a ser criado: desenvolver modelos matemáticos não-lineares, representar suas propriedades mecânicas em sistemas de superfícies triangular e espacial, testar as mais diferentes combinações entre seus componentes, obter analiticamente valores das propriedades mecânicas no produto final, otimizar os componentes da mistura para a maximização da propriedade mecânica estudada e elaborar retroanálises de projetos de misturas já desenvolvidos.

O trabalho ora proposto tem como objetivo mostrar como um pequeno número de ensaios laboratoriais simula, matematicamente, as alterações nas propriedades mecânicas do produto resultante, em função da variação das percentagens dos seus

componentes na mistura, dentro de uma série de restrições impostas no produto em desenvolvimento. Igualmente a possibilidade de simular, matematicamente, a otimização dos componentes que geram a máxima resistência da propriedade mecânica escolhida no produto final.

## 2 | REAÇÕES POZOLÂNICAS ENTRE COMPONENTES DE MISTURAS

Utilizando-se da teoria de projetos de mistura e superfícies de resposta, uma série de trabalhos abordam estudos relacionados às reações pozolânicas. Sempre envolvem produtos em que a resultante das reações químicas, entre os componentes, gera um material com propriedade cimentante (NARDI et al., 2003; NARDI et al., 2004a,d). As principais reações químicas ocorrem entre a cal hidratada, a cinza volante e a água.

As reações que ocorrem nessa mistura são complexas e ainda não completamente bem definidas. Esta complexidade das reações é realçada pela heterogeneidade das características física e química da cinza. A reação mais importante é a que resulta num gel cimentante, ligando as partículas do mineral inerte quando utilizadas como agregado. A reação mais crítica é a que ocorre entre o hidróxido de cálcio adicionado à sílica e alumínio presentes na cinza, produzindo silicatos e aluminatos de cálcio, fenômeno este denominado por reação pozolânica (COLLEPARDI et al., 1978; CORDON, 1979; FRAAY et al., 1989; MEHTA et al., 1994; NEVILLE, 1997). A mistura entre cal (Figura 1), cinza (FIGURA 2) e água denomina-se pasta pozolânica (Figura 3) e tem como finalidade cimentar os grãos de agregados inertes. Importante frisar que no desenvolvimento de pastas pozolânicas, que poderão ser direcionadas ao mercado consumidor, o fundamental consiste na otimização de seus componentes (NARDI et al., 2002).

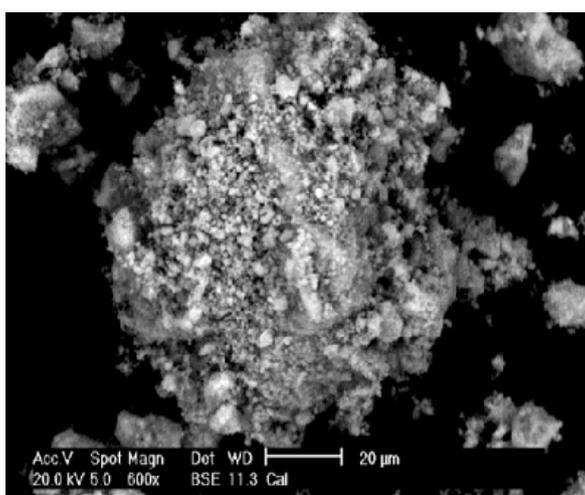


Figura 1. Micrografia eletrônica de varredura visualizando a cal hidratada comercial

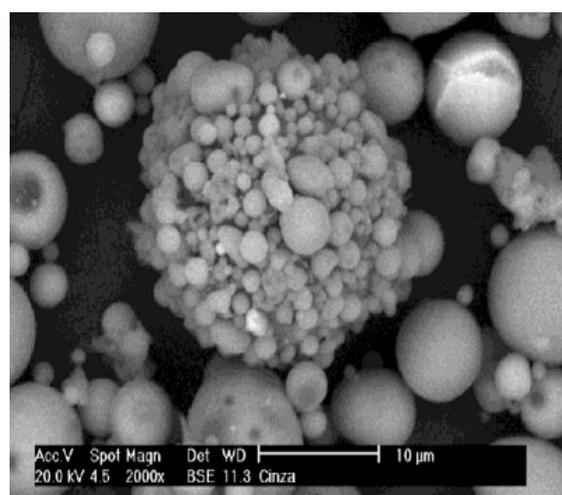


Figura 2. Micrografia eletrônica de varredura visualizando cinza volante proveniente de termoelétrica.

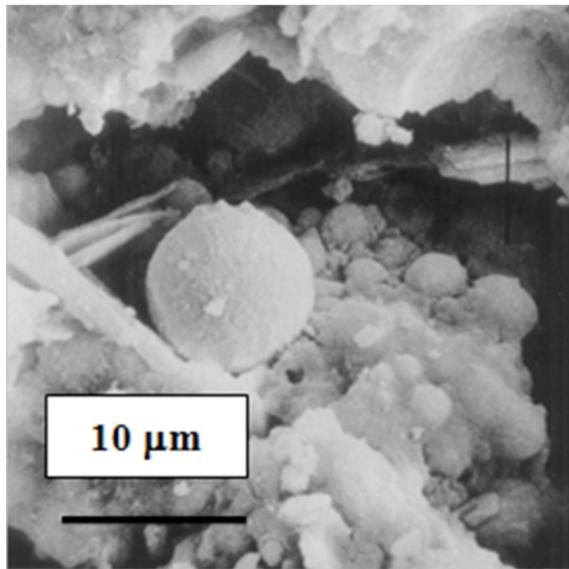


Figura 3. Micrografia eletrônica de varredura visualizando uma pasta pozolânica típica.

### 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - SIMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Este estudo tem como foco as pastas pozolânicas ternárias, constituídas pela mistura entre dois materiais cerâmicos pulverulentos e um líquido. São formadas por três componentes e constituídas por cal, cinza e água. Os valores obtidos no laboratório fornecem os resultados da propriedade mecânica escolhida. A partir desse momento o conjunto total de valores será tratado, exclusivamente, por uma sequência contínua de operações dadas na criação da simulação matemática.

Será utilizada a Teoria de Projetos de Misturas e Superfícies de Resposta. O desenvolvimento matemático completo desses experimentos encontra-se em literatura especializada (Cornell, 1990a, b; Montgomery, 1996; Statistica, 1995, e outros).

Para o caso deste trabalho se enquadra a expressão matemática segundo o modelo quadrático, dada pela Equação A, abaixo representada.

$$R_{ce} = b_1X + b_2Y + b_3Z + b_{12}XY + b_{13}XZ + b_{23}YZ \quad (A)$$

Sendo:

$R_{ce}$  = Resistência à compressão axial esperada (kPa);

$X$  = Amostra 1 (% de cal);

$Y$  = Amostra 2 (% de cinza);

$Z$  = Amostra 3 (% de água); e

$b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  = Coeficientes da equação ajustada.

Os componentes originais correspondem às proporções dos componentes de cada mistura, dados em percentagem. Em laboratório são mensurados pelo seu peso. Logo os componentes originais são os valores reais que se utilizam na elaboração das proporções das misturas, dados em percentagem. O planejamento experimental,

para o ajuste do modelo, torna-se mais simplificado quando desenvolvido sob a forma de pseudocomponentes, que são combinações das proporções dos componentes originais.

Neste trabalho o modelo matemático, as superfícies de respostas triangular e espacial serão expressos em função dos pseudocomponentes, motivo pelo qual nos fornecem uma melhor visualização gráfica dos fenômenos que ocorrem nas reações pozolânicas, entre os componentes e as alterações correspondentes nas suas propriedades mecânicas. Somente o último modelo matemático será expresso pelas suas coordenadas originais, o que muito facilitará à determinação dos valores da propriedade mecânica escolhida, no caso a resistência à compressão axial, em função da substituição direta das porcentagens dos componentes da mistura, observando-se que essa equação é direcionada para o cálculo manual desses valores. Esse estudo se encontra bem detalhado em (NARDI, 2004a).

## 4 | MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados na mistura, para a obtenção da pasta pozolânica, foram a cal hidratada, a cinza volante e a água.

### 4.1 Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada foi a cálcica, do tipo comercial (tabela 1).

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
A	7,58	0,14	<0,01	37,65	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	27,13	<0,01

Tabela 1. Composição química da cal hidratada.

Obs. Perda ao fogo 27,47 %.

### 4.2 Cinza volante

A cinza volante utilizada foi produzida no complexo termoeletrico Jorge Lacerda, situado em Capivari de baixo no Estado de Santa Catarina (Tabela 2).

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	MgO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
B	59,04	25,77	7,09	1,92	0,41	2,93	1,30	0,06	0,55	0,07

Tabela 2. Composição química da cinza volante.

Obs. Perda ao fogo 0,87 %.

### 4.3 Água

Proveniente do sistema de abastecimento urbano.

## 5 | CONFEÇÃO E RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA

Na confecção dos corpos de prova adotou-se a mesma metodologia para todas as proporções entre os componentes das misturas utilizadas. Inicialmente cada mistura foi trabalhada a seco, manualmente e em seguida mecanicamente, numa misturadora, a baixa velocidade, durante 5 minutos. Após a adição de água para obtenção da umidade desejada, o trabalho de mistura prosseguiu, então, por mais 5 minutos.

A moldagem, para a confecção de corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, foi efetuada através da compactação mecânica em 5 camadas iguais, em cilindros de paredes laterais tripartidas, com uma energia de compactação de 1.320,84 kPa (esforço Proctor intermediário).

Os corpos de prova foram ensacados para evitar a carbonatação devido ao dióxido de carbono existente no ar, e o tempo de cura estipulado em 28 dias. Todos os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas, após o período de cura e antes do rompimento. Os rompimentos foram executados à compressão axial e a velocidade constante de 1,5 mm/min. Cada mistura foi representada por um ponto, sendo cada ponto constituído pela ruptura de três corpos de prova. Foi tomada a média com tensão calculada em kPa, com intervalo de variação admitido entre  $\pm 10\%$  do valor da referida média.

## 6 | ELABORAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA NO PROGRAMA

Considerando as literaturas (NARDI, 1985; NARDI, 1987; NARDI, 2006) um agrupamento de conhecimentos e um conjunto de princípios a partir dos quais se pode fundar ou deduzir um sistema, este trabalho tem como fundamento as referidas literaturas. Os primeiros trabalhos foram elaborados em função da metodologia tradicional, referem-se às misturas quaternárias, produzidas para testes a serem utilizadas em bases de pavimentos e constituídas por dois materiais cerâmicos (cal hidratada e cinza volante), um inerte (areia) e água. Como já afirmado, anteriormente, é a pasta pozolânica (mistura ternária) responsável pela cimentação dos grãos inertes dos agregados (mistura quaternária).

Este trabalho, em particular, separa da mistura quaternária o efeito cimentante e o estuda, separadamente, em função de mistura ternária, dada pela ação da cal hidratada, cinza volante e água. Todo o desenvolvimento consiste em uma nova abordagem, utilizando-se de simulação matemática representada por equação e

sua representação nas formas superficial triangular e espacial. Sendo praticamente impossível a resolução manual, optou-se pelo uso de software. Logo: para este trabalho os dados laboratoriais se referem, exclusivamente, as três componentes da pasta cimentante e são provindos das literaturas acima citadas.

## 7 | DETERMINAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE RESPOSTA INICIAL

Neste estudo os intervalos de variações dos três componentes foram: 7,93 % a 36,75 % para a cal hidratada, 39,17 % a 67,57 % para a cinza volante e 15,47 % a 40,57 % para a água, como resumido na Tabela 3.

COMPONENTES	VARIAÇÃO (%)
CAL HIDRATADA	(7,93 a 36,75)
CINZA VOLANTE	(39,17 a 67,57)
ÁGUA	(15,47 a 40,54)

Tabela 3. Intervalos de variações dos componentes originais da pasta pozolânica.

Dentro dos intervalos de cada componente, segundo a Tabela 3, escolhemos inicialmente sete misturas que foram testadas, em laboratório, às variações da propriedade mecânica da resistência à compressão axial ( $R_{ca}$ ), como mostra a Tabela 4.

MISTURAS	CAL (%)	CINZA (%)	ÁGUA (%)	$R_{ca}$ (kPa)
1	10,40	67,57	22,03	957
2	8,63	56,08	35,29	1.364
3	7,93	51,53	40,54	9.290
4	14,75	47,94	37,31	1.924
5	36,75	47,78	15,47	1.296
6	32,11	41,75	26,14	1.813
7	30,13	39,17	30,70	1.193

Tabela 4. Misturas testadas em laboratório para a determinação das superfícies de resposta inicial.

Nas misturas os componentes que participam das reações de cimentação, na pasta pozolânica, são a cal hidratada, a cinza volante e a água, dadas em percentagem e correspondendo aos componentes originais.

Introduzindo os dados da Tabela 4 no software se obtém a Equação B na forma quadrática, ou seja: o valor da resistência à compressão axial esperada ( $R_{ce}$ ) como uma função das percentagens de cal (X%), cinza (Y%) e água (Z%). Corresponde

a expressão matemática que gera as superfícies de resposta a todas as restrições impostas ao produto final. Observa-se que uma das restrições corresponde a valor mínimo de 0,95 para o coeficiente de correlação ( $r^2$ ) da equação adaptada (NARDI, 2006).

$$R_{ce} = -15,99X -17,84Y -23,23Z +168,34XY +133,03XZ +135,749YZ \quad (B)$$

Na Figura 4 a poligonal fechada ABCD, gerada pela Equação B, corresponde a superfície de resposta triangular, dada na forma de curvas de níveis, que representa as variações das resistências à compressão axial esperada ( $R_{ce}$ ) em função das variações dos teores de cal hidratada (X%), cinza volante (Y%) e água (Z%).

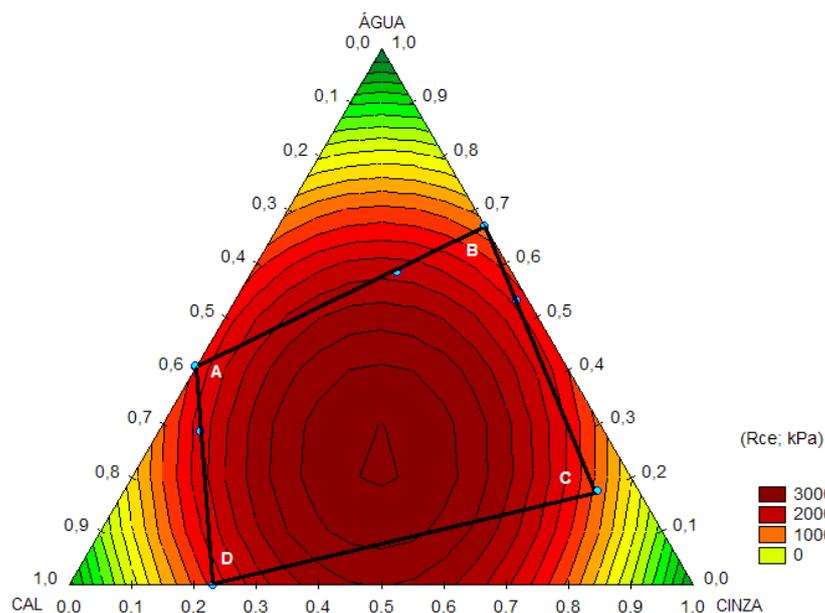


Figura 4. Superfície de resposta inicial na forma superficial triangular gerada pela Equação B.

Analisando a Figura 4 visualiza-se na superfície triangular de resposta a área onde ocorrem, teoricamente, as maiores resistências à compressão axial esperada, correspondendo à região das tonalidades mais escuras da poligonal ABCD, segundo a Equação B.

A Figura 5 corresponde a superfície de resposta espacial dada pela Equação B, que representa as variações das resistências à compressão axial esperada ( $R_{ce}$ ) em função da variação dos teores de cal hidratada (X%), cinza volante (Y%) e a água (Z%).

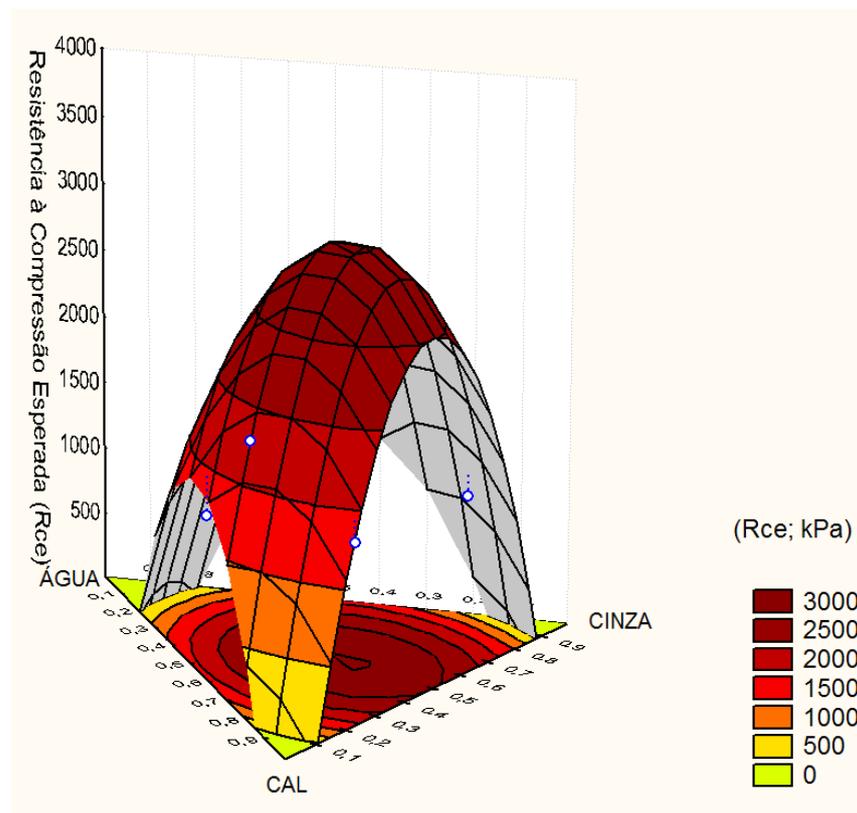


Figura 5. Superfície de resposta inicial na forma espacial dada pela Equação B.

Analisando a Figura 5 visualizamos o comportamento espacial da resistência à compressão axial esperada no novo material, segundo a Equação B. Seu coeficiente de correlação é igual a 0,93 e não adequado para esse caso. Segundo (Nardi, 2006) valores superiores a 0,95 deveriam ser adotados, porque corresponderam a resultados mais compatíveis com os estudos laboratoriais. A Equação B deve ser recusada e sobre sua área triangular, internamente a poligonal ABCD, ser lançada a 1ª restrição superficial.

## 8 | ELABORAÇÃO DA 1ª RESTRIÇÃO SOBRE A SUPERFÍCIE DE RESPOSTA INICIAL

Na superfície triangular de resposta inicial originada pela Equação B, materializada na Figura 4, efetua-se a 1ª restrição no interior da poligonal fechada ABCD. Será lançada uma nova poligonal EFGH (Figura 6) sobre a região onde se visualizam as maiores resistências (áreas mais escuras), restringindo dessa forma a área da superfície inicial. Define-se assim outra poligonal fechada dada pelos pontos EFGH. A nova poligonal é formada por 9 pontos, sendo 1 no seu interior e visualizada na Figura 6.

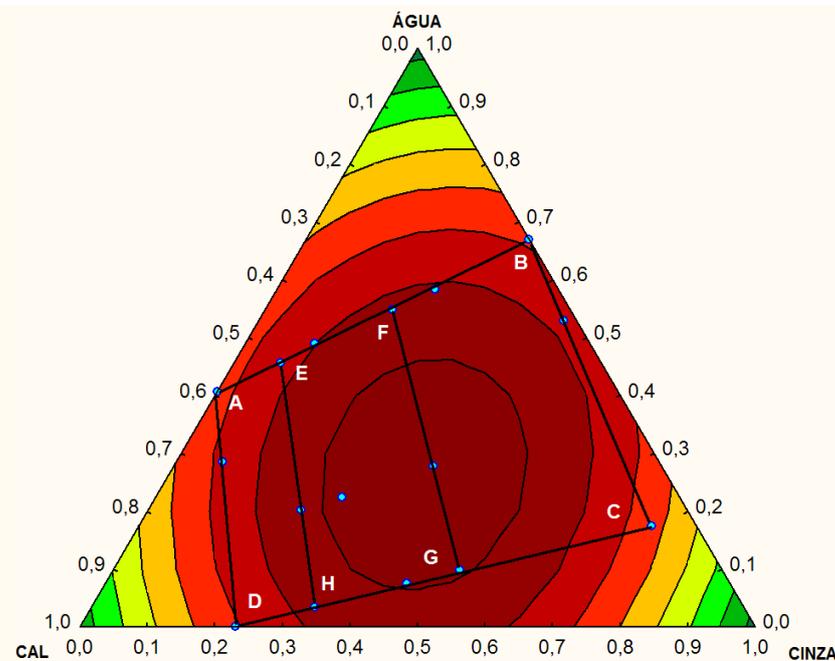


Figura 6. Representação gráfica da escolha da 1ª restrição sobre a superfície de resposta inicial

Os novos valores das restrições escolhidas e suas respectivas resistências à compressão axial são mostrados na Tabela 5. Lembrar que os valores dos componentes das misturas, em percentagem, correspondem aos componentes originais.

MISTURAS	CAL (%)	CINZA (%)	ÁGUA (%)	R <sub>ca</sub> (kPa)
1	22,45	58,38	19,17	2.143
2	20,59	53,54	25,87	3.407
3	17,78	46,23	35,99	2.304
4	25,80	55,89	18,31	2.599
5	26,66	49,50	23,84	3.962
6	23,17	43,03	33,80	2.631
7	31,71	51,53	16,76	2.418
8	29,31	47,64	23,05	3.742
9	25,70	41,76	32,54	2.337

Tabela 5. Dados da 1ª restrição sobre a superfície de resposta inicial.

Introduzindo os dados da Tabela 5 no software se obtém a resistência à compressão axial esperada (R<sub>ce</sub>) como uma função das percentagens de cal (X%), cinza (Y%) e água (Z%), para a poligonal EFGH, segundo a Equação C e na forma quadrática.

$$R_{ce} = -13,11x -21,11y +2,12z +170,27xy +123,04xz +162,36yz \quad (C)$$

Na Figura 7 a poligonal fechada EFGH e seu ponto interno, gerada pela Equação C, corresponde a nova superfície de resposta triangular, dada na forma de curvas de

níveis, que representa a variação da resistência à compressão axial esperada ( $R_{ce}$ ) em função das variações dos teores de cal hidratada (X%), cinza volante (Y%) e água (Z%).

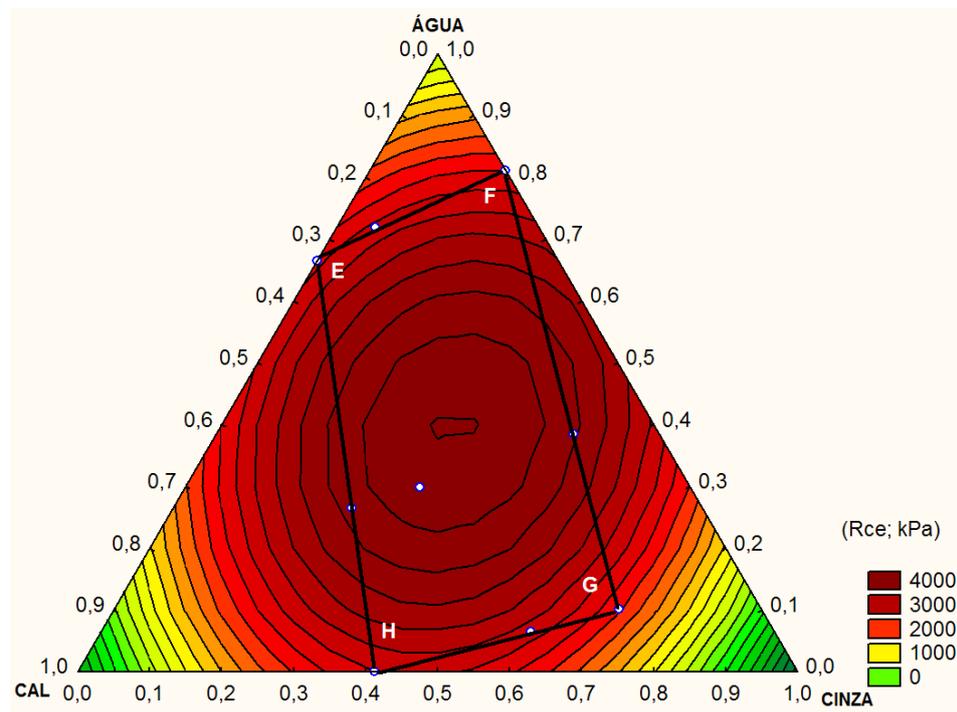


Figura 7. Representação da 1ª restrição com sua respectiva superfície triangular de resposta.

Para este caso se verifica que o coeficiente de correlação da Equação C assume o valor de 0,98, encerrando dessa forma o processo de restrições sucessivas. Além da representação triangular também é possível representar a Equação C na forma espacial.

Nesse caso a superfície de resposta na forma espacial é caracterizada por um valor de resistência à compressão axial esperada, máxima ( $R_{ce, \max}$ ), podendo-se agora determinar as percentagens dos componentes que maximizam esse valor, ou melhor: otimizar as percentagens das componentes que maximizam a resistência à compressão axial esperada na mistura, conforme visualizado na Figura 8.

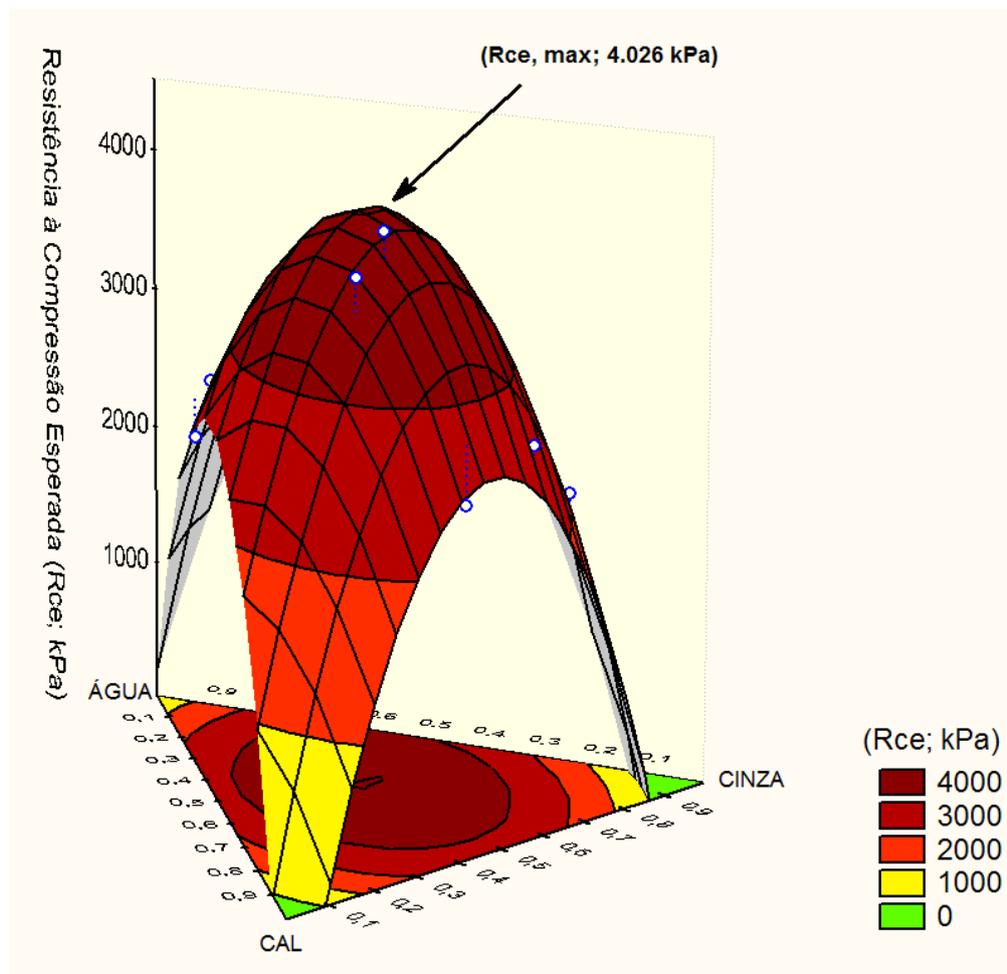


Figura 8. Representação da 1ª restrição com sua superfície de resposta espacial.

## 9 | OTIMIZAÇÃO DAS COMPONENTES NA MISTURA (MAXIMIZAÇÃO)

A otimização das componentes na mistura corresponde à determinação das percentagens dos componentes que produzam o valor máximo da resistência axial esperada na Equação C. Esse procedimento matemático poderá ser calculado por duas formas: manual ou software. A primeira forma demanda tempo e ter conhecimento de como se aborda o problema. Será deixado para um posterior trabalho. Optou-se pela segunda forma, extremamente mais rápida e livre de erros grosseiros, sendo os valores dos resultados apresentados de imediato.

Para este caso os valores que otimizam as componentes são dados por 24,53% de cal hidratada, 49,52% de cinza volante e 25,95% de água na mistura das componentes (valores dados em componentes originais). O valor de 4.026 kPa é apresentado para a resistência à compressão axial esperada, máxima.

A Equação D corresponde a forma matemática quando se pretende calcular, manualmente, os valores da resistência à compressão axial esperada para qualquer proporção das componentes, dadas em coordenadas originais e dentro do intervalo de validade da equação, que corresponde a imposição do seu respectivo polígono.

$$R_{ce} = -1150,17x - 574,32y - 1049,45z + 30,31xy + 21,91xz + 28,91yz \quad (D)$$

Fazendo o caminho inverso, as percentagens de 24,53% de cal hidratada, 49,52% de cinza volante e 25,95% de água, substituídas na Equação D, predizem para o valor da resistência à compressão axial estimada, máxima ( $R_{ce, max}$ ), em 4.029 kPa, cumprindo assim o objetivo proposto no estudo.

## 10 | DISCUSSÕES

Os trabalhos de otimização de misturas quando desenvolvidos segundo metodologias tradicionais, requerem a confecção de elevado número de corpos de prova, tempo e custos elevados. A abordagem aqui apresentada, através de análises de equações e gráficos, difere radicalmente da tradicional. A partir dos dados laboratoriais, a resolução é desenvolvida matematicamente passo a passo. No caso deste trabalho, para a etapa inicial se optou estudar 7 misturas (21 corpos de prova). Nessa fase nos é permitido, através da visualização em gráficos, tomar conhecimento do comportamento desenvolvido na mistura. A aceitação da primeira equação ( $r^2 = 0,93$ ) está restrita a valores superior a 0,95 para o coeficiente de correlação. Não sendo aceita essa condição, partimos para a elaboração da 1ª restrição sobre a superfície de resposta inicial. Para essa restrição optou-se estudar 9 misturas (27 corpos de prova). Obteve-se para  $r^2$  o valor de 0,98 encerrando os trabalhos laboratoriais. A partir dessa fase a pesquisa se resume num desenvolvimento puramente matemático e visual, no intuito de dessecar, detalhadamente, todas as possibilidades de combinações entre as componentes e as alterações correspondentes na propriedade mecânica desejada. Importante frisar que as respostas serão verdadeiras, somente, no interior das condições de contorno da poligonal fechada EFGH adotada. A grande vantagem desse procedimento reside na possibilidade de utilização de softwares, que permitem com extrema velocidade e precisão efetuar as mais diversas operações, envolvendo simultaneamente todas as variáveis e dessa forma fazer previsões nas propriedades mecânicas do novo material a ser desenvolvido, dado em função de equações e gráficos que permitem elaborar simulações na obtenção de respostas.

O objetivo final do trabalho corresponde à otimização das porcentagens dos componentes que maximizam a resistência axial esperada no produto, segundo abordagem em simulação matemática. Na Tabela 6 é exposto tal objetivo, onde são visualizados os valores que otimizam as componentes da mistura, gerando dessa forma a maximização da propriedade mecânica escolhida, no caso em particular a resistência à compressão axial esperada.

MISTURA	Cal (%)	Cinza (%)	Água (%)	Resistência ( $R_{ce, max}$ ; kPa)
	24,53	49,52	25,95	4.026

Tabela 6. Proporções dos componentes que maximiza a mistura segundo procedimento em simulação matemática.

Obs.: Todos os valores foram obtidos eletronicamente.

Poderá também se obter uma gama de resultados na utilização da Equação D, quando valores dos componentes (coordenadas originais) são substituídos na equação, gerando os correspondentes valores da resistência à compressão axial esperada, dentro dos intervalos de variações restringidos pela poligonal adotada e mostrados na Tabela 7.

MISTURA	Cal (%)	Cinza (%)	Água (%)
	(17,78 a 31,30)	(41,76 a 58,38)	(16,76 a 35,99)

Tabela 7. Intervalos de variações adotados na poligonal EFGH.

## 11 | CONCLUSÃO

Os trabalhos de otimização de misturas quando desenvolvidos segundo metodologias tradicionais, requerem a confecção de um grande número de corpos de prova, tempo e custos elevados. Tal situação poderá inviabilizar o desenvolvimento do pretense produto a ser lançado comercialmente. Provada a possibilidade do uso do novo procedimento na adaptação de modelos matemáticos, utilizando-se de equações que proporcionam superfícies de resposta, triangular e espacial, elaboradas por software que imprimem um ganho de tempo considerável e economia nos custos de execução, tem-se constatado o seu uso na maioria das pesquisas desenvolvidas nessa área, como também demonstra o trabalho em questão. Igualmente tais procedimentos preveem o comportamento de diferentes composições de misturas, permitindo o desenvolvimento de novos materiais dentro das características de engenharia desejadas.

A partir da execução de pequeno número de ensaios laboratoriais e de seus resultados, o desenvolvimento do estudo passa a rotina na determinação das características mecânicas do produto final. Neste trabalho também se determinou os valores que otimizam os componentes na mistura, dados por 24,53% de cal hidratada, 49,52% de cinza volante e 25,95% de água, que predizem o valor da resistência à compressão axial estimada, máxima ( $R_{ce, max}$ ) em 4.026 kPa, cumprindo assim o objetivo final do trabalho proposto.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. J.; WHITCOMB, P. J. **Optimization of Paint Formulations Made Easy With Computer-Aided Design of Experiments for Mixtures.** In: Journal of Coatings Technology. 1996. v. 68, n. 858, p. 71-75.
- BILODEAU, A; MALHOTRA, V. M. American Concrete Institute – ACI In: Materials Journal, 2000. Vol. 97, Nº 1, p. 41.
- BOCCACCINI, A.R.; LANCELLOTTI, I.; BARBIERI, L. Glass Science and Technology. Vol. 73, p. 85, 2000.
- CAMPISI, B.; CHICCI, D.; VOJNOVIC, D.; PHAN-THAN-LUU, R. **Experimental Design for a Pharmaceutical Formulation: Optimization and Robustness.** In: Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 1998. **Journal...** 1998. v. 18, n. 1, p. 57-65.
- CHICK, L. A.; PIEPEL, G. **Statistically Designed Optimization of a Glass Composition.** In: Journal of the American Ceramic Society, 1984. **Jurnal...1984.** v. 67, n. 11, p. 763-768.
- COLLEPARDI, M. **The effect of Pozzolanic on the Tricalcium Aluminate.** Cement and Concrete Research. 1978. v. 8, n. 6, p. 741-751.
- COLLEPARDI, M. **The effect of Pozzolanas on The Tricalcium Aluminate.** Cement and Concrete Research, 1978. n. 6, p. 741-751.
- CORDON, W. A. **Properties, Avaluation, and Control of Engineering Materials.** McGraw-Hill, Inc. Printed in The United States. 1979.
- CORNELL, J. A. **Experiments with Mixtures: in Designs, Models and the Analysis of Mixture Data.** In: 2. ed. New York, Wiley. 1990a.
- CORNELL, J. A. **How to Run Mixture Experiments for Product Quality.** in: American Society for Quality Control, V. 5, 1990b.
- FRAAY, A. L. A.; BIJEN, J. M.; DE HAAN, Y. M. **The Reaction of Fly Ash in Concrete: a Critical Examination.** Cement and Concrete Research. 1989. V. 19, n. 2, p. 235-246.
- MARTIMESTRES, G.; NIELLOUD, F.; MARTI, R.; MAILLOLS, H. **Mixture Design Approach to PEG-PPG-PTMG Ternary Polyol-Based Waterborne Polyurethanes.** In: Drug Development and Industrial Pharmacy. 1997. v. 23, n. 10, p. 993-998.
- MINNICK, L. J.; CORSON, W. H. **Lightweight Concrete Aggregate from sintered Fly Ash.** Highway Research Record. 1970. n. 307.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2ª ed. São Paulo. Ed. Pini. 1999.
- MONTGOMERY, A. D. **Design and Analysis of Experiments.** In: 4 ed. Arizona State University, 1996.
- NARDI, A. V.; NARDI, J.V. **Determinação das Percentagens das Componentes de um Novo Produto Cerâmico Quando se Impõe um Valor Mínimo em Uma de Suas Propriedades Mecânicas.**in: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de Materiais, Natal. 2016.
- NARDI, J. V. **Projeto de acréscimo de 1 km de pista experimental com solo-cinza volante-cal em Nova Brasília/SC.** In: **Relatório Final...** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1985. 42 p.
- NARDI, J. V. **Cinza volante e cal hidratada na estabilização de solos arenosos para construção de sub-bases e bases de pavimentos.** in: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - DITC, 1987. Rio de Janeiro. **Publicação...** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1987. Publ..n. 695/33, 86 p.
- NARDI, J. V. **Método de superfícies de respostas aplicado à formulação de novos materiais de pavimentação.** In: 33ª Reunião Anual de Pavimentação, 33., 2001. Florianópolis. **Anais...**Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

NARDI, J. V.; Hotza, D. **Otimização das proporções de pastas pozolânicas através de método de delineamento de misturas e superfície de respostas**. In: Proceedings of the 46<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society. 46., 2002. São Paulo. **Proceedings...**São Paulo: Brazilian Ceramic Society, Maio de 2002. p. 1000-1010.

NARDI, J. V.; Hotza, D. **Mixture design and response surface analysis of pozzolanic products**. In: Materials Science Forum. 2003. Switzerland. **Forum...** Switzerland: Trans Tech Publications, 2003. V. 416-418, p. 537-542

NARDI, J.V.; Acchar, W.; Hotza, D. **Enhancing the properties of ceramic products through mixture desing and response surface analysis**. In: Journal of the European Ceramic Society, 2004a. **Journal...** 2004a. n. 24, p. 375-379.

NARDI, J. V. **Delineamento e otimização de misturas pozolânica**. In: Florianópolis. Programa de Ciência e Engenharia de Materiais. UFSC. 2004b. **Tese de Doutorado...**Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004b, 167p.

NARDI, J. V. **Nova abordagem no tratamento de misturas na estabilização química dos solos**. In: 35<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação. 35., 2004c. Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2004c.

NARDI, J. V.; Hotza, D. **Determination of composition of pozzolanic waste mixtures with optimized compressive strength**. In: Materials Research, 2004d. v. 7, p. 373-375.

NARDI, J. V. **Desenvolvimento de método de restrições sucessivas para determinação das características mecânicas de misturas de solo e estabilizantes químicos**. In: 37<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação. 37., 2006

Goiânia. **Anais...**Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação. 2006.

NEVILLI, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo. Ed. Pini, 1997.

PANDIAN, N. S.; KRISHNA, K. C.; SRIDHARAN, A. Journal of Testing and Evaluation, 2001. **Journal...** 2001. v. 29, n. 2, p. 220.

PIEPEL, G. F. **Defining Consistent Constraint Regions in Mixture Experiments**. In: Technometrics, 1983a. n. 25. p. 97-101.

PIEPEL, G. F.; REDGATE, T. **Mixture Experiment Techniques for Reducing the Number of Components Applied for Modeling Waste Glass Sodium Release**. In: Journal of the American Ceramic Society. 1997a. **Journal...** American Ceramic Society. 1997b. v. 80, n. 12, p. 3038-3044.

SCHABBACH, L. M. **Formulação de fritas cerâmicas utilizando delineamento de misturas**. In: Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis – SC, março, 1999.

STATISTICA. **Industrial Statistics**. Statsoft, Inc. Volume IV, Printed in the United States of America, 1995.

YANG, C. H.; LI, Y. J.; WEN, T.C. **Mixture Design Approach to PEG-PPG-PTMG Ternary Polyol-Based Waterborne Polyurethanes**. in: Industrial and Engineering Chemistry Research. 1997. v. 36, n. 5, p. 1614-1621.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação lato sensu; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-62-8

