



**mei**

MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL  
PELA INOVAÇÃO

INOVA

**TALENTOS**

**2016**

RELATOS DE UMA GERAÇÃO DE INOVADORES

INOVA TALENTOS:  
**RELATOS DE UMA GERAÇÃO DE INOVADORES**



*Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria*



## **CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI**

**ROBSON BRAGA DE ANDRADE**  
*Presidente*

DIRETORIA DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA - DIRET

**RAFAEL ESMERALDO LUCCHESI RAMACCIOTTI**  
*Diretor de Educação e Tecnologia*

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA - SESI

**JOÃO HENRIQUE DE ALMEIDA SOUZA**  
*Presidente do Conselho Nacional*

SESI – DEPARTAMENTO NACIONAL

**RAFAEL ESMERALDO LUCCHESI RAMACCIOTTI**  
*Diretor-Superintendente*

**MARCOS TADEU DE SIQUEIRA**  
*Diretor de Operações*

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI

**ROBSON BRAGA DE ANDRADE**  
*Presidente do Conselho Nacional*

SENAI – DEPARTAMENTO NACIONAL

**ROBSON BRAGA DE ANDRADE**  
*Diretor*

**RAFAEL ESMERALDO LUCCHESI RAMACCIOTTI**  
*Diretor Geral*

**JULIO SERGIO DE MAYA PEDROSA MOREIRA**  
*Diretor Adjunto*

**GUSTAVO LEAL SALES FILHO**  
*Diretor de Operações*

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL

**ROBSON BRAGA DE ANDRADE**  
*Presidente do Conselho Superior*

IEL – NÚCLEO CENTRAL

**PAULO AFONSO FERREIRA**  
*Diretor-Geral*

**PAULO MÔL JÚNIOR**  
*Superintendente*

**GIANNA SAGAZIO**  
*Diretora de Inovação*

APOIO TÉCNICO NA ORGANIZAÇÃO DA PUBLICAÇÃO:

INSTITUTO EUVALDO LODI  
NÚCLEO REGIONAL ALAGOAS - IEL/AL

**HÉLVIO BRAGA VILAS BOAS**  
*Superintendente*

INSTITUTO EUVALDO LODI  
NÚCLEO REGIONAL DISTRITO FEDERAL - IEL/DF

**CLÁUDIO RODRIGUES TAVARES**  
*Superintendente*

INSTITUTO EUVALDO LODI  
NÚCLEO REGIONAL MINAS GERAIS - IEL/MG

**ADAIR EVANGELISTA MARQUES**  
*Superintendente*

INSTITUTO EUVALDO LODI  
NÚCLEO REGIONAL PIAUÍ - IEL/PI

**LAURIANE COSTA MARTINS COELHO**  
*Superintendente*

INSTITUTO EUVALDO LODI  
NÚCLEO REGIONAL RIO GRANDE DO SUL - IEL/RS

**CARLOS HEITOR ZUANAZZI**  
*Superintendente*

INSTITUTO EUVALDO LODI  
SÃO PAULO - IEL/SP

**CARLOS ALBERTO NOGUEIRA PIRES DA SILVA**  
*Superintendente*

© 2016. IEL – Núcleo Central

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Diretoria de Inovação - DI

#### FICHA CATALOGRÁFICA

---

I59g

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Inova talentos : relatos de uma geração de inovadores / Instituto Euvaldo Lodi. -- Brasília :

IEL/NC, 2016.

189 p. il.

1. Inovação 2. Relatos I. Título

CDU 005.591.6

---

#### **IEL**

Instituto Euvaldo Lodi – IEL

Núcleo Central

#### **SEDE**

Setor Bancário Norte

Quadra 1 - Bloco C

Edifício Roberto Simonsen

70040-903 - Brasília - DF

Tel.: (61) 3317-9001

Fax: (61) 3317-9190

<http://www.portaldaindustria.com.br/iel/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

[sac@cni.org.br](mailto:sac@cni.org.br)

*O Instituto Euvaldo Lodi Núcleo Central (IEL/NC) agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), às empresas participantes e aos Núcleos Regionais do IEL, localizados no Distrito Federal e nos estados de Alagoas, Minas Gerais, Piauí, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, pelas contribuições que originaram esta publicação.*

## APRESENTAÇÃO

**01\_**FELIPE DE SOUZA MAZUCO

**02\_**LEILA IPAR GOBUS

**03\_**DAYANE FERREIRA

**04\_**FERNANDO DELLACQUA

**05\_**MARIA ADELAIDE GUIMARÃES

**06\_**GUILHERME FUZATO

**07\_**LUIZ FERNANDO MOREIRA SANTANA

**08\_**ANA LÍGIA BUZOLI

**09\_**CINARA PAVESI EINSFELD

**10\_**JANINE SERAFIM



# INOVA TALENTOS

## RELATOS DE UMA GERAÇÃO DE INOVADORES

O desenvolvimento econômico e social do Brasil exige a determinação de explorar novas opções. Nesse sentido, a construção de um país mais dinâmico, eficiente, competitivo e sustentável representa um desafio, que depende substancialmente da inovação e da capacidade de converter ideias em valor.

O novo cenário econômico exige o desenvolvimento de uma política industrial sustentável, que dê a devida relevância à inovação, sem a qual não haverá condições para a retomada do crescimento econômico. Hoje, mais do que nunca, processos vinculados à inovação constituem a força-motriz da competitividade de uma empresa, de uma economia, de um país.

A partir dessa convicção – e em consonância com as iniciativas pioneiras da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI) – o Instituto Euvaldo Lodi (IEL), em parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), lançou o **INOVA TALENTOS**, programa que tem sido, desde 2013, valiosa ponte entre jovens talentos e empresas inovadoras.

Em três anos de **INOVA TALENTOS**, selecionamos quase 900 bolsistas, que atuaram em 632 projetos, desenvolvidos em 561 empresas por todo o Brasil. Foram 150 mil horas

de treinamentos, que propiciaram o conhecimento de técnicas e o desenvolvimento de habilidades cruciais ao profissional contemporâneo, que precisa andar lado a lado com a capacidade de se relacionar em equipe e de gerenciar tarefas e pessoas.

A série de artigos ora publicada consubstancia o resultado dessa aposta vencedora. A coletânea **INOVA TALENTOS: RELATOS DE UMA GERAÇÃO INOVADORA** é composta por 10 artigos, na versão impressa, e 17 artigos, na versão digital, escritos por alguns dos mais de 600 profissionais que passaram pelo programa. Neles, os bolsistas descrevem como os projetos desenvolvidos solucionaram desafios produtivos, criaram novos produtos e contribuíram decisivamente para a melhoria da competitividade da indústria.

Só para se ter uma ideia da amplitude e da relevância dos trabalhos apresentados. Na área de saúde, por exemplo, um dos projetos contemplou o desenvolvimento de novos testes para detecção precoce de mutações genéticas, que aumentam a incidência do câncer de mama e de útero. Os resultados possibilitaram a implantação de oito novos produtos, na rotina clínica dos laboratórios.

Outro projeto dedicou-se à investigação do potencial clínico de plantas nativas do Brasil, no tratamento de doenças neurodegenerativas. Enquanto isso, na engenharia,

*900 bolsistas, que atuaram em 632 projetos em 561 empresas de todo o Brasil e 150 mil horas de treinamentos.*

---

pesquisador e empresa testaram, com sucesso, novas técnicas para aumentar a resistência de motores de combustão. Em outra vertente, o **INOVA TALENTOS** ajudou a identificar métodos mais eficientes de manipulação dos resíduos de processos da indústria de mineração e metalúrgica.

Além de apresentar resultados nas mais áreas diversas do conhecimento – o que traduz a versatilidade e o alcance do Programa – o **INOVA TALENTOS** é o testemunho vivo da capacidade dos profissionais e das empresas brasileiras de desenvolver práticas diretamente vinculadas à inovação. As experiências aqui relatadas demonstram claramente que o futuro da indústria brasileira reside, mais do que nunca, na agenda da ciência e da inovação.

Iniciativas de sucesso, como o **INOVA TALENTOS**, reforçam não só a importância de se multiplicarem esforços no fomento à pesquisa e ao desenvolvimento, como também a necessidade de se construírem mais pontes entre academia e indústria. Os resultados certamente virão, na forma de um Brasil mais competitivo e melhor.

---

**PAULO MÓL JÚNIOR**

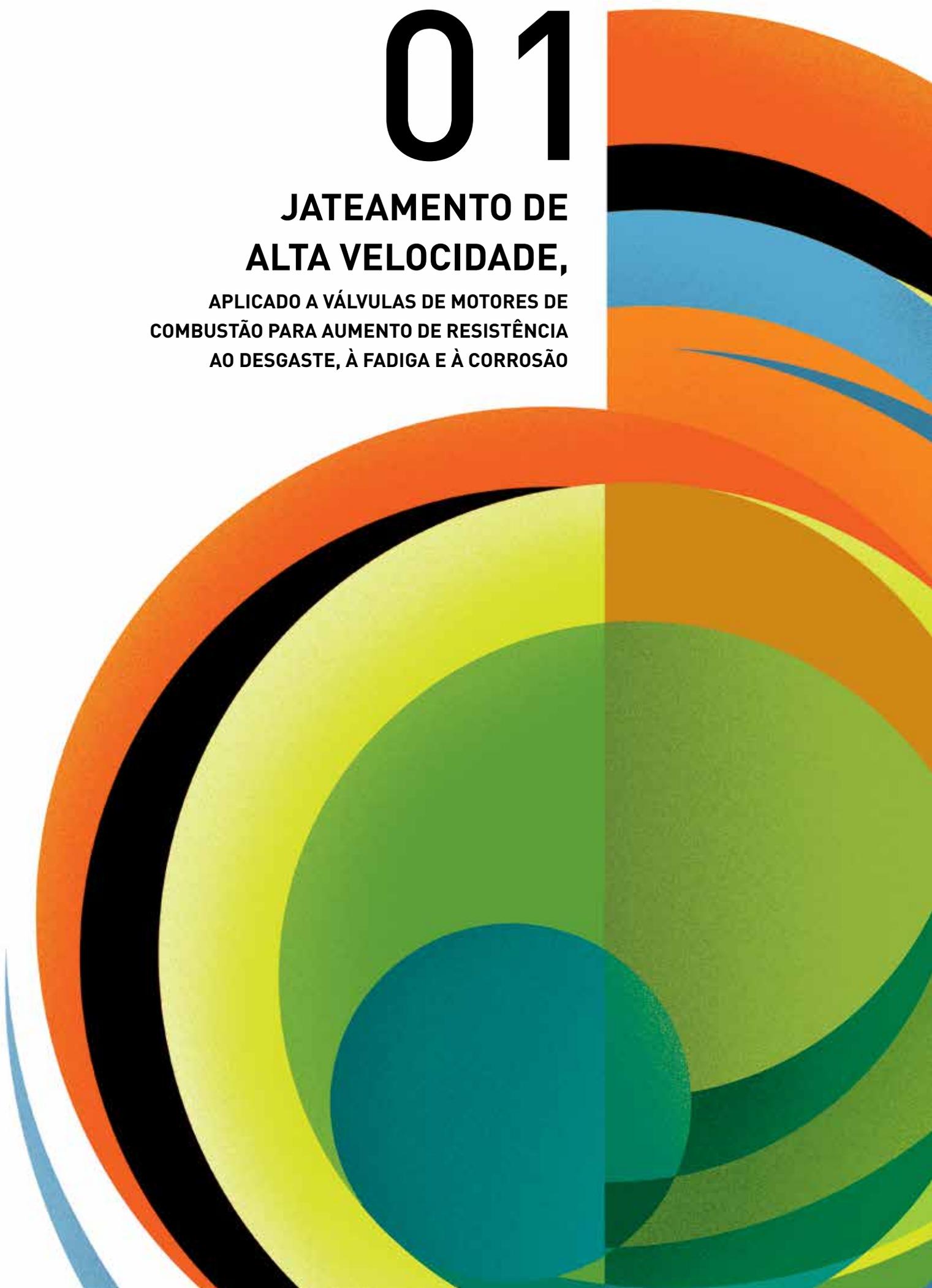
*Superintendente*

*IEL – Núcleo Central*

# 01

## JATEAMENTO DE ALTA VELOCIDADE,

APLICADO A VÁLVULAS DE MOTORES DE  
COMBUSTÃO PARA AUMENTO DE RESISTÊNCIA  
AO DESGASTE, À FADIGA E À CORROSÃO





---

## FELIPE MAZUCO

— MAHLE Metal Leve - Centro Tecnológico, Jundiaí - SP, Brasil

— Engenharia Mecânica

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

---

**ROBERT BANFIELD**

**PAULO MORAIS**

**ALEXANDRE PADIAL**

— MAHLE Metal Leve - Centro Tecnológico, Jundiaí - SP, Brasil

! Artigo técnico apresentado ao IEL para participação no prêmio de reconhecimento do programa INOVA Talentos – categoria artigo (edição 2016)

O autor principal é formado em engenharia mecânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2015), com ênfase em engenharia automotiva. Na graduação, atuou como bolsista de iniciação científica em projetos relacionados ao desgaste e atrito de componentes automotivos, no laboratório de fenômenos de superfície (LFS). Atualmente, desempenha função de engenheiro de pesquisa, no centro tecnológico da MAHLE Metal Leve.

## MAHLE

---

✉ [felipe.mazuco@br.mahle.com](mailto:felipe.mazuco@br.mahle.com)



Rua Marechal Floriano Peixoto, 122,  
São Roque-SP, Brasil,  
CEP 18130-390



(11) 99513-5374

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | jateamento, planejamento de experimentos, desgaste, válvulas, fadiga

---

A demanda atual por redução de consumo de combustível e de emissões acarreta o aumento de esforços mecânicos e térmicos aplicados aos componentes de motores de combustão, como as válvulas de admissão e escape. Um novo processo de jateamento de alta velocidade, com micropartículas cerâmicas foi estudado, com 16 combinações de parâmetros, em amostras de válvulas de aço austenítico, para melhoria de propriedades mecânicas. Utilizou-se macrodurômetro, difratômetro de raios-X, perfilômetro 3D e microscópio eletrônico de varredura, para caracterizar as amostras em termos de dureza, tensão residual, rugosidade e morfologia, respectivamente. A pressão e o ângulo foram os parâmetros mais influentes. Foi observada uma camada de 10  $\mu\text{m}$ , com dureza até 50% maior e altíssima tensão residual compressiva.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | air blast shot peening, design of experiments (DoE), wear, valves, fatigue

---

*The current demand for reduction in fuel consumption and emissions is leading to increased mechanical and thermal efforts applied to combustion engine components, as intake and exhaust valves. A new high speed peening process with ceramic micro particles was studied with 16 combinations of parameters in austenitic steel valves samples for mechanical properties improvement. It was used hardness tester, X-Ray diffractometer, 3D profilometer and scanning electron microscope to characterize samples in terms of hardness, residual stress, roughness and morphology, respectively. The pressure and the angle were the most influent parameters. It was observed a layer of 10  $\mu\text{m}$  with hardness up to 50% greater and a expressive residual compressive stress.*

## INTRODUÇÃO

**M**otores de combustão interna são máquinas térmicas que produzem trabalho útil, ou potência mecânica, a partir da energia química presente no combustível. A geração de potência se dá pela transformação da energia química em calor, por meio da combustão do combustível (utilizando o ar como comburente) e pela transformação do calor gerado em trabalho mecânico, por meio de mecanismos alternativos (movimento de vaivém de um pistão) e rotativos (movimento de rotação de palhetas, por exemplo)<sup>1</sup>.

Segundo dados da Anfavea<sup>2</sup>, mais de 85% dos veículos licenciados no Brasil possuem tecnologia flex fuel, que permite a utilização da mistura de etanol hidratado e gasolina em qualquer proporção.

Algumas das principais alterações nos motores flex fuel em relação aos motores mono fuel são: a. adequação do sistema mecânico de geração de potência (cilindros e pistões, por exemplo) a solicitações mecânicas maiores, devido à maior pressão de combustão; e b. existência de consequências tribológicas, relacionadas ao atrito e desgaste pelo uso do etanol. Podem ocorrer lavagem e diluição do lubrificante, o que altera as propriedades interfaciais dos contatos das partes móveis do motor, ocasionando falhas em componentes e perda de desempenho, relacionadas principalmente ao sistema válvula-sede<sup>3</sup>.

As válvulas são responsáveis por: a. controlar a entrada da mistura ar/combustível e saída de gases de combustão no cilindro; b. assegurar que a câmara de combustão esteja vedada durante a combustão; e c. dissipar o calor gerado na combustão, transferindo-o para a sede do cabeçote e para a guia de válvula.

As válvulas de admissão e de exaustão sofrem alterações distintas, pois, na exaustão, os materiais estão expostos a temperaturas mais elevadas e a um meio mais corrosivo<sup>4</sup>. A tendência atual dos motores de produção em massa é o downsizing, via turbo aspiração<sup>5</sup>, para diminuir o consumo de combustíveis e emissões, o que constitui uma das principais demandas do programa Inovar-Auto.

Com a utilização desses sistemas turbos aspirados, as solicitações mecânicas e térmicas aumentam ainda mais, ocasionando a intensificação de fraturas, quebras e desgaste na válvula,

<sup>1</sup> ROBERT BOSCH, *Automotive Handbook, 9th Edition ed.*, SAE International, 2014

<sup>2</sup> <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>

<sup>3</sup> F. BRUNETTI, *Motores de Combustão Interna*, vol. 1, Edgar Blucher, 2012

<sup>4</sup> VERLAG MODERNE INDUSTRIE, *Sistemas de Comando de Válvulas para Motores de Combustão Interna*, Schaeffler Technologies GmbH & Co, 2011.

<sup>5</sup> S. MARTIN, C. BEIDL e R. MUELLER, "Responsiveness of a 30 Bar BMEP 3- Cylinder Engine: Opportunities and Limits of Turbocharged Downsizing," *SAE Technical Paper 2014-01-1646*, 2014.

além do aumento da possibilidade de corrosão intergranular das válvulas, que ocorre nesse tipo de ambiente<sup>6</sup>. Dessa forma, o desenvolvimento de novos materiais e tratamentos para as válvulas se torna essencial.

As superfícies que trabalham em movimento relativo com outras superfícies ou sob tensão em ambientes corrosivos, como as válvulas, são o principal ponto de partida de falhas como desgaste, corrosão e/ou fadiga, já que nelas estão presentes poros ou trincas, que servem como via para que as falhas ocorram<sup>7</sup>. Usualmente, são aplicados tratamentos de endurecimento superficiais como nitretação, deposição de stellite (revestimento duro, à base de cobalto) na região dos assentos de válvulas para minimizar o desgaste<sup>8</sup> ou, até mesmo, nitretação na válvula por inteiro, para aumento da resistência à fadiga<sup>9</sup>.

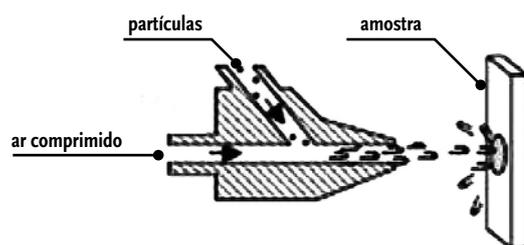


FIGURA 1  
Ilustração do processo de jateamento. Adaptado de [10].

Outro método de melhoria da superfície é a nanocrystalização superficial, que consiste na formação de uma estrutura com tamanho de grão (na ordem de nanômetros) devido à aplicação de deformação plástica severa, por diferentes processos e formas, capaz de causar alto grau de deformação plástica a uma alta taxa<sup>10</sup>. Um desses processos é o jateamento de alta velocidade (*air blast shot peening*), processo com maior taxa de deformação, o que favorece a formação da camada nanocrystalina. A figura 1 ilustra o processo de jateamento, em que as partículas são aceleradas por um fluxo de ar comprimido, até atingir a amostra.

<sup>6</sup> R. ELO e S. JACOBSON, "Intake valve system in heavy duty combustion engines - a wear mechanism study,," em *Proceedings of the Asiatic Conference*, 2014.

<sup>7</sup> T. WANG, J. YU e B. DONG, "Surface nanocrystallization induced by shot peening and its effect on corrosion resistance of 1Cr18Ni9Ti stainless steel," *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 4777-4781, 2006.

<sup>8</sup> Y. WANG, *Introduction to Engine Valvetrains*, SAE International, 2007.

<sup>9</sup> P. LERMAN e R. PETRILLI, "Heavy Duty Valves with Enhanced Performance through Nitriding Treatment," *SAE Technical Paper 2015-36-0240*, 2015.

<sup>10</sup> H. KUMAR, P. KUMAR e S. SINGH, "Modified Shot Peening Processes - A Review," *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, vol. 5, n. 1, pp. 12-19, Apr 2013.

O processo, realizado com partículas menores que 0,2 mm e velocidades maiores do que 100 m/s, é uma modificação do processo de *shot peening*. Ambos são processos de trabalho a frio, que produzem uma camada com tensão residual compressiva, por meio de deformação plástica da superfície causada pelo bombardeamento de pequenas partículas contra o corpo de prova, formando pequenas calotas, como ilustrado na figura 2.

A região de tensão residual compressiva é formada na região logo abaixo da região deformada, pois essa tenta recuperar seu formato original, criando uma região comprimida<sup>[11]</sup>. A tensão residual depende da distância da superfície do material. Usualmente, a máxima tensão residual de compressão ocorre alguns micrometros abaixo da superfície.

A presença da tensão residual de compressão aumenta a resistência superficial, otimizando parâmetros como dureza e tensão de escoamento, além de beneficiar a resistência à fadiga, à corrosão e ao desgaste [7]. Os parâmetros do processo mais influentes são: pressão, distância, ângulo, tempo, *coverage* (cobertura do tratamento) e materiais (mídia e corpo de prova)<sup>[12]</sup>.

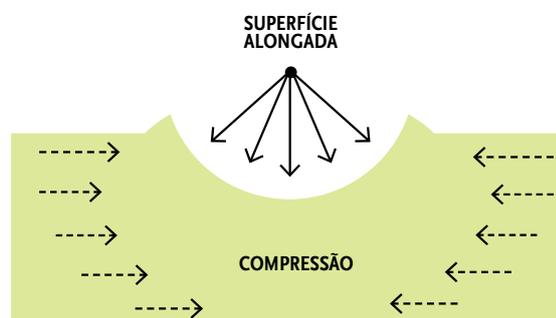


FIGURA 2  
Ilustração do mecanismo de deformação superficial.

A nanoestrutura cristalina formada (designada adiante como NC) possui propriedades mecânicas, químicas e físicas superiores [7]. Essas regiões apresentam pequenos grãos, com tamanho de 2 nm a 100 nm, baixa densidade de planos de deslocamentos dos grãos e/ou defeitos cristalinos, limites da estrutura bem definidos, ausência de cementita (quando existente antes do tratamento), alta dureza (8 – 13 GPa), lento crescimento de grão e baixa recristalização no recozimento<sup>[13]</sup>. A recristalização da NC é observada apenas em temperaturas de recozimento acima de 1073 K [10].

<sup>11</sup> H. KUMAR, P. KUMAR e S. SINGH, “Modified Shot Peening Processes - A Review,” *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, vol. 5, n. 1, pp. 12-19, Apr 2013.

<sup>12</sup> S. MAHAGAONKAR, P. BRAHMANKAR e C. SEEMIKERI, “Effect of Shot Peening Parameters on Microhardness of AISI 1045 and 316L Material: An Analysis Using Design of Experiment,” *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 38, pp. 563-574, 2008.

<sup>13</sup> M. UMEMOTO, Y. TOKADA e K. TSUCHIYA, “Formation of Nanocrystalline Structure in Steels by Air Blast Shot Peening,” *Materials Transactions*, vol. 44, n. 7, pp. 1488 - 1493, 2003.

Na estrutura NC, o tamanho dos grãos é menor, quanto mais próximo da superfície<sup>[14] [15]</sup> [7], devido à maior deformação que ocorre na superfície do material [13]. O endurecimento da superfície, relacionado à diminuição dos grãos, pode ser estimado pela equação de Hall-Petch, descrita a seguir:

$$HV = HV_0 + 1,5\mu (b/d)^{1/2}$$

onde:

$HV_0$  é a dureza inicial;

$m$  é o módulo de cisalhamento;

$b$  são constantes do material

(vetor de Burger);

$d$  é o diâmetro médio dos grãos

Em aços, além do efeito da diminuição do grão, existe o efeito da dissolução – seguida da esferoidização da cementita – que age como precipitação, aumentando a dureza do material<sup>[16]</sup>. Ambos os efeitos aumentam a densidade de contornos de grão e dificultam a movimentação de discordâncias e defeitos cristalinos, que é a forma de ocorrer deformação nos materiais. O aumento da dureza acompanha o aumento na resistência ao desgaste<sup>[17]</sup>. Ainda existem discussões sobre a evolução microestrutural da camada NC formada. Alguns trabalhos indicam que ocorre a transformação da fase  $\gamma \rightarrow \alpha$ -martensita induzida pela deformação [14] ou pelo aquecimento superficial até a temperatura A1 e rápido resfriamento<sup>[18]</sup> [19]. Porém, outro trabalho [13] contesta esse processo, já que a camada foi formada na liga Fe-3,29Si, que possui estrutura cúbica de corpo centrado estável até o ponto de fusão, não existindo a possibilidade dessa transformação.

14 T. WANG, B. LU, M. ZHANG, R. HOU e F. ZHANG, “Nanocrystallization and  $\alpha$  martensite formation in the surface layer of medium-manganese austenitic wear-resistant steel caused by shot peening,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 458, pp. 249-252, 2007.

15 W. LEE, K. CHO, K. KIM, K. MOON e Y. LEE, “The effect of the cementite phase on the surface hardening of carbon steels by shot peening,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 5852-5857, 2010.

16 W. LEE, K. CHO, K. KIM, K. MOON e Y. LEE, “The effect of the cementite phase on the surface hardening of carbon steels by shot peening,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 5852-5857, 2010.

17 A. AMANOV, I. CHO, Y. PYOUN, C. LEE e I. PARK, “Micro-dimpled surface by ultrasonic nanocrystal surface modification and its tribological effects,” *Wear*, Vols. 61 de 2287-287, pp. 136-144, 2012.

18 Y. MIYASAKA e A. KASUGAI-SHI, “Method of preventing abrasion at sliding portion of metal-product”. *Europe Patente EP 0 731 181 A1*, 11 September 1996.

19 Y. MIYASAKA e A. NAGOYA-SHI, “Instantaneous heat treatment method for metal product”. *Europe Patente EP 2 463 392 A1*, 13 June 2011.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver o processo de jateamento de alta velocidade com micropartículas cerâmicas para o aumento de resistência à fadiga, ao desgaste e à corrosão, em válvulas de motores de combustão interna. Esses aspectos serão relacionados à dureza, rugosidade e tensão residual. A verificação da formação da estrutura nanocristalina inclui-se ainda entre os objetivos.

## MÉTODO E MATERIAIS

### JATEAMENTO

No equipamento de jateamento, todo o processo ocorre dentro da cabine, que possui abertura para inserção dos materiais a serem tratados. As partículas ficam armazenadas no tanque de recuperação, por onde escoam, pela gravidade, para um duto, conectado ao bocal. Um compressor é o responsável pelo fluxo de ar, que arrasta as partículas do duto pelo bocal, até atingir a região de trabalho, onde estão os corpos de prova. O esquema do equipamento é mostrado na figura 3.

O equipamento permite controlar a pressão de injeção do ar pelo compressor e, consequentemente, a velocidade das partículas. Além disso, possui ajuste de posição do bocal, o que possibilita o controle da distância e do ângulo do feixe de partículas.

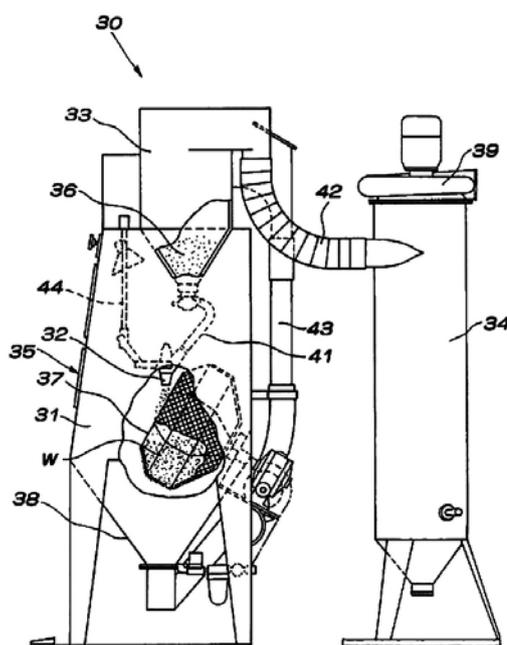


FIGURA 3  
Esquema do equipamento de jateamento  
32-bocal, 36-tanque de recuperação, 41-duto  
conectado ao bocal e 44- duto conectado ao  
compressor, [17]

Na investigação dos parâmetros, foi utilizada a técnica de experimentos fatoriais com 4 fatores e 2 níveis cada fator resultando, em 16 conjuntos únicos de parâmetros. Os fatores investigados foram: pressão de ejeção das partículas, distância do bocal às amostras, ângulo do feixe e tempo de tratamento. Os valores estão informados na tabela 1.

### CONJUNTOS DE PARÂMETROS

EXPERIMENTO	PRESSÃO (MPa)	DISTÂNCIA (mm)	ÂNGULO (°)	TEMPO (s)
1	0,3	80	75	20
2	0,3	80	75	60
3	0,3	80	90	20
4	0,3	80	90	60
5	0,3	150	75	20
6	0,3	150	75	60
7	0,3	150	90	20
8	0,3	150	90	60
9	0,6	80	75	20
10	0,6	80	75	60
11	0,6	80	90	20
12	0,6	80	90	60
13	0,6	150	75	20
14	0,6	150	75	60
15	0,6	150	90	20
16	0,6	150	90	60

TABELA 1 - Conjuntos de parâmetros

## MATERIAIS

As partículas utilizadas para o jateamento são microesferas de vidro (cerâmico), com faixas de diâmetro de 45 a 70  $\mu\text{m}$  e dureza de 700 HV. As amostras, usinadas diretamente de válvulas de aço austenítico X50 (X50Cr-MnNiNbN21-9), apresentam dureza de 306 HBW<sub>30</sub> (350 HV). A figura 4 mostra a região de usinagem da válvula (linha tracejada) e a superfície onde foi feito o jateamento (indicada pela seta). A superfície foi retificada e possui rugosidade média (Ra) de 1,86  $\mu\text{m}$ .



FIGURA 4  
(a) Usinagem da amostra.  
(b) Superfície a ser jateada.

## CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

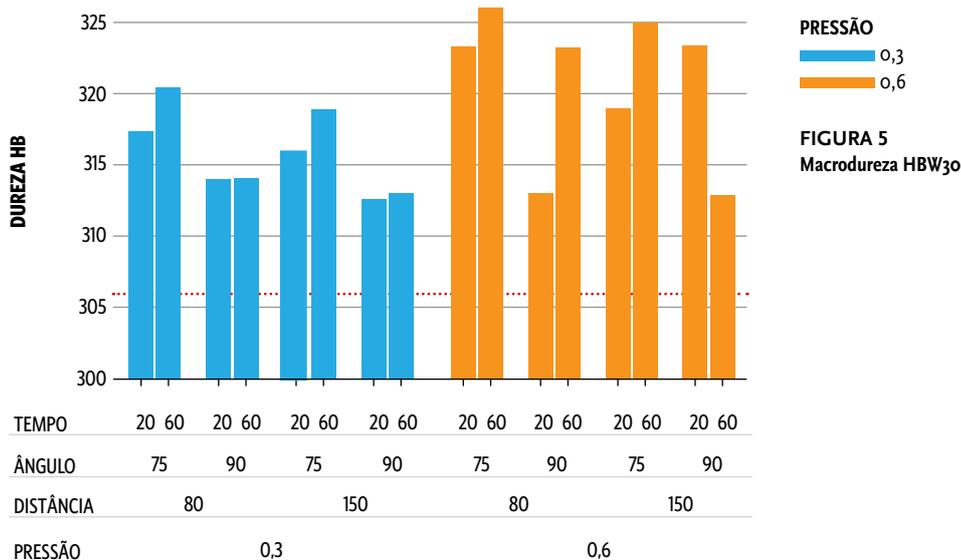
As amostras foram caracterizadas antes e após o tratamento, em quanto à dureza, tensão residual e rugosidade. Os equipamentos utilizados foram: microdurômetro Vickers, macrodurômetro Brinell (HBW<sub>30</sub>), difratômetro de raios-X, perfilômetro 3D (via interferometria de luz branca) (WLI-White Light Interferometry) e microscópio eletrônico de varredura (MEV). A amostra analisada no MEV foi atacada quimicamente, via ataque eletrolítico com ácido oxálico.

Testes de corrosão também foram feitos, com a utilização de solução ácida de 100 g  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 700 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , 184 g  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1200 ml  $\text{H}_2\text{O}$  e placas de cobre no fundo do recipiente. As amostras ficaram na solução por 4 horas, sendo testadas amostras jateadas e nãojateadas, à temperatura ambiente e após sensitização por 100 horas a 500 °C. Importante ressaltar que a sensitização é um processo que combina temperatura e tempo, para que os aços se tornem mais suscetíveis à corrosão intergranular.

## RESULTADOS

Medida em todas as amostras, a macrodureza superficial serviu como base para a escolha dos parâmetros com maior chance de melhoria das propriedades mecânicas. A figura 5 mostra os resultados encontrados, em que se pode notar o aumento significativo (de até 7%) de dureza em todas as combinações analisadas. Os resultados com maior pressão e ângulo baixo obtiveram o maior aumento.

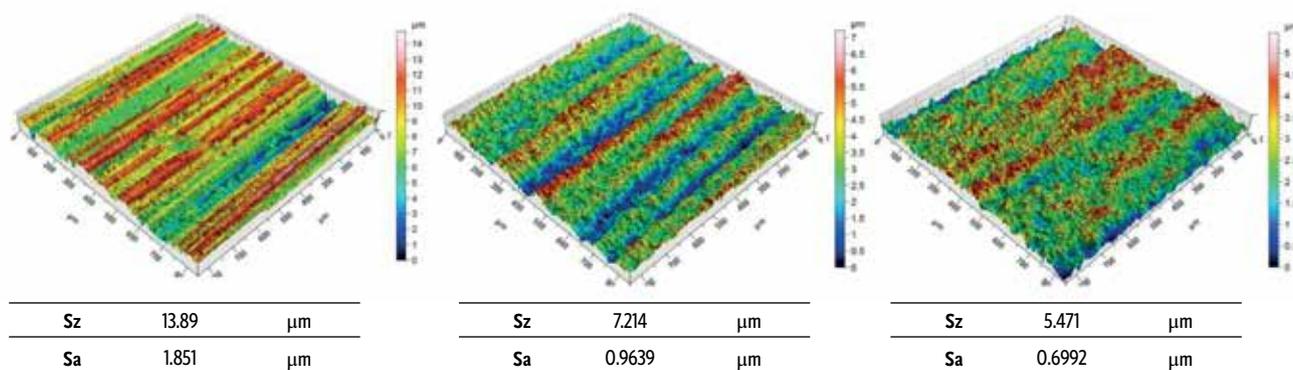
**MACRODUREZA HBW30**



**FIGURA 5**  
Macro dureza HBW<sub>30</sub>

Outro elemento importante para definição dos parâmetros é a rugosidade. Essa análise foi feita via medições em três dimensões por interferometria com luz branca, razão pela qual os parâmetros de rugosidade são expressos por Sa – rugosidade média (similar ao Ra) e Sz – rugosidade total (similar ao Rz).

A rugosidade seguiu tendência inversa, como mostra a figura 6. Quanto maior a severidade do jateamento, menor a rugosidade encontrada. Na Figura 6-a, é mostrada a superfície retificada, antes do tratamento. As Figuras 6-b e 6-c apresentam a topografia das amostras jateadas, com baixa e alta pressão, respectivamente. A rugosidade alcançou valores até 60% menores na amostra jateada com alta pressão. Além disso, a direção das marcas deixadas pela retífica já não ficou tão evidente.



**FIGURA 6 - Topografia 3D das amostras e parâmetros de rugosidade das amostras (a) sem jateamento, (b) com jateamento, na condição 1 e (c) com jateamento, na condição 12.**

A tensão residual foi medida via difração de raios-X, em amostras com diferentes durezas. A tabela 2 mostra os resultados obtidos. A tensão residual da amostra sem tratamento era tractiva (sinal positivo) devido à retífica. Após o jateamento, foi introduzida tensão compressiva na superfície das amostras de, no mínimo, 585 MPa. Os valores chegaram a até 753 MPa de tensão compressiva, sendo observada correlação com a dureza.

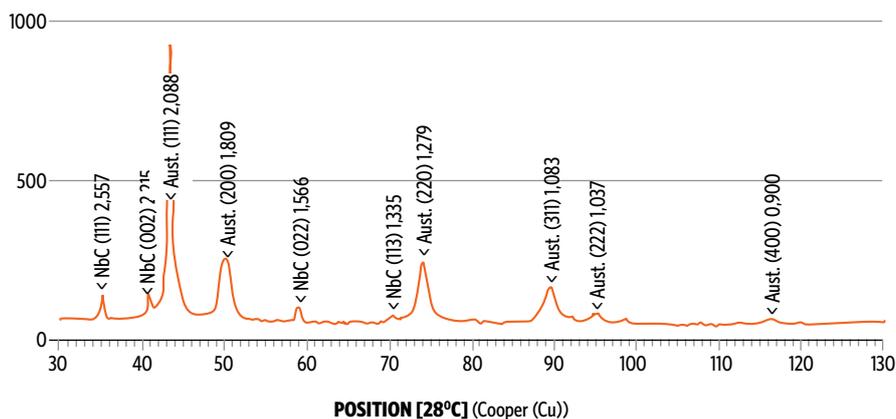
### TENSÃO RESIDUAL E DUREZA DE AMOSTRAS SELECIONADAS

AMOSTRA	DUREZA (HBW <sub>30</sub> )	TENSÃO RESIDUAL (MPa)
0 - sem tratamento	306	200
#2 - 0,3 MPa - 80 mm - 75° - 20 s	320	- 660
#9 - 0,6 MPa - 80 mm - 75° - 20 s	323	-736
#11 - 0,6 MPa - 80 mm - 90° - 20 s	313	- 585
#12 - 0,6 MPa - 80 mm - 90° - 20 s	323	- 753

**TABELA 2**  
Tensão residual e dureza de amostras selecionadas.

Utilizando-se ainda a difração de raios-X, foram identificadas as fases presentes no material. Tanto na amostra jateada como na amostra sem tratamento foram encontradas as fases de austenita e carbonetos de nióbio (NbC), conforme mostra a figura 7. A austenita mais predominante se encontra no plano cristalográfico (111).

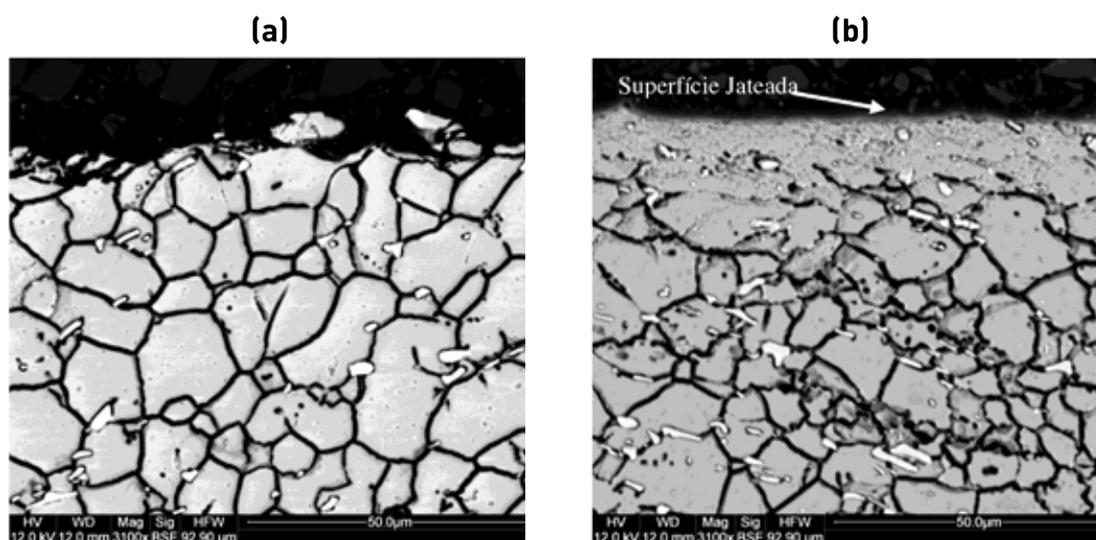
### IDENTIFICAÇÃO DE FASES



**FIGURA 7**  
Identificação de fases. Presença de austenita e carboneto de nióbio

A identificação de fases, porém, não informa o tamanho de grão presente em cada fase. Para isso, foi feita análise da secção transversal da amostra em MEV. A amostra sem tratamento apresenta grão da ordem de 20  $\mu\text{m}$ , disposto homoganeamente desde a superfície até o núcleo da amostra analisada, (Ver Figura 8-a).

No entanto, a amostra jateada a 0,6 MPa, mostrada na figura 8-b, apresenta grãos de tamanho similares à amostra sem tratamento fora da superfície, não sendo possível notar, na superfície, distinção entre os grãos. A faixa que não apresenta contorno de grãos possui, aproximadamente, 10  $\mu\text{m}$ , e os carbeto de nióbio, identificados anteriormente, aparecem em ambas as amostras.



**FIGURA 8**  
Imagens da secção transversal das amostras em MEV.  
(a) representativa sem jateamento e  
(b) representativa com jateamento a 0,6 MPa de pressão.

Com as mesmas secções transversais da análise anterior, foi medido um perfil de microdureza ao longo da profundidade, conforme apresentado na figura 9. A amostra sem tratamento possui dureza do núcleo da ordem de 325 a 350 HV, alcançando valores de no, máximo, 375 HV, próxima à superfície. No caso da amostra jateada, a dureza alcança valores de até 560 HV, próxima à superfície. A 10  $\mu\text{m}$  de profundidade, a dureza cai a 480 HV, indicando que a camada sem contornos de grão apresenta dureza mais alta. No entanto, a dureza é maior até 35  $\mu\text{m}$ , o que mostra que a zona de compressão induzida pelo jateamento é de 35  $\mu\text{m}$ .

### MICRODUREZA AO LONGO DA PROFUNDIDADE

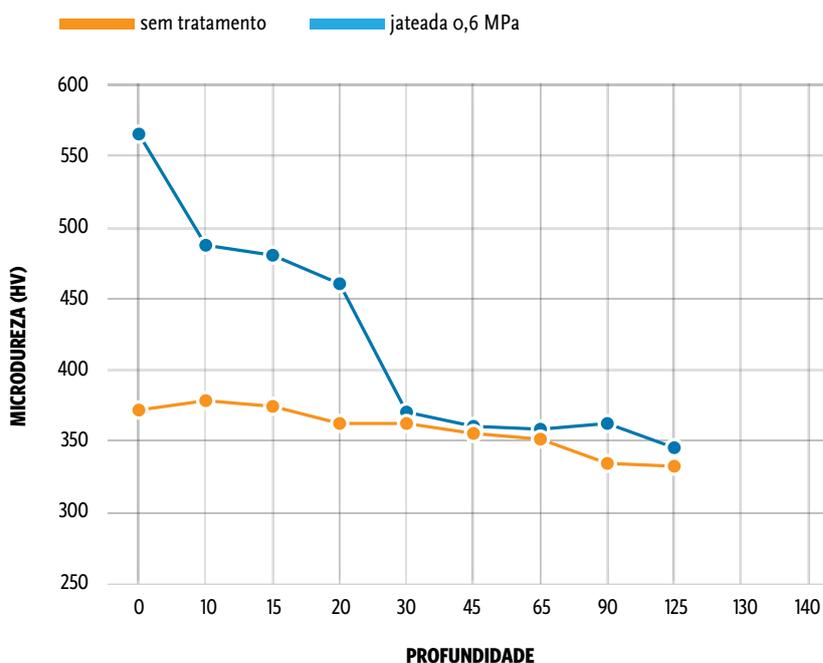


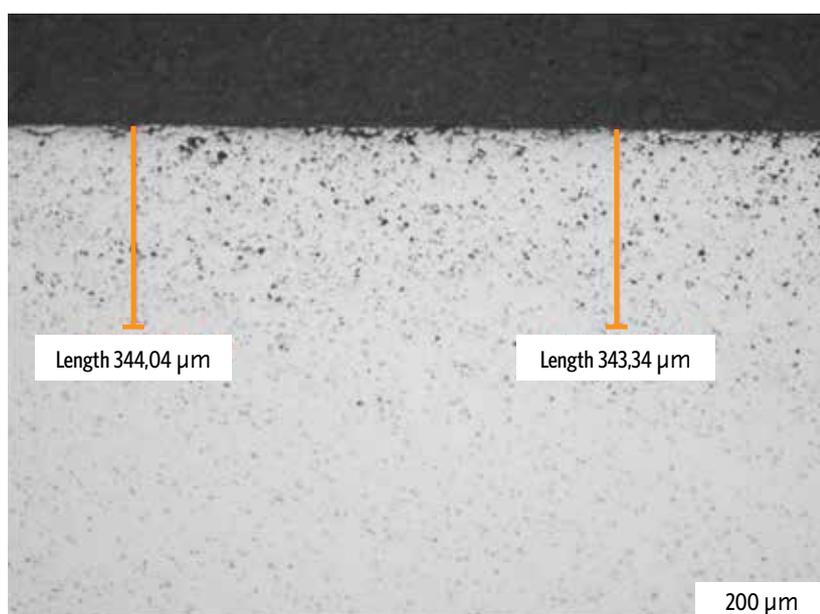
FIGURA 9  
Microdureza ao longo da profundidade.

Por terem apresentado maior dureza superficial, as amostras 9 e 12 foram selecionadas para teste de corrosão, cuja profundidade foi utilizada como indicador de performance do teste. A tabela 3 apresenta os resultados para uma amostra sem jateamento e duas com jateamento. As amostras sem tratamento térmico anterior ao teste não apresentaram diferença significativa na profundidade de corrosão. No entanto, após sensitização a 500 °C, é possível notar redução na profundidade corroída de até 200 µm, para a amostra com maior pressão e maior ângulo.

### PROFUNDIDADE DE CORROSÃO INTERGRANULAR APÓS IMERSÃO EM SOLUÇÃO

PROFUNDIDADE DE CORROSÃO APÓS IMERSÃO	SEM TRATAMENTO TÉRMICO	APÓS SENSITIZAÇÃO @ 500°C X 100 HS
SEM TRATAMENTO	450 µm	600 µm
AMOSTRA 9 – 0,6 MPa, 75°	550 µm	450 µm
AMOSTRA 12 – 0,6 MPa, 9°	500 µm	400 µm

TABELA 3 - Profundidade de corrosão intergranular após imersão em solução.



**FIGURA 10**  
Imagem representativa  
da corrosão, ocorrida  
na amostra 12.

A figura 10 mostra imagem representativa da corrosão ocorrida na amostra 12. A corrosão é, predominantemente, intergranular, ou seja, inicia-se nos contornos de grão.

## DISCUSSÃO

A dureza e rugosidade foram bastante influenciadas pelos parâmetros de jateamento. A figura 11 apresenta os efeitos principais de cada fator sobre as medições dessas duas características. Nota-se que a pressão e o ângulo do feixe foram os parâmetros mais influentes desse processo.

Enquanto o aumento do ângulo tende a diminuir tanto a rugosidade como a dureza, o aumento de pressão causa aumento de dureza e diminuição de rugosidade. Tempo é parâmetro que também não pode ser negligenciado, uma vez que segue a mesma tendência da pressão. A pressão de injeção do ar que leva as partículas esféricas é um dos fatores mais influentes no processo, pois controla diretamente a velocidade das partículas e, por consequência, a energia do feixe.

O aumento de dureza é benéfico para aplicações que buscam diminuição do desgaste. A diminuição da rugosidade também é benéfica, pois a menor altura de picos acarreta contato mais uniforme e melhor distribuição de pressão de contato.

## EFEITOS PRINCIPAIS SOBRE A DUREZA E SOBRE A RUGOSIDADE

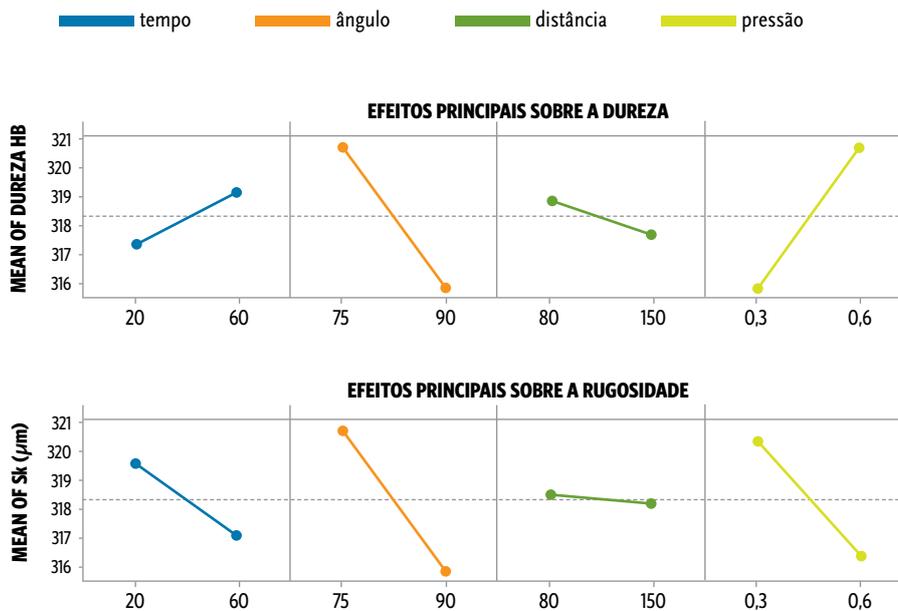


FIGURA 11 Efeitos principais sobre a dureza e sobre a rugosidade.

Esses resultados vão de encontro a dados obtidos pela literatura, em que foi obtido o aumento da rugosidade com o aumento da pressão em uma liga temperada de X35CrMoV5-1<sup>[20]</sup>. A diferença pode ser explicada pela maior dureza do corpo de prova utilizado neste trabalho, já que, segundo o mesmo estudo, o efeito de aumento de rugosidade é mais pronunciado, quanto maior a diferença entre as durezas do corpo de prova e das partículas.

A espessura da camada NC também é influenciada pela diferença de dureza entre corpos de prova e partículas de jateamento. Foi reportado que, em seus experimentos com aço carbono, uma maior espessura da camada NC era observada, quando a diferença entre a dureza da mídia e a do corpo de prova era maior [20]. Portanto, a camada de 10 µm, observada na figura 8-b, seria maior, caso o material do corpo de prova fosse menos duro.

A tensão residual superficial obtida apresentou correlação com a dureza medida na superfície, conforme mostra o gráfico da figura 12. Portanto, possui a mesma sensibilidade aos parâmetros que a dureza. O aumento observado foi substancial e deve alterar significativamente a resistência à fadiga das válvulas, já que a inclusão de tensões compressivas no material é benéfica no desempenho do componente a esforços cíclicos.

Além disso, as tensões compressivas e a modificação topográfica observada são benéficas para suprimir a presença de trincas pré-existentes no material, que poderiam ser iniciadores de fadiga.

<sup>20</sup> C. HORSCH, V. SCHULZE e D. LOHE, "Deburring and surface conditioning of micro milled structures by abrasive and non-abrasive micro peening," em *International Conference on Shot Peening, Paris, 2005*.

## CORRELAÇÃO DUREZA X TENSÃO RESIDUAL

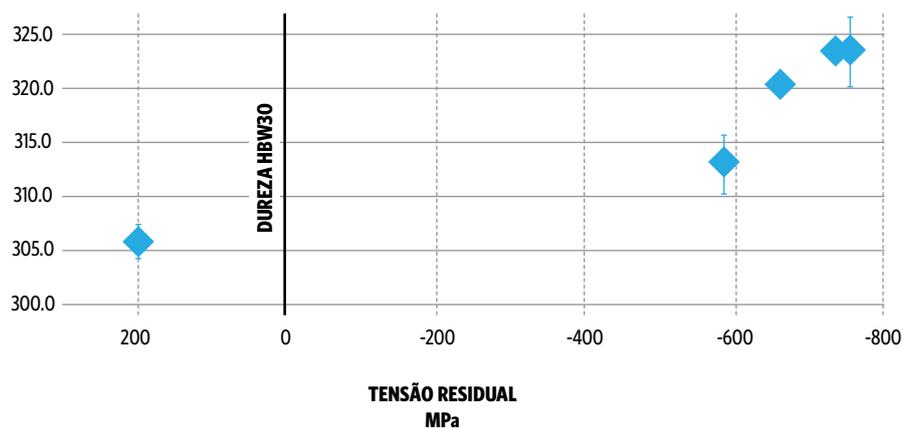


FIGURA 12  
Correlação entre  
dureza HBW<sub>30</sub>  
e tensão residual  
superficial

O tamanho das partículas de jateamento pode ser considerado fator importante para o aumento da camada NC e das tensões residuais. Alguns estudos concluem que o aumento da espessura das camadas NC e de compressão é maior, quanto maior a energia do feixe, ou seja, com mídia de diâmetros maiores (mantendo-se a pressão)<sup>21 22 23</sup>.

Independentemente da pequena camada formada, o aumento de dureza foi observado, inclusive, em macrodureza. Isso se deve a dois fatores principais: o primeiro relacionado à alta dureza na camada nanocristalina de 10  $\mu\text{m}$  (que chegou a até 560 HV) e o segundo relacionado à zona total comprimida que, pelo perfil de dureza, apresenta espessura de 35  $\mu\text{m}$ .

O aumento de dureza na camada NC ocorreu por diminuição do tamanho de grão, até a ordem de nanômetros. Não houve transformação de fase, pois o difratograma das amostras jateadas e nãojateadas apresentou as mesmas fases. Essa conclusão refuta alguns dos trabalhos reportados na literatura, em que foram descritas transformações de fase, devido ao rápido aquecimento e resfriamento nas superfícies atingidas pela literatura [14] [18].

21 M. UMEMOTO, Y. TOKADA, J. LI e K. TSUCHIYA, "Nanocrystallization of carbon steels by shot peening and drilling," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 10, pp. 409-416, 2005.

22 V. SCHULZE, "Characteristics of Surface Layers Produced by Shot Peening," em *8th International Conference on Shot Peening*, Munich, 2002.

23 J. SCHWARZER, V. SCHULZE e O. VOHRINGER, "Finite Element Simulation of Shot Peening - A Method to Evaluate the Influence of Peening Parameters on Surface Characteristics," *Shot Peening*, pp. 507-515, 2003.

Em relação aos testes de corrosão, é possível concluir que a camada NC e as zonas de compressão permanecem mesmo após a sensitização (aquecimento a 500°C, por 100 horas), pois a profundidade de corrosão foi menor nas amostras jateadas. Esse fato é muito importante para a aplicação em válvulas, porque os componentes trabalham em ambiente com alta temperatura e com fluxos corrosivos<sup>24</sup>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos realizados foram suficientes para investigar a influência dos parâmetros do jateamento, como pressão, tempo, ângulo e distância do feixe, nas propriedades do material estudado. A pressão e o ângulo foram os parâmetros mais influentes na dureza, tensão residual e rugosidade. Quanto maior a pressão, maior dureza e menor rugosidade; quanto maior o ângulo, menor dureza e menor rugosidade. A tensão residual apresentou boa correlação com a macrodureza superficial.

O aumento de dureza foi observado até 35 µm de distância à superfície, devido à formação de camada com grãos nanométricos e à zona de compressão introduzida no material. Cabe ressaltar que o aumento de dureza é fator positivo para o aumento da resistência ao desgaste, podendo ser aplicado na região de contato da válvula com a sede. O grande aumento na tensão residual deve alterar signi-

ficativamente a resistência à fadiga das válvulas, já que a inclusão de tensões compressivas no material é benéfica no desempenho do componente a esforços cíclicos.

Outro aspecto positivo observado foi a diminuição da rugosidade, graças ao jateamento. Essa diminuição também pode ser considerada como fator benéfico para o desgaste, pois, com a suavização dos picos, o contato é mais uniforme, melhorando a distribuição da pressão de contato e diminuindo o período de acomodação do par. Por esses motivos, é aconselhável a aplicação do jateamento na haste da válvula em contato com a guia. Foi observada a diminuição de corrosão nas amostras jateadas e sensitizadas a 500°C, o que mostra que os benefícios gerados não se perdem com a elevação da temperatura, de maneira similar ao que ocorre no motor.

A formação de uma camada de 10 µm sem contornos de grão foi observada. A ausência de contornos de grão indica que houve uma diminuição dos grãos para a escala manométrica, motivo pelo qual a dureza foi elevada. Não foi observado qualquer tipo de transformação de fase nas amostras jateadas.

Consideram-se recomendáveis melhores formas de caracterização da camada formada, como o real tamanho dos grãos formados, pois não é possível obter, via MEV, uma melhor caracterização. Recomenda-se também a realização de testes de fadiga rotativos para válvulas com o jateamento desenvolvido, visando comprovar as inferências feitas com base na dureza, tensão residual e rugosidade.

<sup>24</sup> MAHLE GmbH, *Valve train System and Components*, 2013, p. 306 pp.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ROBERT BOSCH, *Automotive Handbook*, 9th Edition ed., SAE International, 2014.
- [2] ANFAVEA, “*Dados relativos a exportação, produção e vendas*,” 2015. [Online]. Available: <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>. [Acesso em 01 2015].
- [3] F. BRUNETTI, *Motores de Combustão Interna*, vol. 1, Edgar Blucher, 2012.
- [4] VERLAG MODERNE INDUSTRIE, *Sistemas de Comando de Válvulas para Motores de Combustão Interna*, Schaeffler Technologies GmbH & Co, 2011.
- [5] S. MARTIN, C. BEIDL e R. MUELLER, “*Responsiveness of a 30 Bar BMEP 3- Cylinder Engine: Opportunities and Limits of Turbocharged Downsizing*,” SAE Technical Paper 2014-01-1646, 2014.
- [6] R. ELO e S. JACOBSON, “*Intake valve system in heavy duty combustion engines - a wear mechanism study*,” em Proceedings of the Asiatrib Conference, 2014.
- [7] T. WANG, J. YU e B. DONG, “*Surface nanocrystallization induced by shot peening and its effect on corrosion resistance of 1Cr18Ni9Ti stainless steel*,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 200, pp. 4777-4781, 2006.
- [8] Y. WANG, *Introduction to Engine Valvetrains*, SAE International, 2007.
- [9] P. LERMAN e R. PETRILLI, “*Heavy Duty Valves with Enhanced Performance through Nitriding Treatment*,” SAE Technical Paper 2015-36-0240, 2015.
- [10] M. UMEMOTO, “*Nanocrystallization of Steels by Severe Plastic Deformation*,” *Materials Transactions*, vol. 44, n. 10, pp. 1900 - 1911, 2003.
- [11] H. KUMAR, P. KUMAR e S. SINGH, “*Modified Shot Peening Processes - A Review*,” *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, vol. 5, n. 1, pp. 12-19, Apr 2013.
- [12] S. MAHAGAONKAR, P. BRAHMANKAR e C. SEEMIKERI, “*Effect of Shot Peening Parameters on Microhardness of AISI 1045 and 316L Material: An Analysis Using Design of Experiment*,” *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 38, pp. 563-574, 2008.
- [13] M. UMEMOTO, Y. TOKADA e K. TSUCHIYA, “*Formation of Nanocrystalline Structure in Steels by Air Blast Shot Peening*,” *Materials Transactions*, vol. 44, n. 7, pp. 1488 - 1493, 2003.
- [14] T. WANG, B. LU, M. ZHANG, R. HOU e F. ZHANG, “*Nanocrystallization and martensite formation in the surface layer of medium-manganese austenitic wear-resistant steel caused by shot peening*,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 458, pp. 249-252, 2007.
- [15] W. LEE, K. CHO, K. KIM, K. MOON e Y. LEE, “*The effect of the cementite phase on the surface hardening of carbon steels by shot peening*,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 5852-5857, 2010.
- [16] A. AMANOV, I. CHO, Y. PYOUN, C. LEE e I. PARK, “*Micro-dimpled surface by ultrasonic nanocrystal surface modification and its tribological effects*,” *Wear*, Vols. %1 de %2287-287, pp. 136-144, 2012.
- [17] Y. MIYASAKA e A. KASUGAI-SHI, “*Method of preventing abrasion at sliding portion of metal-product*”. Europe Patente EP o 731 181 A1, 11 September 1996.

[18] Y. MIYASAKA e A. NAGOYA-SHI, "**Instantaneous heat treatment method for metal product**". Europe Patente EP 2 463 392 A1, 13 June 2011.

[19] C. HORSCH, V. SCHULZE e D. LOHE, "**Deburring and surface conditioning of micro milled structures by abrasive and non-abrasive micro peening**," em International Conference on Shot Peening, Paris, 2005.

[20] M. UMEMOTO, Y. TOKADA, J. LI e K. TSUCHIYA, "**Nanocrystallization of carbon steels by shot peening and drilling**," Rev. Adv. Mater. Sci., vol. 10, pp. 409-416, 2005.

[21] V. SCHULZE, "**Characteristics of Surface Layers Produced by Shot Peening**," em 8th International Conference on Shot Peening , Munich, 2002.

[22] J. SCHWARZER, V. SCHULZE e O. VOHRINGER, "**Finite Element Simulation of Shot Peening - A Method to Evaluate the Influence of Peening Parameters on Surface Characteristics**," Shot Peening, pp. 507-515, 2003.

[23] MAHLE GmbH, "**Valve train System and Components**", 2013, p. 306 pp.

# 02

## IMPLANTAÇÃO DA INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA TRADICIONAL:

ATRAVÉS DA ESTRUTURAÇÃO DE PROCESSOS E  
MÉTODOS OU ATRAVÉS DA MUDANÇA DE CULTURA





---

## LEILA IPAR GOBUS

*Mestre em Economia, Gestão e Engenharia Industrial  
Politecnica di Milano*

---

## ROBERTA SAWITZKI

*Programa de Pós-Graduação em Administração,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

A primeira autora é mestre em Economia, Gestão e Engenharia Industrial pela Politecnica di Milano. É apaixonada por Inovação e Gestão de Projetos. Foi bolsista Inova Talentos, dentro da empresa Gerdau, onde atuou com capacitação e implantação de uma metodologia de inovação radical. Hoje atua no Núcleo de Inovação, no Instituto Euvaldo Lodi-RS, na implantação de cultura de inovação e prestando serviços de consultoria e capacitações às indústrias do RS na área de gestão da inovação.



---

✉ [leila.ipargobus@gmail.com](mailto:leila.ipargobus@gmail.com)



Porto Alegre – RS

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | inovação; mudança; cultura; método; gestão

---

Mesmo grandes indústrias que já reconheceram a importância da inovação e a colocaram como prioridade estratégica, consideram os resultados de seus esforços insatisfatórios. O objetivo deste artigo é identificar formas eficazes de implantar a inovação em empresas tradicionais, com base no estudo de casos com enfoque na estruturação de processos e métodos e no desenvolvimento de uma cultura de inovação. Identificou-se que a abordagem da mudança de cultura parece ser a mais indicada quando se desejam resultados mais duradouros, pois parte da transformação provém da mudança dos indivíduos. Porém, para que essa mudança seja feita de forma mais eficaz, sugerem-se ferramentas e métodos claros de inovação para apoiá-los.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | innovation; change; culture; method; management

---

*Even large companies that have recognized the importance of innovation and pose it as a strategic priority, consider the results of their efforts in innovation unsatisfactory. We did this article in order to identify effective ways to deploy innovation in traditional companies, from case studies of implementation of innovation focusing on structuring processes and methods of innovation and focusing on developing an innovation culture. As a result, the change culture approach seems to be the most appropriate when you want lasting results, because it is originated from the transformation of the individuals. However, for most effective changes, it is suggested innovation tools and clear methods to support them.*

## INTRODUÇÃO AO PROBLEMA

A inovação tem sido identificada como um dos principais fatores para o desenvolvimento econômico e crescimento sustentável dos países. Na economia brasileira, o movimento em favor da inovação vem-se intensificando nos últimos 15 anos. Se antes a inovação era vista como algo exclusivo a setores de alta tecnologia – como as indústrias de *software*, farmacêutica e automobilística – agora, mais do que algo desejável, a inovação tem sido apontada como um processo necessário para a sustentabilidade e competitividade de empresas de todos os setores.

Do ponto de vista externo, a inovação ajuda a enfrentar os desafios relacionados à globalização da economia, ao aumento da concorrência, à diminuição do ciclo de vida dos produtos e ao aumento na exigência dos consumidores (Avila, 2015).

Diversos movimentos, leis de incentivo, cursos para formação de profissionais e ações para aproximar o mundo acadêmico das empresas têm sido criados para fomentar a inovação e acelerar seus resultados.

No entanto, a posição do Brasil no *ranking* de inovação não tem sido tão boa ao longo dos últimos anos. No GII (*The Global Innovation Index*), o país, que detinha a 50ª colocação em 2009, caiu para a 68ª posição, em 2010, avançou para a 47ª, em 2011 (entre 125 países) e caiu novamente, em 2012,

ocupando a 58ª colocação, entre 141 países<sup>1</sup>.

Atualmente, o Brasil ocupa a 70ª colocação no GII (entre 141 países), posição intermediária que nos aponta desafios em diversas áreas, para que possamos melhorar significativamente<sup>2</sup>.

Na última Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (Pintec) de 2011, realizada pelo IBGE, verificou-se retração na taxa de inovação das empresas brasileiras (obtida pelo quociente entre o número de empresas que declararam ter introduzido pelo menos uma inovação no período considerado e o número total de empresas nos setores pesquisados), que era de 38,1% (2008) e caiu para 35,6%, quebrando uma série histórica de aumentos constantes, desde a primeira Pintec (1998). (IBGE, 2013).

Outro dado importante é que grande parcela das empresas adquiriu máquinas e equipamentos com o propósito de inovar. Contudo, esse tipo de ação não favorece a geração de inovações próprias e, conseqüentemente, uma maior independência tecnológica do Brasil. (IBGE, 2013).

A dificuldade de gerar inovação não afeta somente a pequena e a média indústria, na medida em que mesmo empresas com grandes investimentos em P&D têm dificuldade em inovar. Pesquisa realizada pela consultoria Strategos, em 2006 – em mais de 550 grandes empresas de diferentes indústrias

<sup>1</sup> Prêmio de competitividade para micro e pequenas empresas, 2014.

<sup>2</sup> Cornell university; inseed; “world intellectual property organization”, 2015

– revela que mais de 80% consideram os resultados de seus esforços ainda abaixo da média, embora reconheçam a importância da inovação, a ponto de colocá-la como prioridade estratégica. (Loewe; Dominiquni, 2006). Uma das principais conclusões da pesquisa *Global Innovation 1000: Proven Paths to Innovation Success* (Jaruzelski; Staack; Goehle, 2014) foi a de que não há relação estatisticamente significativa entre desempenho financeiro e gastos com P&D.

A pesquisa encontra respaldo no resultado verificado desde o estudo inaugural, em 2005, denominado “Dinheiro não é Tudo”, no qual se descobriu que os níveis de despesa em P&D não trazem nenhum impacto aparente no crescimento das vendas, no lucro, na capitalização de mercado ou no retorno para os acionistas. Em mais de 10 mil análises estatísticas, relativas à relação entre despesas em P&D e sucesso empresarial, todas levaram à mesma conclusão.

De acordo com o Manual de Oslo (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento, 2005, p. 55), a inovação é definida como:

*[...] implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.*

Em outras palavras, inovação é a capacidade de as organizações se renovarem e se diferenciarem continuamente. Segundo Mat-

tos (2010), podemos classificar a inovação de diversas formas: a) quanto à natureza da inovação (produto, serviço, processo ou modelo de negócio); b) quanto à abrangência (inovação para a empresa, para o mercado ou para o mundo); c) quanto à intensidade (inovação incremental, semirradical ou radical); e d) quanto ao propósito (inovação ocasional, intencional ou sistemática). A inovação pode ser ainda localizada (departamental) ou difundida em toda a empresa (sistêmica). Por fim, pode ser empírica ou sistemática (valendo-se do uso de sistemas, métodos e ferramentas para sua geração e gestão).

A gestão da inovação, por sua vez, compreende o sistema mantido para geração de mais valor, por meio da formalização dos elementos que estruturam a utilização eficiente e eficaz das metodologias e ferramentas utilizadas para geração de vantagens competitivas no curto, médio e longo prazos, promovendo o desenvolvimento presente e futuro da empresa.

Segundo Kaasa e Vadi (2010), “a cultura afeta a inovação porque molda os padrões de lidar com a novidade, iniciativas individuais e ações coletivas e entendimentos e comportamentos em termos de riscos, assim como de oportunidades”. (p. 584).

Dobni (2008) define a cultura de inovação como “um contexto multidimensional, que inclui a intenção de ser inovativo; a infraestrutura, que dá suporte à inovação; o comportamento de nível operacional, necessário a influenciar o mercado; a orientação de valor; e o ambiente para implementar a



inovação” (p. 540). Para o autor, a inovação é manifestada no espaço organizacional via comportamentos ou atitudes direcionadas a ações ou resultados tangíveis. De Bruno-Faria e De Araujo Fonseca (2014) ressaltam que Dobni (2008) possui uma visão abrangente do contexto, pois considera aspectos estruturais e comportamentais, além de fatores internos e externos à empresa.

Zien e Buckler (1997) partem de uma perspectiva antropológica cultural, entendendo que a cultura de inovação inclui histórias de experiências e explorações inovativas, contadas e recontadas por líderes de todos os níveis hierárquicos de organizações com alto nível de sucesso e de maturidade.

Na mesma linha, Apekey et al. (2011) consideram a cultura de inovação dentro de práticas. Para esses autores, a cultura abrange o compartilhamento de elementos culturais (tais como valores, ideias, conceitos e regras de comportamento) por grupos sociais, o que possibilita seu funcionamento e sua manutenção ao longo do tempo.

Serra, Fiates e Alpersted (2007) enfatizam a relevância de se adotar uma cultura inovadora para alcançar ambiente propício à inovação. Segundo os autores, um ambiente favorável, pessoas criativas e abertas ao erro, disponibilidade de recursos para realização de pesquisas e proximidade de interação com o mercado e seus atores possibilitam a percepção de oportunidades latentes e constituem condição *sine qua non* para uma postura inovadora.

Ahmed (1998) destaca a necessidade de

se refletir sobre a relevância da cultura organizacional para a inovação. Segundo Schein (1984), a cultura organizacional é o modelo dos pressupostos básicos que um dado grupo inventou, descobriu ou desenvolveu no processo de aprendizagem, para lidar com os problemas de adaptação externa e integração interna. Uma vez que os pressupostos tenham funcionado bem o suficiente para serem considerados válidos, eles serão ensinados aos demais membros da organização, como a maneira certa de se perceber, pensar e sentir em relação àqueles problemas.

Autores como Twati e Gammack (2006) buscam identificar os principais elementos impeditivos para organizações adotarem sistemas de informação. Outros, como Martins e Martins (2002) analisam os aspectos da cultura organizacional, que influenciam a criatividade e a inovação. Duygulu, Kök e Özdemir (2008) falam sobre o quanto a capacidade de inovação é impactada pela cultura organizacional e outros fatores, tais como ambiente operacional e estrutura organizacional. Jaskyte e Dressler (2004) entendem como atributos organizacionais a inovação, o conteúdo da cultura e o nível em que essa cultura é compartilhada pelos membros da organização. Para esses autores, a cultura organizacional é “um conjunto de valores compartilhados, que auxiliam os membros da organização a compreender o funcionamento organizacional e assim guiar o pensamento e comportamento” (p. 274).

No contexto brasileiro, Machado e Vasconcellos (2007) entendem que a inovação



depende de uma cultura organizacional propiciadora de sua emergência. Esses autores se pautam na compreensão de Geertz (1989) sobre cultura organizacional, que compreende a inovação como o compartilhamento de elementos culturais (tais como símbolos e significados, valores, crenças, pressupostos, rituais, cerimônias, histórias, mitos, tabus, heróis, normas, comunicação e artefatos) pelos membros da organização.

Godoy e Peçanha (2009), por sua vez, pautaram sua pesquisa na relação entre cultura organizacional e processos de inovação organizacional, tomando como base uma perspectiva psicossociológica.

De Bruno-Faria e De Araujo Fonseca (2014) buscaram caracterizar o significado da cultura de inovação e descrever os diversos modelos teóricos que objetivaram entender como ela chega às organizações. Os “achados” desses autores sobre a relação entre cultura organizacional e inovação apontam para “um ambiente organizacional em que haja espaços para a criatividade das pessoas, com um sistema de comunicação que permita o compartilhamento de ideias, informações, experiências e valores, que tenham a inovação como foco principal” (p. 380).

Como se vê, embora não exista uma fórmula única a seguir, podemos observar a tendência de alguns autores e empresas de consultoria em desenvolver seus estudos e ações com enfoque na estruturação de processos e métodos ou na mudança de cultura.

Diante do exposto, esta pesquisa tentará discutir as diferenças em se adotar uma

dessas concepções na condução de implementação de gestão de inovação. O tema tem-se tornado cada vez mais relevante, porque até mesmo empresas que tomaram consciência da importância da inovação há algum tempo – e investiram recursos financeiros e humanos para implantá-la – estão enfrentando dificuldades na geração de resultados.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo é identificar formas eficazes de implantar um sistema de inovação em empresas tradicionais de grande porte, apontando as diferenças entre abordagens que têm como base o desenvolvimento de uma cultura de inovação e abordagens com enfoque na estruturação de processos e métodos. Adotar-se-á a hipótese de que a abordagem mista talvez seja o melhor caminho a ser adotado para a indústria.

## MÉTODO

Para se atingir o objetivo, optou-se por utilizar estudo de múltiplos casos, com caráter exploratório e de natureza qualitativa. A escolha do método foi pautada no interesse em investigar em profundidade o problema em questão.

Seguindo as orientações de Yin (1994, p.15), que entendeu que “o objetivo precípuo de uma pesquisa exploratória é desenvolver hipóteses e proposições, que poderão redundar em pesquisas complementares”,



entendeu-se que utilizar o estudo de caso exploratório seria a opção mais apropriada para a identificação de elementos que venham a possibilitar a geração de pesquisas futuras sobre o assunto.

A coleta de dados foi pautada em participação observante e pesquisa documental. Os relatos da participação observante (Vilella, 2002) foram decorrentes de experiência pessoal vivenciada em dois processos distintos de implementação da inovação, em que foram analisados os aspectos comportamentais, culturais e sociais.

O envolvimento diário permitiu entender em profundidade o ambiente em que o grupo estava inserido. Por se tratar de projetos que tinham também como objetivo a aprendizagem do método para replicação, realizaram-se, a cada etapa, análises críticas, visando identificar as melhores práticas e alternativas para contornar as dificuldades enfrentadas e evitá-las em projetos futuros. Foram observados ainda aspectos relacionados à abordagem e estruturas adotadas e aos comportamentos dos indivíduos de diferentes posições hierárquicas frente à mudança.

## RESULTADOS

Serão apresentados a seguir os projetos vivenciados em duas empresas do Rio Grande do Sul, a partir de abril de 2014. O primeiro deles, desenvolvido em indústria multinacional brasileira de grande porte, teve duração de um ano e tinha como objetivo a capacitação de agentes de mudança em um método

de inovação radical. O segundo diz respeito a projeto de cultura de inovação, também realizado numa empresa de grande porte, de 2015 a 2016. Enquanto o primeiro buscava a inovação através da estruturação de processos, o segundo visava fortalecer aspectos da cultura de inovação e estimular novos comportamentos como criatividade, flexibilidade, colaboração e experimentação. Ambos os projetos contaram com o apoio de consultorias.

### PRIMEIRO PROJETO

#### ENFOQUE NA ESTRUTURAÇÃO DE PROCESSOS E MÉTODOS

A consultoria que apoiou a implementação de um sistema de gestão de inovação na empresa utilizou a metodologia desenvolvida por Skarzynski e Gibson (2008), sugerindo uma Arquitetura de Inovação (figura 1), que contempla metodologias para geração de novas visões, ideias ou soluções, aliada a um conjunto de blocos que suportem o funcionamento das práticas.

A metodologia da Strategos (Amaral, C.; Duarte, M.; Pinto, M. C., 2015) sugere que a gestão da inovação seja feita a partir da estruturação da inovação por meio de metodologias e ferramentas, propiciando o surgimento de novos questionamentos.

Nessa abordagem, a inovação é tratada como competência organizacional capaz de gerar continuamente soluções de nível estratégico, tático e operacional, por meio de metodologias direcionadas e do estoque do conhecimento e inteligência da organização

## PRÁTICAS DE INOVAÇÃO



**INOVAÇÃO  
EXPLORATÓRIA**



**INOVAÇÃO  
DISRUPTIVA**



**INOVAÇÃO  
INCREMENTAL**

## BLOCOS DE SUPORTE



**ESTRUTURAS  
ORGANIZACIONAIS**



**INOVAÇÃO  
DISRUPTIVA**



**IMAGEM E  
COMUNICAÇÃO**



**REDE DE  
INOVAÇÃO**



**ESTRATÉGIAS  
E OBJETIVOS**



**PROCESSOS E  
METODOLOGIAS**



**PROCESSOS E  
METODOLOGIAS**



**MÉTRICAS E  
AVALIAÇÃO**

**FIGURA 1 - Arquitetura de Inovação**  
Fonte: Adaptado de Strategos, 2014.

e do ecossistema do negócio. A metodologia de inovação exploratória conduz à reflexão sobre cenários futuros que poderão impactar o negócio, o que resulta na definição clara da visão da empresa, da estratégia de inovação e de seu desdobramento em projetos. A metodologia de inovação disruptiva, focada na construção de soluções de negócio, que impactam as atuais regras do setor

ou segmento em que a empresa atua, visa gerar novas propostas de valor em produtos, serviços ou modelos de negócios.

A metodologia de inovação incremental permite, por sua vez, capturar ideias para melhorar as operações do dia a dia. Os blocos de suporte são a infraestrutura que permite a entrega dos produtos com qualidade. Esses blocos privilegiam a definição de metas,



objetivos e indicadores específicos e a criação de uma governança mínima para garantir o funcionamento das metodologias, facilitadores ou pontos focais capacitados. Redes de inovação constituem uma alternativa criativa, quando utilizadas parcerias externas. O projeto foi estruturado em quatro etapas:

- a. absorção do método através de um projeto real;
- b. adaptação metodológica às necessidades da empresa;
- c. capacitação de colaboradores;
- d. apoio a esses colaboradores, na execução de novos projetos.

Colaboradores de diversas áreas da empresa foram então chamados a participar de projetos até então restritos às áreas comercial, de marketing e de desenvolvimento de produtos. Ao contrário dos colaboradores de *startups* ou empresas que já nasceram criativas, muitos dos colaboradores da indústria tradicional estão há muitos anos na empresa e, desde então, vêm sendo cobrados por qualidade e produtividade, sem terem uma ideia clara de como responder aos novos desafios.

Diante da mudança, alguns veem a possibilidade de implantar suas ideias, outros de se envolver em projetos mais interessantes, existindo ainda aqueles que veem a possibilidade de ganho de visibilidade ou *status*. Em momentos de crise e demissões, há ainda os que veem a inovação como a salvação, à qual se agarram para mostrar o quanto ainda podem ser úteis à empresa.

Mesmo sabendo dos aspectos positivos

trazidos por um projeto de inovação, a maioria dos colaboradores não se acha criativa o suficiente para colaborar com o projeto. O estereótipo do criativo e a crença do próprio participante de que terá, forçosamente, de criar ideias brilhantes acabam gerando ansiedade. Da mesma maneira que existem aqueles que não se sentem confortáveis na geração de ideias, existem também aqueles que, mesmo nas fases iniciais do projeto (quando se explora o contexto do desafio), querem logo achar a solução do problema. Outro fato gerador de ansiedade é a dificuldade em lidar com a falta de clareza sobre as etapas e atividades seguintes do projeto.

Nos *workshops* realizados para atender a desafios específicos, pessoas de todas as áreas da empresa, clientes e fornecedores foram chamados a participar do processo. Foi expressivo o número de pessoas que se declararam felizes por conhecer pessoalmente pessoas com quem se relacionavam há bastante tempo apenas por e-mail ou telefone. Além disso, o contato direto favoreceu a empatia entre clientes e fornecedores internos e externos. Outra questão destacada foi a possibilidade de utilizar algumas das ferramentas isoladamente em suas áreas.

Algumas adaptações no método foram realizadas. Para diminuir a ansiedade em projetos futuros, foram detalhadas todas as etapas e atividades subsequentes. Além disso, foi desenvolvido material de suporte e de comunicação, para diminuir o tempo gasto com atividades de menor valor ou comuns a vários projetos.



Foram realizados dois tipos de capacitações: o primeiro, através da participação em projetos reais, que duraram de um a três meses; o segundo, através de workshops de dois dias, onde os participantes simularam todas as etapas do processo.

Porém, apesar de o grupo que vivenciou o projeto se sentir mais capacitado do que o grupo que apenas participou do workshop, ambos se sentiram despreparados para replicar o método sem apoio. O primeiro por entender o método como complexo; o segundo pela dificuldade de visualizar a prática do método e a assimilação das novas ferramentas em pouco tempo.

Outra dificuldade diz respeito à avaliação dos resultados, pois verificou-se a dificuldade de se medir objetivamente a qualidade das propostas de valor entregues. Apesar de existirem parâmetros quantitativos, as propostas geradas estavam em uma fase ainda bastante conceitual, dependendo da percepção e experiência de cada *Stakeholder* na sua avaliação.

Resultados efetivos e/ou retorno financeiro do projeto poderiam ser identificados somente a médio e longo prazos, sendo influenciados diretamente pelo trabalho posterior de desenvolvimento e implementação das propostas de valor.

Como não fazia parte da rotina da empresa, o projeto foi desenhado com antecedência, para que pudessem ser aprovados os recursos necessários à sua execução. Mesmo assim, houve a necessidade de algumas mudanças, para atender ao novo contexto da empresa.

Antes mesmo de se preparar a capacitação e realizar as adaptações necessárias, foi necessário começar um novo projeto, replicando o método. Dessa forma, foi necessário flexibilidade e agilidade por parte da equipe, para se adaptar às novas necessidades da empresa. Além disso, foram previstos recursos como um todo, mas não foram considerados recursos para o desenvolvimento e implantação das propostas geradas. Apesar de não ser o foco principal, deve-se dar atenção ao encaminhamento das soluções propostas, para manter os colaboradores que participaram do projeto informados e evitar frustrações.

## SEGUNDO PROJETO

### ENFOQUE NA MUDANÇA DE CULTURA

A consultoria que apoiou a implantação do segundo projeto identificou a mudança na cultura organizacional como fator-chave para o desenvolvimento de uma empresa mais inovadora. Para a consultoria, a cultura organizacional é composta por práticas ou rituais que incluem processos organizacionais, procedimentos e políticas internas e externas.

Também é composta por símbolos – como a arquitetura e a ambiência da organização – e por mitos, que traduzem o modo de pensar e agir da organização, influenciando todos os indivíduos que se relacionam, direta ou indiretamente, a ela. Uma cultura também pode ser explicada quando observado o indivíduo, que é influenciado e influencia através de seus relacionamentos, a partir de seus próprios mitos, rituais e símbolos.

A consultoria propôs o desenvolvimento da Cultura de Inovação a partir dos seguintes pilares: Modo de Pensar e Agir, Processos e Atores, Ambiência e Resultados. A base do movimento de mudança para a inovação está na capacidade de influenciar o comportamento humano.

A metodologia utilizada apoiou-se no Modelo ADKAR, desenvolvido por Jeff Hiatt, para quem o enfoque nas atividades mais críticas deve centrar-se nas pessoas. Cada indivíduo terá de adotar novos conhecimentos e comportamentos, passando individualmente pelas fases da mudança. O método é caracterizado por cinco etapas sucessivas, que devem ser percorridas pelos envolvidos em processos de mudança:

- **Apreciação** → Tomada de consciência quanto aos problemas que ditam a necessidade da mudança. Aceitação de que se trata de problemas estruturais e sistêmicos – e não de acidentes.
- **Vontade** → Desejo de fazer parte da mudança e ajudar a dirigi-la e a concretizá-la, em vez de mostrar resistência.
- **Conhecimento** → Noção dos objetivos a atingir, dos “gaps” existentes entre o estado atual e o estado futuro, e das iniciativas necessárias à transição.
- **Habilidade** → Aquisição das competências necessárias para concretizar a transição.
- **Reforço** → Avaliação do grau de

mudança alcançado; reconhecimento e celebração do êxito; lançamento de ações corretivas.

O modelo sugere que gerir as pessoas num contexto de mudança significa estar atento a suas reações no plano emocional e a seus efeitos sobre as motivações, para enquadrar e reorientar as atitudes e comportamentos individuais e de grupo.

John Fisher, psicólogo e especialista de liderança e de processos de mudança nas organizações, identificou os estágios de transição da mudança no indivíduo: ansiedade, felicidade, medo, ameaça, culpa, depressão, aceitação gradual, seguir em frente, desilusão, hostilidade, negação, raiva e complacência. (Fischer, 2012).

Para capacitar as equipes, a consultoria utilizou a Teoria U, de Otto Scharmer. Essa metodologia se propõe a ajudar a implementar mudanças por meio de um passo a passo, com sete etapas bem definidas: suspender; redirecionar; deixar ir; estar presente; deixar vir; decretar a lei e incorporar.

Todas essas etapas fazem parte de uma jornada com começo, meio e fim, que completa o formato de um “U”. Na primeira ponta da letra, fica o início do processo, em que a equipe precisa começar a entender e questionar o que já pensa e faz.

Depois vem o aprofundamento, a jornada em direção ao fundo do “U”. Tudo que não é realmente importante deve ser deixado de lado. Nessa etapa, o método pede que a equipe se conecte consigo mesma e com seu trabalho. Cada um deve entender exatamente



quem é e o que faz. Por último, vem a subida, que inclui cristalizar a nova visão e as novas intenções e elaborar protótipos com as novas ideias a serem testadas, de forma parecida com o que acontece no *Design Thinking*. (Blanco, 2015).

O projeto tinha como objetivo promover o início do movimento de cultura de inovação dentro da empresa. Era composto pelas etapas de sensibilização da alta liderança, diagnóstico da cultura atual, desenho de um modelo de desenvolvimento de cultura de inovação e capacitação de multiplicadores de inovação, em diferentes níveis de conhecimento. Analisando os mitos, rituais e símbolos atuais, o diagnóstico apontou para uma empresa percebida como lenta, conservadora, formal e comedida. A tradição foi evidenciada como a característica mais percebida e como motivo de orgulho para o grupo.

Além disso, a empresa era caracterizada por uma forte hierarquia e por uma população bastante escolarizada, com interesses em diferentes assuntos e com perfil para lidar com contextos complexos e sistêmicos, mas que sentia que seu potencial não estava sendo explorado.

Diversas gerações convivendo juntas, mas, no geral, pouco ou nenhum espaço para a experimentação. Apesar do alto interesse em inovação, identificou-se o baixo conhecimento sobre métodos e projetos inovadores. Apesar de haver área específica para trabalhar a comunicação formal, a comunicação informal era a mais forte e presente, acontecendo entre pares.

O diagnóstico forneceu subsídios para a construção do Modelo de Desenvolvimento da Cultura de Inovação específico da empresa. A consultoria escolheu a abordagem POST de Li e Bernoff (2008) para planejar a estratégia do Projeto Cultura de Inovação.

No método POST, deve-se compreender inicialmente qual o perfil comportamental das pessoas que se pretende engajar. O método é utilizado como guia para ajudar a determinar o conteúdo e tecnologia corretos para cada público, segundo o objetivo que se deseja alcançar.

Foi então definido que o movimento de inovação começaria principalmente a partir da comunicação, capacitação e intervenção no modo de pensar e agir da liderança, gestores e times multidisciplinares. Nesse sentido, foram realizados diversos encontros de sensibilização da alta liderança e encontros para definição dos desafios de alguns parâmetros estratégicos para orientar as soluções.

A primeira turma (com 40 horas de duração) a ser capacitada foi formada por profissionais indicados pela alta liderança. Foram formados grupos para trabalhar os desafios. Para se trabalhar ainda mais os aspectos da cultura no indivíduo, as equipes passaram por mentorias, após a capacitação, visando promover o desenvolvimento e permitir a implantação de suas soluções.

Nos grupos onde o líder era o superior na hierarquia, o grupo apresentava pouco propósito, julgamento, desmotivação, aceitação e apatia. Nos grupos onde o líder emergiu, percebeu-se maior energia, comprometimento,



trabalho em equipe, propósito compartilhado, engajamento e motivação, multiplicidade de visões e exploração do potencial. Em alguns grupos, a hierarquia era tão forte, que os indivíduos acabaram perdendo suas características, adotando o comportamento do grupo.

A capacitação funcionou como um laboratório social, onde ficou evidente a dificuldade dos gestores de aceitarem novas ideias. Mostraram-se pouco abertos a dar a suas equipes somente os desafios - e não a solução e não apresentar a solução. A dificuldade em conceder liberdade, faz com que a equipe evite sair de sua zona de conforto, pois tem medo de assumir riscos e ser punida em caso de erro, o que gera um ciclo vicioso. O gestor não dá liberdade e o subordinado não a pede.

Percebeu-se que gestores que se valeram de sua posição hierárquica para liderar o grupo estão na empresa há mais tempo e têm uma cultura muito internalizada. Demonstraram antipatia frente à inovação, por acreditarem que veio para destruir tudo o que já fora feito. Possuem maior dificuldade para se desapegar do que é considerado como a causa do sucesso da empresa.

Dessa forma, optou-se pela retirada dos gestores, para que não bloqueassem o processo criativo dos grupos. Além disso, foi preparado um encontro de sensibilização especial, para conscientizá-los da necessidade de um novo perfil de líder. Outro fato relevante foi a impossibilidade de muitos gestores em participar da capacitação. Foi possível observar que o foco do gestor é no curto prazo. Existe uma grande dificuldade em dedicar

tempo para projetos para o futuro, quando há questões mais urgentes para resolver. Gestores estão fortemente ligados à hierarquia, sistemas de controle, prazos e regras.

Dessa forma, a liderança média merece bastante atenção, principalmente quando as linhas de frente recebem capacitação, são convidadas a pensar e agir diferente, são desafiadas em projetos estimulantes e isso não acontece da mesma forma com seus respectivos gestores. Acima dos gestores, está a alta liderança, convencida de que o caminho para o sucesso é a inovação e abaixo existem pessoas capacitadas, motivadas e empoderadas para a inovação.

Durante a etapa de mentoria, onde os grupos se autogeriram para desenvolver suas soluções, trabalhando em paralelo com suas atividades de rotina, observou-se mais uma vez, o comportamento resistente dos gestores. Acostumados a ter que tomar decisões, os gestores sentem muita dificuldade em apoiar a mudança, por acreditar que isso implica abrir mão da estabilidade já conquistada.

James C. Collins e Jerry I. Porras, em seu livro *Built to last* (Feitas para durar), falam sobre como os líderes caem no que eles chamam de “A tirania do OU” – a crença de que não se pode viver com duas ideias aparentemente contraditórias ao mesmo tempo.

Segundo essa crença, pode-se ter mudanças OU estabilidade, ser conservador OU ousado, ter baixos custos OU alta qualidade, mas nunca é possível ter ambas as coisas ao mesmo tempo.

Esses autores descobriram que empresas

bem-sucedidas e visionárias operam com o que chamam de “A genialidade do E”, a tenaz insistência de que elas podem e devem lidar com dois opostos ao mesmo tempo. Eles dizem que “a Tirania do OU impele as pessoas a acreditar que as coisas devem ser ou A ou B, mas nunca AMBOS”. Em vez de se sentirem oprimidas pela Tirania do OU, empresas altamente visionárias se libertam por meio da Genialidade do E e adquirem a capacidade de abranger os dois extremos de um grande número de dimensões ao mesmo tempo. Em vez de escolher entre A ou B, elas descobrem uma forma de ter A e B. (Collins; Porras, 2004).

As equipes criaram protótipos de soluções, apresentadas ao restante da empresa. Foi possível observar que, apesar das inúmeras comunicações realizadas, era geral a falta de conhecimento sobre o projeto.

Porém, aqueles que visitaram a feira, conseguiram perceber que algumas mudanças estavam acontecendo. Para os multiplicadores que desenvolveram as soluções, foi uma oportunidade de apresentar o fruto de meses de trabalho e serem reconhecidos tanto pelos colegas como pela alta liderança.

Na segunda turma de capacitação, foi realizado processo seletivo, por meio do qual os candidatos deveriam responder a um questionário para definição do perfil de decisão e realizar um vídeo, em conjunto com colega de outra área. Afortunadamente, o fato de os candidatos terem de produzir um vídeo foi encarado como desafio a ser vencido. Além disso, para muitos funcionários,

essa foi a primeira oportunidade de participar de alguma atividade na sede da empresa.

Obtivemos mais pretendentes do que vagas para a capacitação, uma vez que os participantes estavam mais motivados para a inovação e dispostos a mudar. Afinal, eles haviam escolhido estar ali. Esse processo seletivo foi um marco no movimento, dando visibilidade e credibilidade ao projeto.

A capacitação foi realizada pelos multiplicadores capacitados na primeira turma, com o objetivo de empoderá-los. Apesar da resistência e insegurança inicial, os multiplicadores fizeram um ótimo trabalho e conseguiram engajar mais de 130 pessoas.

## DISCUSSÃO

A inovação na indústria tradicional tornou-se indispensável, uma vez que o ambiente está cada vez mais dinâmico e competitivo. Porém, percebe-se que a internalização da inovação não é simples e barata – e não se faz sem causar traumas, pois afeta a cultura da empresa. Mais cedo ou mais tarde, a empresa tradicional que deseje inovar deverá passar, forçosamente por uma mudança cultural.

Essa nova maneira de pensar e de fazer as coisas está intimamente ligada a outros elementos organizacionais como estratégia, estrutura, habilidades e sistema de recompensas, entre outros. Esses elementos sofrerão alterações. Mesmo que a inovação seja introduzida a partir desses elementos organizacionais, não se pode deixar de intervir no modo de pensar e agir dos indivíduos, que formam

a cultura da empresa. Novas habilidades precisam ser trabalhadas. Mais do que responder, é preciso perguntar – e saber ouvir. É preciso esvaziar a mente para poder enxergar o novo. O colaborador disposto a ouvir, a inspirar, a experimentar e a construir algo novo será mais rico para o processo de inovação.

Cada indivíduo traz suas próprias ferramentas, habilidades e pontos de vista que, combinados de forma inteligente, podem gerar resultados extraordinários. Tom Kelley<sup>3</sup> afirma que cada colaborador pode exercer papéis diferentes, de acordo com o tipo, fase ou equipe de projeto. Esses papéis estão relacionados à promoção do conhecimento, à organização do processo ou à construção da solução. (KELLEY, 2007).

Além de pessoas capazes de gerar ideias inovadoras, é fundamental contar com pessoas capazes de viabilizá-las e implantá-las, de forma que gerem resultado. Portanto, é importante que os colaboradores saibam que existem diferentes formas de contribuir com o processo de inovação e que é possível identificar os papéis que mais combinam com seu perfil. Talvez nem todos os colaboradores da empresa se adaptem a esse novo modo de trabalhar, haja vista que um projeto de inovação exige pessoas fortes e, ao mesmo tempo, flexíveis. Exige pessoas dispostas a lutar pelo que acreditam e dispostas a mudar seu projeto pessoal para torná-lo viável, sob diferentes aspectos. Exige pessoas que saiam de sua zona de conforto e busquem respostas em lugares

ainda não explorados. Exige pessoas que se desapeguem de suas ideias e trabalhem, com a mesma energia, nas ideias escolhidas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste estudo foi analisar as principais características e impactos das duas abordagens utilizadas, quando se decide implantar a inovação.

Apesar das diferenças, ambas as empresas obtiveram bons resultados com os projetos desenvolvidos. A primeira, utilizando métodos estruturados para geração de ideias radicais, conseguiu gerar diversas propostas de valor, como resposta aos desafios da empresa, ao mesmo tempo em que capacitou vários colaboradores. A segunda, por sua vez, conseguiu iniciar um movimento pequeno, mas forte. As pessoas capacitadas se engajaram no processo e entenderam seu papel nesse processo de mudança, o que é fundamental para um movimento duradouro.

A partir deste estudo, podemos perceber que a abordagem da mudança de cultura de inovação, quando se desejam resultados mais duradouros, deve partir da transformação do indivíduo. Porém, deve-se dar atenção especial a segmentos que apresentam maior resistência à mudança e que parecem não ter encontrado seu papel nesse novo ambiente de trabalho. Ainda que a mudança seja feita de forma mais suave, sugere-se o uso de ferramentas e métodos claros para apoiá-los.

<sup>3</sup> As 10 faces da inovação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C.; DUARTE, M.; PINTO, M. C. **Respondendo à crise com novas perguntas.** Business Harvard Review, dez. 2015.

APEKEY, Tanefa A. et al. **Room for improvement? Leadership, innovation culture and uptake of quality improvement methods in general practice.** Journal of evaluation in clinical practice, v. 17, n. 2, p. 311-318, 2011.

AVILA, G. **A importância da cultura de inovação para as organizações.** [S. l.]: Matera Systems, 2015. Disponível em: <<http://www.matera.com.br/2015/04/24/a-importancia-da-cultura-de-inovacao-para-as-organizacoes/>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

BERNOFF, J.; LI, C. **Harnessing the Power of the Oh-So-Social Web.** MIT Sloan Management Review, 2008.

BLANCO, G. **Verbete Draft: o que é Teoria U. Draft,** 13 mai 2015. <<http://projetodraft.com/verbete-draft-o-que-e-teoria-u/#sthash.Oc1DFQjY.dpuf>> Acessado em: 07 jun. 2016.

BRUNO-FARIA, Maria de Fátima; FONSECA, Marcus Vinicius de Araujo. **Cultura de Inovação: Conceitos e Modelos Teóricos.** Rev. adm. contemp., Curitiba, v. 18, n. 4, p. 372-396, Aug. 2014. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-65552014000400372&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552014000400372&lng=en&nrm=iso)>. access on 16 Jul. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1982-7849rac20141025>.

CAVALCANTE, M.B. **Gestão da Inovação: o valor da inovação na competitividade.** In: FAYET, E. A. (Org.). Gerenciar a Inovação: um desafio para as empresas. Curitiba: Instituto Euvaldo Lodi, 2010. p. 53-54.

CARVALHO, H. G.; REIS, D. R.; CAVALCANTE, M. B. **Gestão da Inovação.** Curitiba: Ayamará, 2011. Disponível em: [http://www.feng.pucrs.br/professores/giugliani/ENGENHARIA\\_DE\\_PRODUCAO\\_\\_\\_Gestao\\_do\\_Conhecimento/Trabalho\\_2014-01\\_Livro\\_Gestao\\_da\\_Inovacao\\_\\_\\_UFTPR-2013.pdf](http://www.feng.pucrs.br/professores/giugliani/ENGENHARIA_DE_PRODUCAO___Gestao_do_Conhecimento/Trabalho_2014-01_Livro_Gestao_da_Inovacao___UFTPR-2013.pdf). Acesso em: 03 jun. 2016.

COLLINS, J.; PORRAS, J. I. **Built to Last: Successful Habits of Visionary Companies.** Harper Business Essentials, 2004.

CORNELL UNIVERSITY; INSEAD; WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. DUTTA, Soumitra; LANVIN, Bruno; WUNSCH-VINCENT, Sacha (Ed.). **The Global Innovation Index 2015: Effective Innovation Policies for Development.** Genebra: WIPO, 2015). Disponível em: <<http://www.globalinnovationindex.org/gii/>> Acessado em: 03 jun. 2016.

DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. **Nota técnica: análise dos dados da PINTEC 2011.** Brasília: IPEA, dez. 2013. Disponível em <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/nota\\_tecnica/131206\\_notatecnica\\_diset15.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/nota_tecnica/131206_notatecnica_diset15.pdf)>. Acessado em: 03 jun. 2016.

DOBNI, C. Brooke. **Measuring innovation culture in organizations: The development of a generalized innovation culture construct using exploratory factor analysis.** European Journal of Innovation Management, v. 11, n. 4, p. 539-559, 2008.

FISCHER, J. **Process of Personal Transition.** 2012. Disponível em: <http://www.businessballs.com/personalchangeprocess.htm> Acessado em: 07 jun. 2016 <<http://projetodraft.com/verbete-draft-o-que-e-teoria-u/>> Acessado em: 07 jun. 2016

HIATT, Jeffrey M. ADKAR: a model for change in business, goverment and our community. Prosci Learning Center Publications, Loveland, Colorado, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica 2011*. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <<http://www.pintec.ibge.gov.br/downloads/pintec2011%20publicacao%20completa.pdf>>. Acessado em: 03 jun. 2016.

JARUZELSKI, B.; STAACK, V.; GOEHLE, B. *Proven paths to innovation success*. Strategy and Business, 77, 2-16, 2014.

KAASA, Anneli; VADI, Maaja. *How does culture contribute to innovation? Evidence from European countries*. Economics of innovation and new technology, v. 19, n. 7, p. 583-604, 2010.

KELLEY, T. As 10 *Faces da Inovação*. Elsevier Editora, 2007.

LOEWE, P.; DOMINQUINI, J. *Overcoming the barriers to effective innovation*. Strategy and Leadership, 34(1), 24 – 31. Chicago: 2006.

MATTOS, J. F.; STOFFEL, H. R.; TEIXEIRA, R. de A. *Mobilização Empresarial pela Inovação*. Cartilha: Gestão da Inovação. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.ipdeletron.org.br/wwwroot/pdf-publicacoes/8/cartilha\\_gestao\\_inovacao\\_cni.pdf](http://www.ipdeletron.org.br/wwwroot/pdf-publicacoes/8/cartilha_gestao_inovacao_cni.pdf)>. Acessado em: 03 jun. 2016.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO. *Manual de Oslo*: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3 ed. Brasília: Finep, 2005.

PRÊMIO DE COMPETITIVIDADE PARA MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. *Destaque de boas práticas de inovação ciclo 2014*: guia de práticas de inovação. Brasília: Movimento Brasil Competitivo, 2014. Disponível em: <[http://www.mbc.org.br/mpe/arquivos/download/WEB\\_BoasPraticas\\_Inovacao.pdf](http://www.mbc.org.br/mpe/arquivos/download/WEB_BoasPraticas_Inovacao.pdf)> Acessado em: 03 jun. 2016.

SERRA, Fernando Ribeiro; FIATES, Gabriela Gonçalves; ALPERSTEDT, Graziela Dias. *Inovação na*

*Pequena Empresa-Um Estudo de Caso na Tropical Brasil*. Journal of Technology Management & Innovation, v. 2, n. 2, p. 170-183, 2007.

TIGRE, P. B. *Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

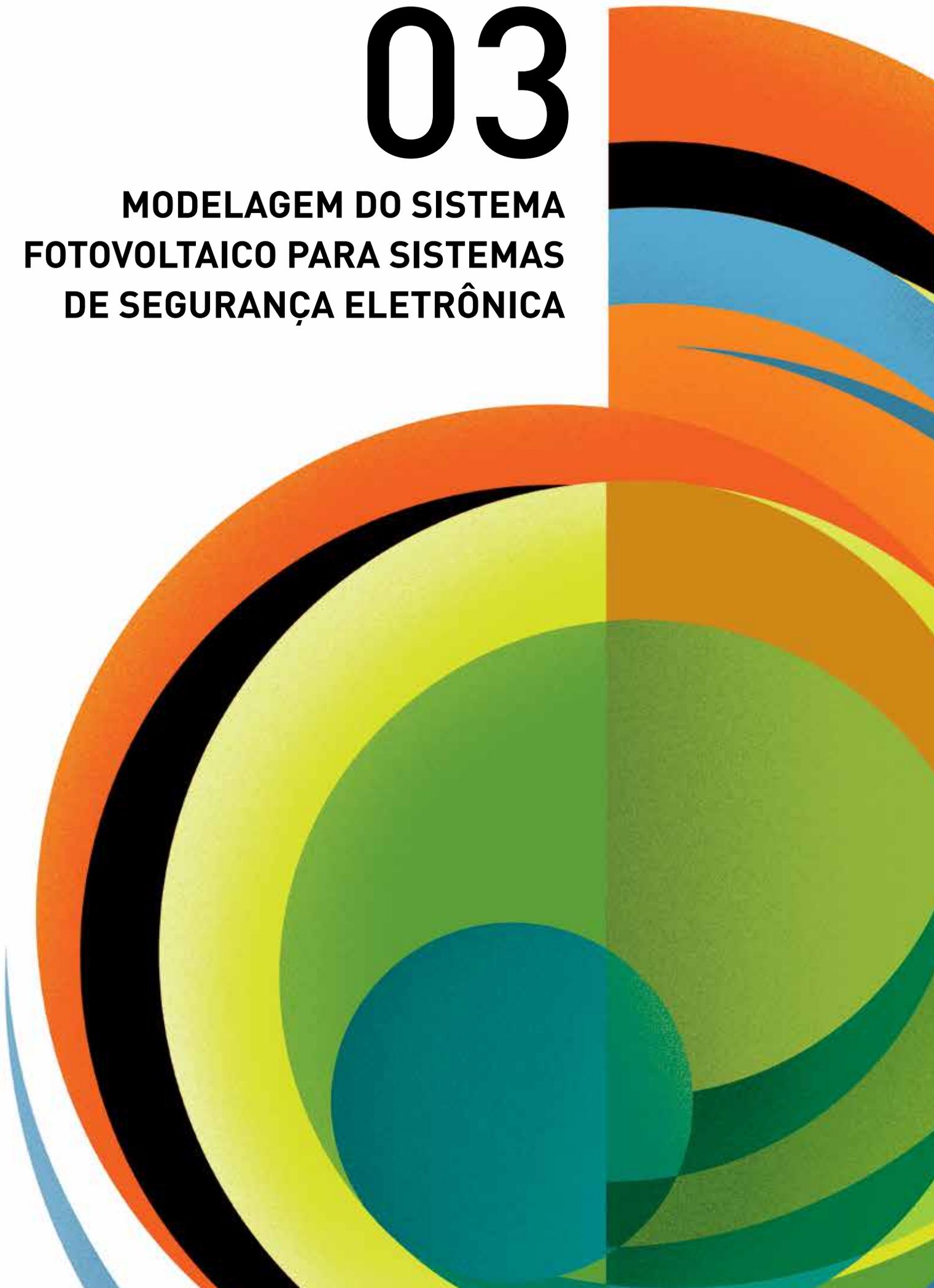
VILLELA, Jorge Mattar. *Corpo e alma: notas etnográficas de um aprendiz de boxe*. Mana, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 220-222, Oct. 2002. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-93132002000200015&lng=en&nr-m=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-93132002000200015&lng=en&nr-m=iso)>. access on 16 Jul. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-93132002000200015>.

YIN, Robert K.. *Case Study Research: Design And Methods*. California: Sage, 1994.

ZIEN, Karen Anne; BUCKLER, Sheldon A. *From experience dreams to market: crafting a culture of innovation*. Journal of product innovation management, v. 14, n. 4, p. 274-287, 1997.

# 03

## MODELAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA SISTEMAS DE SEGURANÇA ELETRÔNICA



---

## DAYANE STEFANY FERREIRA

—  
**Engenheira eletricista**

Faculdade Pitágoras  
Belo Horizonte, MG

—  
**Pós-graduanda em Engenharia Clínica**

Hospital Israelita Albert Einstein  
São Paulo, SP

A autora é Engenheira Eletricista pela faculdade Pitágoras de Belo Horizonte e atualmente cursa a especialização em Engenharia Clínica, pelo Hospital Israelita Albert Einstein. Foi bolsista do Inova Talentos, desenvolvendo um projeto de Inovação para empresa Premier Segurança Eletrônica. Posteriormente à bolsa de pesquisa, Dayane foi contratada para exercer o cargo de Projetista Eletricista, em Belo Horizonte, onde realizou projetos de *business intelligence* para inovação nos processos internos da empresa.



---

✉ [dayane.stef@gmail.com](mailto:dayane.stef@gmail.com)



Rua I, nº 61 , Bairro  
Minas Caixa , CEP: 31615-570,  
Belo Horizonte – MG



(31) 99843-2615

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | painel solar, segurança eletrônica, inovação

---

Muitos sistemas de monitoramento de locais remotos necessitam de instalações que demandam grande infraestrutura e, por isso, são onerosos. O presente artigo mostra o desenvolvimento, relata as dificuldades e apresenta os resultados decorrentes da construção de sistema autônomo de monitoramento, composto por um trailer, que garante a mobilidade do produto, painéis solares para geração de energia, câmeras de alta tecnologia para monitoramento, antenas e modem 3G /4G, para transmissão de dados sem cabos. A empresa Premier Segurança eletrônica realizou parcerias com o IEL, CNPq e FIEMG para o desenvolvimento desse produto, contando com os colaboradores: Fernando Pena, Robson Teixeira, Guilherme Batista e Dayane Ferreira. Este trabalho foi elaborado com base em metodologia de pesquisas quantitativas e realização de testes em campo, que resultaram em um produto de inovação.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | solar panel, electronic security, innovation

---

*Many remote locations surveillance systems requires to install major infrastructure and are costly. This paper presents the development, the difficulties and the results of an independent surveillance system that consists of a trailer that ensures the mobility of the product, solar panels for energy generation, high-tech cameras for surveillance, antenna and 3G/4G modem for cable-free data transmission. The company Premier Segurança eletrônica held a partnership with IEL, CNPq and FIEMG for the development of this product, relying on employees: Fernando Pena, Robson Teixeira, Guilherme Batista and Dayane Ferreira. This work was done based on the methodology of quantitative research with field test resulting in product innovation.*

## INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta os resultados da experiência da autora, no sentido de contribuir, desde o início de 2015, para o desenvolvimento de sistema autônomo de monitoramento na empresa Premier. O foco inicial do projeto baseou-se na criação de sistema modular, autônomo no sentido energético, com transmissão de dados sem fio e vídeo analítico embarcado.

Apresenta-se inicialmente a metodologia aplicada, seguida das mudanças relevantes ocorridas ao longo do período de desenvolvimento, até se chegar à fase final de testes do produto. São demonstradas a seguir as inovações aplicadas ao projeto, que contribuíram para sua viabilidade econômica e técnica.

Apesar de todo o avanço tecnológico dos últimos anos envolvendo energias renováveis, os sistemas fotovoltaicos encontram algumas dificuldades, relacionadas em especial aos acumuladores de energia. Os problemas não estão relacionados exclusivamente às características técnicas, uma vez que restrições econômicas constituem desafios para os projetos de geração isolada.

O fornecimento de energia para um sistema de segurança eletrônica deve ser ininterrupto e confiável. O fato de ser totalmente isolado de uma rede da concessionária local impõe ao projeto elétrico a total interligação a um sistema de monitoramento e de gestão da energia. Nesse sentido, é de fundamental importância a utilização de equipamentos

com baixo consumo. Durante o processo de captação solar até a entrega de corrente alternada para os equipamentos, ocorrem perdas significativas, o que resulta na necessidade do estabelecimento de cálculos criteriosos de demanda, além de rigorosa seletividade quanto aos componentes a serem utilizados no projeto.

Este artigo se divide em três momentos: o primeiro descreve as justificativas e os objetivos que levaram ao desenvolvimento de um projeto de inovação na área de segurança eletrônica, mediante a utilização de energias renováveis. O segundo demonstra a análise metodológica, os obstáculos e as alternativas para superá-los. O terceiro momento descreve os testes, resultados que puderam ser alcançados e conclusões obtidas.

## JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, o Brasil vem enfrentando graves problemas relacionados ao aumento da violência. Com isso, cresce continuamente a demanda por equipamentos e instalações de segurança eletrônica. A cada dia surgem novas tecnologias, que auxiliam na segurança de pessoas e na defesa de seus respectivos patrimônios.

Como os furtos, roubos e assaltos não estão ligados apenas às grandes metrópoles, faz-se necessária a proteção de locais remotos, como canteiros de obras, mineradoras, portos, eventos, entre outros. Entretanto, alguns desses locais apresentam algumas restrições como inviabilidade de fornecimento

de energia elétrica e instabilidade ou ausência de rede de dados, aliadas ao alto custo para construção de infraestrutura.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a elaboração de projeto de inovação para a empresa Premier Segurança Eletrônica, que constitui no desenvolvimento de sistema de monitoramento móvel, autônomo de energia e com transmissão de dados em tempo real, sem a necessidade de instalação de infraestrutura no local a ser monitorado.

Os objetivos específicos são demonstrados no quadro a seguir.

### OBJETIVO DO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

OBJETIVO	META	INDICADOR
Mapear as tecnologias existentes de monitoramento de imagens.	Produto inovador, em relação aos existentes ou semelhantes.	Relatório de prospecção tecnológica.
Desenvolver o produto.	Inovações no produto, percebidas pela empresa e seus parceiros.	Índice de eficiência em relação aos existentes no mercado.
Estabelecer parcerias para desenvolvimento e comercialização do produto.	Produção e comercialização do produto.	Quantidade de produtos produzidos e comercializados.
Ampliar e desenvolver o portfólio de clientes.	Atendimento a 10 clientes, dos setores de mineração, construção civil e trânsito.	Quantidade de novos clientes.

QUADRO 1- Objetivo do desenvolvimento do projeto

## MÉTODO

Este trabalho foi elaborado com base em metodologia de pesquisas quantitativas e de acordo com os ensinamentos de Gil (2007, pag.17), que define pesquisa como:

*“(...) procedimento racional e sistemático, que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados.”*

Uma vez definidos objeto, problemas, objetivos e abrangência do tema, serão levantados os requisitos mínimos para o desenvolvimento de modelagem simplificada, capaz de contornar os problemas advindos de uma geração fotovoltaica isolada para equipamentos de segurança eletrônica, permitindo, dessa forma, a construção de projeto que atenda a regiões de área remota, de maneira sustentável e confiável.

Os procedimentos técnicos utilizados nesse trabalho foram a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso (Gil, 2007), visando proporcionar familiaridade com o problema, para torná-lo mais claro ou construir hipóteses. Posteriormente à elaboração do modelo e revisados os estudos – através de artigos, livros e material disponível por meio eletrônico – realizou-se coleta de dados em campo, com análise dos resultados. Ao final, apresenta-se conclusão, com a modelagem dos sistemas de maneira sistematizada e análise simplificada de viabilidade técnica.

## NOTAS:

1. Os dados do painel solar foram mensurados em campo, assim como a potência da carga dos equipamentos de segurança eletrônica.
2. “Caracteriza-se pelas investigações a pesquisa de campo que, além da pesquisa bibliográfica, realiza armazenamento de dados ao decorrer do trabalho em diversos recursos de análise.” (FONSECA, 2002).

## PROJETO

Tendo em vista as demandas de mercado em segurança eletrônica e as oportunidades em projetos de inovação, a empresa Premier Segurança eletrônica iniciou o desenvolvimento de sistema autônomo de monitoramento. As pesquisas demonstraram que projetos semelhantes não atendiam ao mercado de maneira satisfatória, tornando atraente a elaboração desse produto.

Para o desenvolvimento do projeto foi elaborado cronograma, conforme especificado na tabela 1. Nele, são descritas as etapas que contemplam desde o conhecimento da empresa até o desenvolvimento do produto com novas finalidades.

A equipe de desenvolvimento do projeto foi composta pelos colaboradores: Fernando Pena, Coordenador do Projeto; Robson Teixeira, colaborador na especificação dos equipamentos de segurança eletrônica; Guilherme Batista, engenheiro de computação responsável pelos equipamentos eletrônicos e Dayane Ferreira, engenheira eletrônica, responsável pelo sistema de geração de energia elétrica.

**CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DO PROFISSIONAL**

BOLSISTA 1

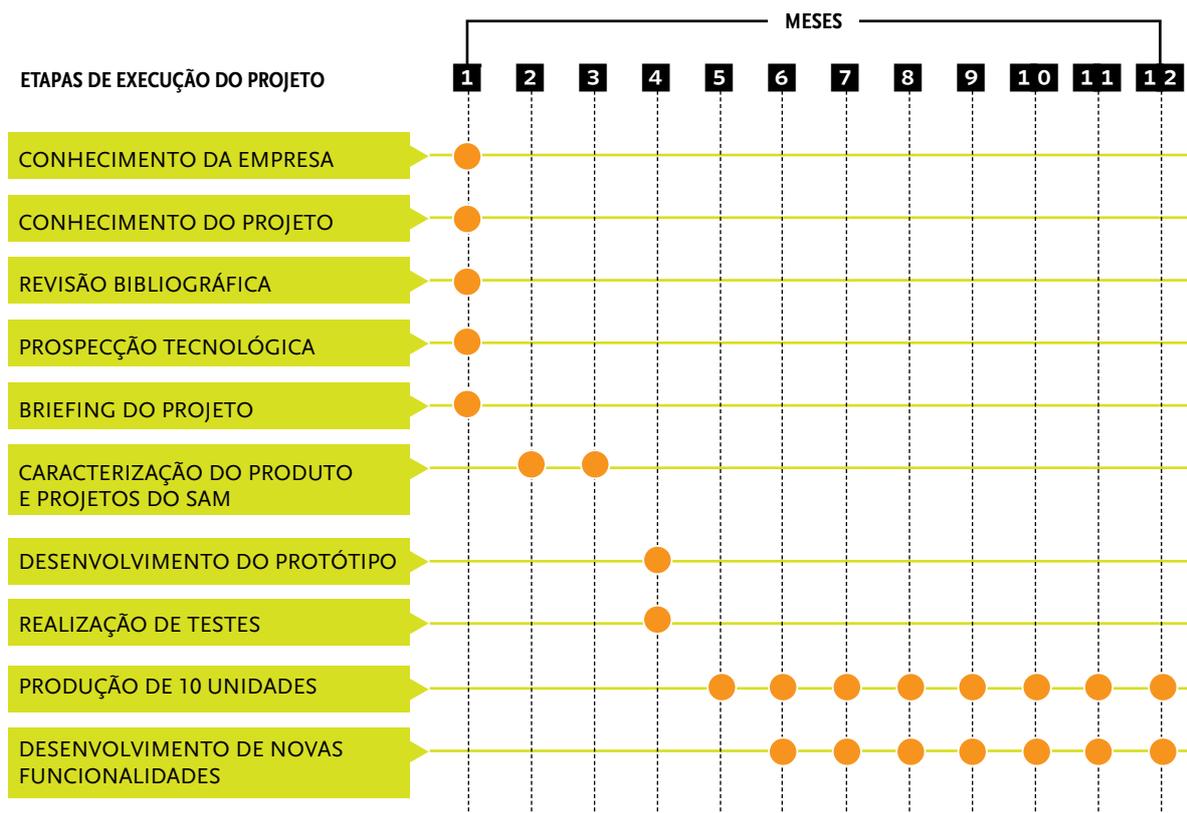


TABELA 1 - Cronograma de Projeto

**DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

Para o desenvolvimento do projeto, foi necessária a elaboração de um sistema de geração de energia independente da rede, a criação de uma forma de armazenamento e estabilidade dessa energia, além de um sistema de monitoramento, um sistema de transmissão de dados, um sistema de alarme e um projeto mecânico baseado em um trailer, capaz de suportar a mobilidade do produto.

Compostos por painéis solares, controladores de energia e inversores de tensão, geradores fotovoltaicos constituem o sistema de geração de energia com maior viabilidade técnica e econômica nos dias atuais. O sistema de armazenamento foi realizado por banco de baterias e, devido à instabilidade climática, fez-se necessária a utilização de um carregador de bateria externo.

Para o sistema de monitoramento, foram utilizadas câmeras Ips, Switch e armazenamento de dados através de NVrs. Devido à proposta de transmissão de dados sem utilização de cabeamento, os equipamentos utilizados foram antenas e transmissão em 3G/4G, através de um modem. Para o sistema de alarme, utilizaram-se sensores magnéticos, sensores abalos sísmicos e rastreadores, ca-

pazes de garantir a segurança do produto. A estrutura do produto foi elaborada por empresa terceirizada, atendendo aos requisitos mínimos de robustez e mobilidade. As partes que compuseram o projeto mecânico (ver figura 1) podem ser definidas basicamente por um trailer, pé nivelador, quadro elétrico, baú interno, guincho manual, mastro e suporte para fixação dos painéis solares.

**ESBOÇO DO PROJETO**

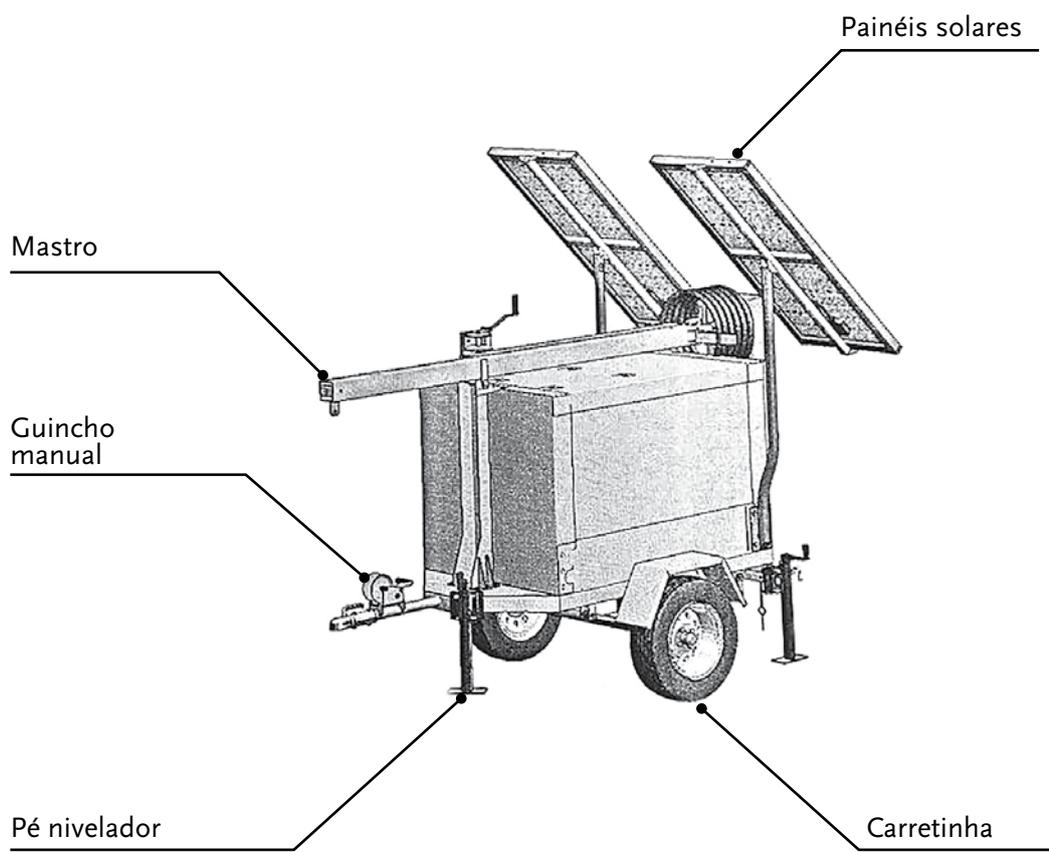
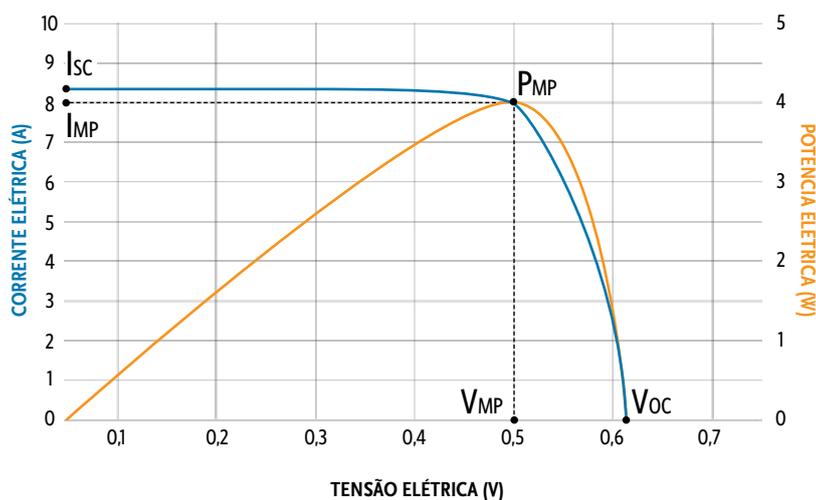


FIGURA 1 - Esboço do Projeto

**POTÊNCIA ELÉTRICA VERSUS TENSÃO ELÉTRICA**



**FIGURA 2**  
Gráfico de Potência elétrica versus Tensão elétrica  
Fonte: Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos (2014)

**PAINÉIS SOLARES**

O efeito fotovoltaico ocorre através da conversão direta da luz por meio de um semicondutor: a célula fotovoltaica. A tecnologia empregada no mercado são células de silício monocristalino (m-Si), policristalino (p-Si) e filmes finos.

Os dados de maior relevância para análise, apresentados pelo fabricante de painéis solares, são Potência máxima (P<sub>max</sub>), Tensão em circuito aberto (V<sub>oc</sub>), Tensão de Pico (V<sub>mpp</sub>), Corrente de curto-circuito (I<sub>sc</sub>), Corrente de Pico (I<sub>mpp</sub>) e eficiência das células fotovoltaicas. A eficiência de um módulo fotovoltaico<sup>1</sup> é mensurada pelo quantitativo

de energia solar convertida em energia elétrica. A figura 2 mostra que, a partir dos dados anteriores, é possível determinar a curva da potência em função da tensão. Ainda que o P<sub>MP</sub> (Ponto de máxima potência) possa ser calculado de forma aproximada, os dados de eficiência energética não podem ser considerados isoladamente para indicadores de qualidade, haja vista que outros fatores são importantes para definição, tais como resistência do painel, peso, fornecedor e custo.

Devido à facilidade de implementação na instalação de sistemas fotovoltaicos, quando comparados, por exemplo, a usinas hidrelétricas e a usinas nucleares, as tecnologias envolvidas na produção de painéis solares crescem de forma exponencial.

<sup>1</sup> Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas ligadas em série ou paralelo.

### CONTROLADOR DE CARGA

O controlador de carga ou regulador de tensão é um equipamento criado com o objetivo de promover a proteção das baterias. Com nível de criticidade elevada, sua ausência em um projeto pode causar grandes danos ao circuito elétrico.

Para escolha do controlador adequado, alguns parâmetros são necessários, tais como tensão e tipo de bateria, tensão solar na entrada, potência solar máxima na entrada e faixa de temperatura.

Um dado importante para escolha do produto é que sua corrente de entrada deve ser maior que a corrente de curto-circuito dos painéis fotovoltaicos, multiplicada pelo fator 1,25. Além disso, sua tensão de saída deve ser a mesma das baterias.

O controlador utilizado atua como um

conversor CC-CC, para o maior controle de tensão e corrente aplicada ao banco de baterias. Com um sistema de controle em seu circuito eletrônico, esse tipo de conversor proporciona maior eficiência ao gerador fotovoltaico. A corrente produzida pelo módulo fotovoltaico depende da irradiância solar e é pouco afetada pela temperatura, ao contrário da tensão, que tem perdas significativas com o aumento da temperatura. Como o sombreamento é algo imprevisível e afeta diretamente a irradiância, ocorrem grandes variações entre a relação corrente/tensão.

O sistema de controle utilizado é o seguidor de ponto de máxima potência, MPPT, que identifica as variações entre a tensão e corrente e atua na transferência de potência, evitando perdas. Esse tipo de controle apresenta vantagens como precisão, eficácia e rapidez.



**FIGURA 3**  
Seguidor de máxima potência

#### NOTAS:

Alguns controladores oferecem a possibilidade de visualização dos dados, através de medidores remotos, o que facilita análises posteriores.

### INVERSOR DE TENSÃO

O controlador oferece a possibilidade de fornecimento de corrente contínua para uma carga com a mesma tensão do banco de baterias. Como os equipamentos eletrônicos apresentam tensões diferentes, foi necessária a inclusão de um inversor de tensão.

Esse tipo de inversor tem por finalidade converter tensão contínua em tensão alternada. As principais características para seu dimensionamento são tensão nominal de entrada, tensão de saída, potência de saída, frequência e tipo de onda.

Para os modelos de inversores comuns de mercado, os tipos de onda são basicamente onda senoidal pura e onda senoidal modificada. A aplicação depende do tipo de carga e da qualidade de energia de que o equipamento necessita – geralmente cargas resistivas funcionam normalmente com ondas senoidais modificadas.

Assim como o controlador, o inversor também protege as baterias, pois desliga quando a bateria apresenta tensões baixíssimas. O ideal é a utilização de inversores com as tensões de saída idênticas à fornecida pela concessionária para clientes de baixa tensão.

### BATERIAS ESTACIONÁRIAS

Um dos principais problemas encontrados em sistemas de geração isolada são os acumuladores de energia. Atualmente, a bateria estacionária selada é a principal forma de armazenamento, pois não necessita de troca de água ou eletrólito, o que garante maior praticidade.

Fator importante a ser destacado é que não se devem utilizar baterias automotivas, projetadas para ciclos de descargas pequenas, tendo assim vida útil comprometida, o que ocasiona perda de garantia e confiabilidade no sistema.

Utilizaram-se como modelo nos testes as baterias de ácido-chumbo. Com capacidade de 150AH (20 horas) e tensão de 12 Volts, essas baterias foram projetadas para suportar ciclos de descargas profundas por várias vezes. Na figura 4 do manual técnico da Freedom, pode-se observar que o consumo de corrente, aliado às medições de tensão, fornece o tempo aproximado de duração das baterias.

### CURVA DE DESCARGA – CORRENTE CONSTANTE – DF2500

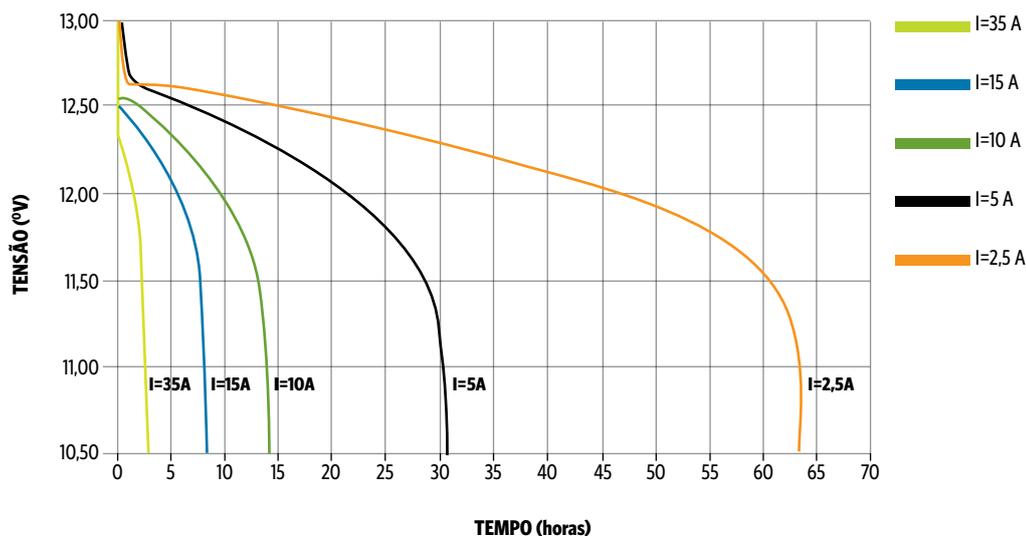


FIGURA 4 - Curva de Descarga – Corrente Constante – DF2500

Fonte: Site do Manual Técnico Bateria Estacionaria Freedom disponível em <<http://www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf>> Acesso 11 de abril de 2015

O ciclo de vida útil da bateria depende diretamente da sua forma de utilização. Geralmente os fabricantes garantem até quatro anos de duração, com profundidade de descarga de 20%. Entretanto, o que acontece, na prática, é a utilização intensa dos bancos de baterias, o que reduz drasticamente o estado da carga.

Existem no mercado outras tecnologias especializadas para armazenamento de sistemas fotovoltaicos, como as baterias com tecnologia AGM, que apresentam uma resistência interna baixa, com queda de tensão menor quando comparadas às baterias estacionárias comuns. Devido a sua maior

eficiência, o consumo de corrente de flutuação é maior, aumentando o calor interno, o que exige rigoroso controle de temperatura do ambiente.

Nos testes-piloto, as baterias foram alocadas em um compartimento metálico exposto ao sol, com temperaturas que podem atingir picos de 56°, medidos em campo. Por motivos de segurança e custo, a tecnologia AGM não foi utilizada.

Como as baterias são os primeiros equipamentos a sofrer desgastes ao longo do tempo, uma boa opção para amenizar o problema é a utilização de bancos de baterias, que aumentem a capacidade de armazena-

mento, evitando descargas profundas em períodos de instabilidade climática.

O tempo médio de duração de um banco de baterias considerando uma carga mínima de 20% é determinado pela equação (1.0):

$$\text{Autonomia} = \frac{\text{Capacidade do Banco } \left(\frac{A}{H}\right)}{\text{Corrente Contínua requerida (A)}} 0,8$$

A cada processo de recarga, ocorre a degradação dos materiais, o que vale dizer que a vida útil da bateria é determinada pelo número de ciclos exigidos. Por essa razão, a bateria precisa ser armazenada carregada, para que não haja danos ao equipamento.

#### TESTADOR DE BATERIAS

#### OU ANALISADORES DE BATERIAS

Devido ao nível de criticidade envolvendo o banco de baterias, é necessário utilizar um método de testes para obter informações sobre a qualidade, verificando se o produto está apto ou não para ser utilizado em campo.

Sabemos que somente com medições de tensão não é possível estimar a vida de uma bateria, razão pela qual é importante, para testes em laboratório, a utilização de um analisador, que apresenta gráficos de tendência e informações sobre a vida útil das baterias.

Os testes podem ser realizados através de testadores, que não necessitam de análise em laboratório e são realizados em poucos minutos. Entretanto, os dados obtidos são simples e informam apenas se a bateria está apta para o uso. Apesar de os dois equi-

pamentos serem diferentes, o método mais comum é a utilização dos testadores, devido a seu baixo custo e praticidade.

#### CARREGADOR DE BATERIAS

Os sistemas de geradores fotovoltaicos isolados utilizam baterias para o armazenamento da energia produzida, possibilitando sua utilização em períodos noturnos.

Em condições climáticas desfavoráveis, quando o tempo se apresenta nublado ou chuvoso, a produção de energia é baixa, ocorrendo assim, o esgotamento dos bancos de baterias, uma vez que os painéis solares não conseguem recarregá-los.

Como alternativa para o problema, faz-se necessário o uso de um carregador de baterias externo, que utiliza como fonte a rede da concessionária local ou um gerador de energia movido a diesel ou gasolina.

Para preservar a vida útil das baterias estacionárias, o carregador deve ser do tipo inteligente, que alterna os ciclos de recarga entre tensão de equalização e tensão de flutuação. O dimensionamento do carregador de baterias deve ser realizado pela equação (2.0).

$$\text{Carregador de Baterias} = \text{Capacidade do Banco } \left(\frac{A}{H}\right) * 10\%$$

#### CÂMERAS IPS

Uma Câmera de vídeo IP pode ser controlada pela internet, intranet ou LAN. Ela possui um número IP, o que facilita a visualização dos dados, necessitando apenas de um na-

vegador Web e conexão com a internet. Além do fácil acesso às imagens, as câmeras IPs podem ser integradas a sistemas de alarmes. Os principais parâmetros para sua definição são resolução, iluminação mínima, grau de proteção, zoom e alimentação, via cabo de rede.

### NVRS E VÍDEOS ANALÍTICOS

O Network Video Recorder, conhecido como NVR, é o sistema responsável por armazenar e gerenciar as imagens realizadas pelas câmeras IPs. Através de um software instalado em um computador ou aplicativo de celular, é possível visualizar, em tempo real, as imagens ou fazer uma busca de gravações anteriores.

A capacidade de gravação de um NVR está condicionada a diversos fatores, tais como resolução das câmeras utilizadas, quantidade de câmeras e escolha do HD a ser instalado no equipamento. Um sistema de inovação atualmente difundido no mercado é a utilização de vídeos analíticos, capazes de realizar o tratamento de imagens armazenadas. Graças a esse recurso, torna-se possível saber o número de pessoas existentes em determinado local; delimitar áreas, que, se invadidas, liberam um alarme; fazer a contagem de veículos em uma rodovia, entre outras inúmeras possibilidades, que permitem ações de proteção no ambiente de forma automática, sem intervenção humana.

### SWITCH POE

O switch tem a finalidade de direcionar pacotes de dados entre equipamentos conectados

para ligar o remetente ao destinatário. Além de transmissão de dados, existem os switches PoE, power over ethernet, que transmitem energia elétrica para os equipamentos através dos cabos de redes, dispensando a necessidade de uma fonte de alimentação.

### TRANSMISSÃO DE DADOS SEM FIO

O fluxo de dados, que interligam dois pontos ou mais, precisa de um meio de propagação, que pode ser cabo de rede, cabo coaxial ou fibra ótica. Entretanto, para transmissão sem instalação de infraestrutura utilizam-se normalmente antenas e modem 3G ou 4G.

São necessários, no mínimo, duas antenas para o acesso de dados em uma rede local. Os requisitos mínimos são frequência, taxa de transferência, alcance, grau de proteção e alimentação, via PoE.

Para acessar as informações sem a necessidade de uma rede local, o projeto incluiu a instalação de um modem 3G ou 4G, com os requisitos mínimos de qualidade de transmissão, velocidade, qualidade do sinal, área de cobertura e franquia.

### ALARME

O sistema de alarme tem como objetivo alertar sobre uma irregularidade, que pode ser uma tentativa de furto, invasão ou a entrada de uma pessoa em local não autorizado.

Uma central de alarme é o componente principal do sistema, que recebe os diversos tipos de sensores e libera algum comando de

saída como disparo de uma sirene, envio de mensagens ou e-mails.

#### RASTREADOR

O rastreador é um sistema de segurança baseado na tecnologia GPRS, que tem por objetivo a localização do veículo em casos de furtos ou roubos. Sua instalação é feita de modo estratégico, o que dificulta o desligamento e a consequente perda de comunicação.

#### PROJETO MECÂNICO ESTRUTURA

Após a definição do sistema de geração de energia e escolha dos equipamentos que compõem o produto, foi necessário o desenvolvimento de projeto mecânico (ver figura 5), com as seguintes especificações:

- 2,3m de altura, 6m de altura com mastro estendido, 1,55m de largura e 2,5m de comprimento;
- Base formada por chassi, que permite a instalação de um reboque para transporte;
- Carroceria formada por um trailer, com baús internos para alocação dos equipamentos;
- Suporte dos painéis solares, que permite a formação de ângulos;
- Mastro com catraca para elevação vertical, com uma caixa em sua ponta, onde foram instalados alguns componentes eletrônicos e câmeras de segurança.



FIGURA 5 - Primeiro protótipo: vista lateral direita e vista frontal

No segundo protótipo, ocorreram algumas revisões (ver figura 6), e o projeto mecânico passou a ter novas dimensões: 1,93 m de altura, 6m de altura com mastro estendido, 2,40 m de largura e 3,74 m de comprimento. O suporte dos painéis solares teve de adequar-se à nova especificação técnica, e o mastro ganhou maior robustez, o que facilitou o acesso ao local de armazenamento das baterias, onde foi inserido quadro elétrico externo para proteção dos equipamentos.<sup>2</sup>



FIGURA 6 – Segundo protótipo: vista frontal

### MONTAGEM DO PRODUTO

A instalação do produto seguiu três etapas principais: a primeira, direcionada para o

<sup>2</sup> Em condições anormais, as baterias liberam gases que danificam os componentes elétricos.

projeto mecânico; a segunda, para o projeto elétrico; e a terceira, para o projeto eletrônico, com dois protótipos distintos.

A estrutura mecânica foi construída, nas duas versões, por empresas terceirizadas, sendo necessárias apenas pequenas alterações posteriores, como furos e vedação. Como o primeiro protótipo não apresentava um compartimento isolado para os componentes elétricos, foi necessária a instalação de um quadro elétrico dentro do trailer. O segundo protótipo foi desenvolvido com um compartimento destinado a equipamentos elétricos.

Os componentes elétricos foram instalados na empresa Premier, contando com as orientações de manuais técnicos de fornecedores e de um projeto elétrico, que contemplava a instalação dos equipamentos acompanhados de canaletas, eletrodutos e prensa-cabos. Enquanto no primeiro protótipo os painéis solares ficaram em um ângulo nulo, devido a problemas no suporte, no segundo protótipo, obteve-se inclinação similar à latitude local.

As instalações dos equipamentos eletrônicos seguiram o mesmo padrão dos equipamentos elétricos. Alguns problemas foram encontrados em relação ao diâmetro de algumas mangueiras, subdimensionadas para a quantidade de cabos utilizados. No primeiro protótipo, trocaram-se os eletrodutos e conseguiu-se a padronização das mangueiras para os projetos posteriores. O primeiro e o segundo protótipo finalizados podem ser observados na figura 7.



FIGURA 7 – Primeiro e segundo protótipo finalizados

### TESTES

Vários testes foram realizados com o sistema autônomo de monitoramento em área externa localizada na empresa Premier Segurança eletrônica – latitude de  $19^{\circ}56' 53.5''$  e longitude de  $43^{\circ}55' 51.9''$  – com painéis solares voltados para o norte.

A temperatura interfere diretamente no funcionamento dos componentes eletrônicos. Na primeira versão do projeto, o mastro, junto à caixa acoplada, foi pintado de preto, o que fez com que a temperatura interna chegasse a picos de  $72^{\circ}\text{C}$ . Para evitar esse problema, a caixa recebeu três camadas de tinta branca spray, específica para áreas metálicas. Depois desse procedimento, a maior temperatura mensurada foi de  $46^{\circ}\text{C}$ .

O primeiro projeto do gerador fotovoltaico era constituído de um painel solar de  $250\text{W}$ , com 60 células de silício policristalino. Entretanto, a potência fornecida não atendia aos requisitos mínimos. Com a revisão do projeto elétrico, definiu-se que a potência seria de  $520\text{ W}$  (composta por dois painéis de  $260\text{W}$ , com 60 células de maior eficiência ligadas em paralelo). Os testes realizados com os dois sistemas resultaram nos dados mostrados na figura 8 nos seguintes períodos:

- Série 1  
25 de setembro de 2015, às 9h
- Série 2  
8 de outubro de 2015, às 9h

### DADOS DOS PAINÉIS SOLARES MENSURADOS EM CAMPO EM 2015.

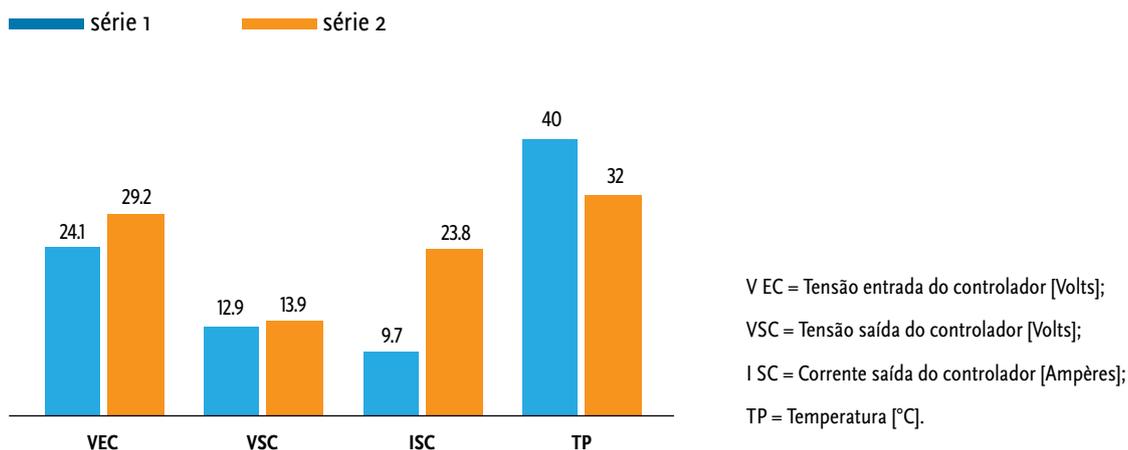


FIGURA 8 - Dados dos painéis solares mensurados em campo em 2015.

Analisando o gráfico referente à figura 8, pode-se concluir que o maior impacto ocorrido na variação entre a série 1 e série 2 resultou do aumento da corrente em 145,3608 % para condições climáticas idênticas, o que aumentou a eficiência do sistema de geração.

O controlador de carga utilizado no projeto foi do tipo MPPT, tecnologia que aumenta a eficiência da relação entre corrente e tensão de entrada e saída. Uma amostra do teste pode ser verificada nas figuras 9, 10, 11 e 12, referente à data 04 de novembro de 2015, que demonstram as sombras sobre os painéis solares. Por sua vez, os dados obtidos por medidor externo podem ser observados na figura 13.



FIGURA 9 - Paine solar (9h)



FIGURA10 - Paine solar (12h)



FIGURA 11 - Painel solar (15h)



FIGURA 12 - Painel solar (16h)

**DADOS DOS PAINÉIS SOLARES MENSURADOS EM CAMPO, COM VARIAÇÕES DE SOMBREAMENTO**

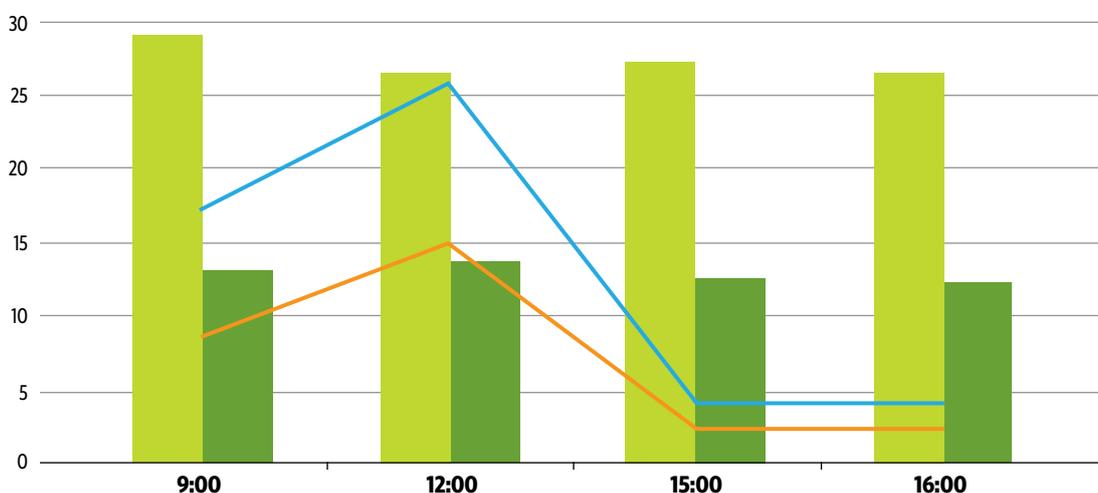


FIGURA 13  
Dados dos painéis solares mensurados em campo, com variações de sombreamento.

<b>VEC</b>	29.1	26.6	27.4	26.6
<b>VSC</b>	13.1	13.7	12.6	12.4
<b>ISC</b>	17.7	26	4.4	4.1
<b>IEC</b>	8.81	15.21	2.51	2.27

V EC = Tensão entrada do controlador [Volts];

VSC = Tensão saída do controlador [Volts];

I SC = Corrente saída do controlador [Ampères];

IEC = Corrente entrada do controlador [Ampères];

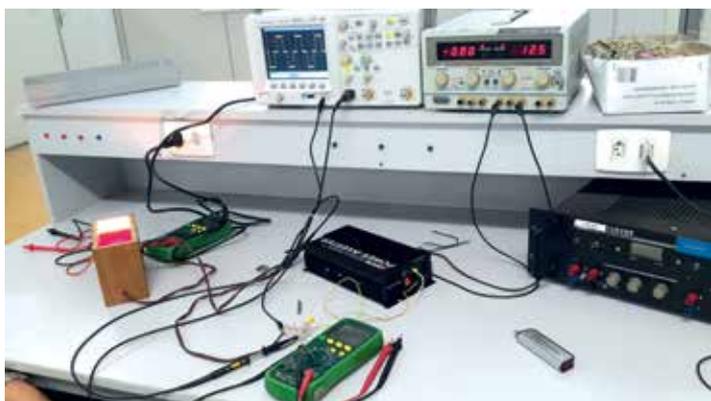


FIGURA 14 - Testes realizados com inversor de onda senoidal modificada

O tipo de controlador normalmente utilizado em projetos de geração isolada fotovoltaica é o PWM, que, além de fornecer para a carga a mesma corrente dos painéis solares, apresenta custo inferior aos controladores de seguidor de máxima potência. Entretanto, segundo os dados do gráfico da figura 13, pode-se observar que, graças à tecnologia MPPT, a corrente de saída do controlador é maior do que a corrente de entrada, o que viabilizou sua utilização no projeto.

O inversor de tensão utilizado no primeiro protótipo alimentava em tensão alternada equipamentos com demanda de até 1000 Watts. O equipamento estava superdimensionado e desligava constantemente, sem uma causa definida. Para resolução desse problema, foi necessária a utilização de um osciloscópio, com o objetivo de analisar o tipo de onda que o equipamento estava fornecendo. Em parceria com o SENAI Belo Horizonte CETEL - César Rodrigues, foram realizados os testes, no dia 17 de agosto de 2015, conforme pode ser verificado na figura 14.

Analisando a figura, observa-se que o tipo de onda fornecido pelo equipamento é senoidal modificada, o que estava causando a incompatibilidade com os equipamentos eletrônicos. A saída foi a utilização de um inversor com onda senoidal pura e com a potência adequada de 300 W. Ainda que mais oneroso do que o utilizado no primeiro modelo, esse inversor não apresentou problemas.

Inicialmente, o sistema elétrico foi projetado para carregar as baterias somente com os painéis solares. Devido às variações cli-

máticas, o projeto inicial sofreu algumas alterações, entre as quais o acréscimo de um carregador de baterias externo, que, durante o período de testes, apresentou o desempenho esperado.

Os testes, realizados com testadores de baterias, demonstraram as boas condições de uso para utilização em campo. Não foi possível determinar o estado de vida dessas baterias, pela falta de um analisador.

O sistema foi realizado com um circuito elétrico de proteção feito por disjuntores, relés e dps, que não apresentaram falhas durante os testes.

As câmeras de segurança no, período noturno, apresentaram maior consumo de energia, na comparação com o período diurno. Entretanto, os valores de pico ficaram dentro do esperado, sem a necessidade de troca desses equipamentos.

Os gravadores de imagens, os NVRs, na primeira versão, armazenaram os dados normalmente nos períodos de testes, conforme descrito em seu manual técnico. Ocorreu a troca por um segundo NVR que, além de atender às expectativas de gravação, permitiu a análise dos vídeos.

As antenas e o modem transmitiram os dados normalmente – e com baixo consumo de energia elétrica, o que viabilizou a utilização. A central de alarme com os periféricos apresentou resultados satisfatórios, sendo que, durante os testes, não houve a necessidade de troca por equipamentos equivalentes. Os painéis solares foram instalados com a face voltada para o norte, com ângulo de

inclinação da latitude do local onde o projeto está alocado. Ocorreu um erro na montagem do primeiro protótipo – o que não permitia essa inclinação – motivo pelo qual a instalação das baterias e dos painéis solares apresentava alto nível de dificuldade. O segundo protótipo, por sua vez, permitiu a variação do ângulo, fazendo com que a instalação dos painéis no suporte se tornasse ergonômica, tornando mais fácil a troca das baterias.

## RESULTADOS

De um modo geral, os resultados obtidos com os testes realizados em um sistema autônomo de monitoramento foram bastante satisfatórios, mostrando que a geração isolada, realizada com painéis solares, um sistema elétrico eficiente e equipamentos eletrônicos de baixo consumo, foi capaz de superar as melhores expectativas.

O teste em campo permitiu descobrir algumas peculiaridades não consideradas durante o projeto inicial, como as altas temperaturas na parte interna do trailer – quando exposto ao sol – e a incompatibilidade entre inversores de onda senoidal modificada e equipamentos eletrônicos.

Importante dado obtido foi o alto desempenho dos equipamentos eletrônicos alimentados via PoE, que apresentaram baixo consumo de energia elétrica, possibilitando a realização do Projeto. Caso os equipamentos apresentassem mau desempenho, os projetos elétricos e mecânicos teriam uma dimensão desproporcional para transporte.

Outro requisito relevante foi o acompanhamento remoto dos dados, através de uma central de monitoramento, que indicou problemas tais como desligamento inesperado do inversor, indicador de bateria baixa e falhas no acionamento de alarmes. Esse tipo de acompanhamento agregou confiabilidade e segurança ao projeto.

Com as modificações no projeto inicial, o sistema de geração de energia tornou-se híbrido, permitindo a inserção de uma fonte externa de tensão alternada, garantindo a estabilidade no fornecimento de energia elétrica.

O projeto continua em aperfeiçoamento constante, o que proporciona a integração de novas tecnologias e caracteriza o produto como de inovação.

## DISCUSSÃO

O sistema autônomo de monitoramento superou as expectativas iniciais, revelando-se um projeto promissor na área de segurança eletrônica, aliado a um sistema de geração de energia sustentável. De forma simplificada, esse projeto propôs:

### A. RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA

Com o desenvolvimento do novo produto, tornou-se possível o monitoramento de áreas remotas e de locais com monitoração temporária, dispensando a instalação de infraestrutura, que apresenta custo elevado e impõe a necessidade de grande volume de mão de obra específica.

### B. PRODUTO DE INOVAÇÃO

Projetos como Inova Talentos ampliam a possibilidade de inovação no Brasil, mostrando que, mesmo com todas as barreiras, é possível o desenvolvimento de projetos bem-sucedidos de inovação em pequenas empresas.

### C. BENEFÍCIO

Com o desenvolvimento desse produto, a Premier Segurança Eletrônica passa a ser reconhecida no mercado como uma empresa de soluções inovadoras para a área de segurança eletrônica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido às características peculiares do produto, entrou-se com pedido de patente ao INPI (protocolo BR20160011655). O processo se encontra ainda sob sigilo.

Após a finalização do protótipo, ocorreu a divulgação, através de folders, websites e em uma feira internacional (A LAAD security, realizada nos dias 12, 13 e 14 de abril de 2016, no Rio de Janeiro), onde o produto foi reconhecido por profissionais da área de segurança como um projeto inovador.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Análise de configurações de Sistemas Híbridos Fotovoltaicos.** Disponível em: <http://www.degeriberica.com/wp/wp-content/uploads/2014/08/An%C3%A1lise-deconfigura%C3%A7%C3%B5esde-SistemasH%C3%ADbridosFotovoltaicos..pdf>. Acesso em: 23/03/2015. Artigo Técnico.

LORENÇATO , Alexandre; MARTINS ,Alexandre; PERIUS, Tiago. **Analisador de baterias.** Disponível em: < [http://www.netwaydatacom.com.br/Principal/CP/artigo\\_7.pdf](http://www.netwaydatacom.com.br/Principal/CP/artigo_7.pdf) > . Acesso em 12/05/2015.

LIU, Yong; GUO, Yang; LIANG, Chao. **A survey on peer-to-peer video streaming systems**, 2007.

MAJUMDAR ,Arun. **Multicast and unicast real-time video streaming over wireless LAN**, 2002. Publicado em: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (Volume:12 , Issue: 6).

**Manual Técnico Bateria estacionária FREEDOM.** Disponível em: <http://www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf>. Acesso em 20/04/2015.

MME, Ministério de Minas e Energia. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia elétrica 2006 – 2015** - PDE disponível em: [http://www.epe.gov.br/PDEE/20060702\\_01.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20060702_01.pdf). Acesso em: 23/03/2015.

NI, Qiang; ROMDHANI ,Lamia; TURLETTI , Thierry. **A survey of QoS enhancements for IEEE - 802.11 wireless LAN**. 2004. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 4.

PINHO, João; GALDINO, Marcos. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CEPEL 2014.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Métodos de Pesquisa**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derado05.pdf>. Acesso em: 05/04/2015.

VILLAALVA, Marcelo. **Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações Sistemas Isolados e Conectados à Rede**. Érica, 2015.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GARLHADO, Marcos André Barros; Oliveira, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. Oficina de Textos, 2012.

# 04

**ALUCOQUE®:  
APLICAÇÃO SIDERÚRGICA DO  
RESÍDUO GERADO EM CUBAS  
ELETROLÍTICAS (RGC)  
NA PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO**



---

## FERNANDO DELLACQUA CRISTO

– *Engenheiro Metalurgista, Trainee Programa Inova Talentos-CNPq/IEL, Gerência de Tecnologia de Fundição e Transformação Plástica*  
Votorantim Metais-Companhia Brasileira de Alumínio

---

## BRUNA GODOI MEIRELLES

– *Engenheira Metalurgista, Consultora Técnica, Gerência de Tecnologia de Fundição e Transformação Plástica*  
Votorantim Metais-Companhia Brasileira de Alumínio

– *Consultora Comercial/Técnica, Gerência de Desenvolvimento de Mercado e Inovação*

## RICARDO DO CARMO

– *Engenheiro Metalurgista, PhD, Gerente da área de Tecnologia de Fundição e Transformação Plástica*  
Votorantim Metais-Companhia Brasileira de Alumínio

! Contribuição técnica ao 46º Seminário de Aciaria – Internacional, parte integrante da ABM Week, realizada de 17 a 21 de agosto de 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.



Companhia Brasileira de Alumínio

---

✉ [fernando.cristo@vmetais.com.br](mailto:fernando.cristo@vmetais.com.br)



Rua Moraes do Rego, 347  
CEP: 18125-000 – Alumínio, SP



(11) 971181772

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | Alucoque®; Metalurgia Secundária; Dessulfuração, Fluorita

---

O resíduo da demolição de cubas eletrolíticas, resultantes da produção de alumínio primário, constitui um subproduto denominado Alucoque<sup>®</sup>, mundialmente conhecido como SPL (Spent Pot Lining), e classificado como Classe I (não inerte). Atualmente, o destino desse resíduo são cimenteiras, para coprocessamento. No Alucoque<sup>®</sup> estão presentes compostos químicos como o  $\text{CaF}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , além de teores consideráveis de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Com base nessas características, foi realizada análise da viabilidade técnica de aplicação do resíduo como fluidificante de escórias para dessulfuração do aço em panela. Simulações computacionais e testes em escala piloto e industrial foram realizados, para validar a aplicação do Alucoque como fluidificante de escórias, como um possível sucedâneo à fluorita (mineral escasso e de alto custo). A proposta em questão tem viabilidade técnica, econômica e ambiental.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | Alucoque®; Secondary Metallurgy; Desulphurization, Fluorite

---

*The waste from the demolition of electrolytic cells in primary aluminum production is a byproduct called Alucoque®, known worldwide as SPL (spent pot lining), and classified as Class I (non-inert). Nowadays, this waste is sent to cement industry, to coprocessing. In Alucoque® are presented chemical compounds such as  $\text{CaF}_2$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ , in addition to considerable amounts of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Based on these characteristics was performed analysis of the technical feasibility of waste application as slag fluxing in ladle steel desulphurization. Computer simulations and industrial and pilot-scale tests were performed to validate the Alucoque as slag fluxing, which it could become a fluorite (scarce mineral and high cost) substitute. The proposal has technical, economic and environmental feasibility.*

## INTRODUÇÃO

O processo de produção do alumínio primário se inicia com a extração da bauxita (minério de alumínio). A produção de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se dá por um processo de digestão da bauxita em soda cáustica, filtração para purificação do licor, precipitação e calcinação posterior do hidrato de alumínio, através do chamado processo Bayer.

A redução se faz em cubas eletrolíticas, também chamados fornos de alumínio. Na realidade, são carcaças metálicas revestidas internamente com materiais isolantes, refratários, e materiais carbonosos em forma de monolítico, blocos que servem como catodo da célula eletrolítica. O anodo é também formado de material carbonoso e se desgasta

no processo eletrolítico pela reação com o oxigênio. O banho eletrolítico é composto de criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) (+/-80%), fluoreto de alumínio ( $\text{AlF}_3$ ) (+/-7%), fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) (+/-8%) e alumina dissolvida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (+/-5%).

Na reação de decomposição eletrolítica do alumínio, apesar de não ser consumido no processo, o catodo recebe sobre ele o alumínio metálico. Entretanto, as altas temperaturas envolvidas (+/- 960°C), a presença de fluoretos de sódio, alumínio e cálcio, além de outras impurezas, provocam a deterioração e a necessidade de troca periódica do catodo. A Votorantim Metais-CBA busca otimizar e aumentar a vida útil de seus fornos, não só com a finalidade de minimizar custos, mas principalmente visando reduzir a geração de resíduos. Hoje, espera-se que o forno tenha uma vida útil em média 3000 dias.(1)

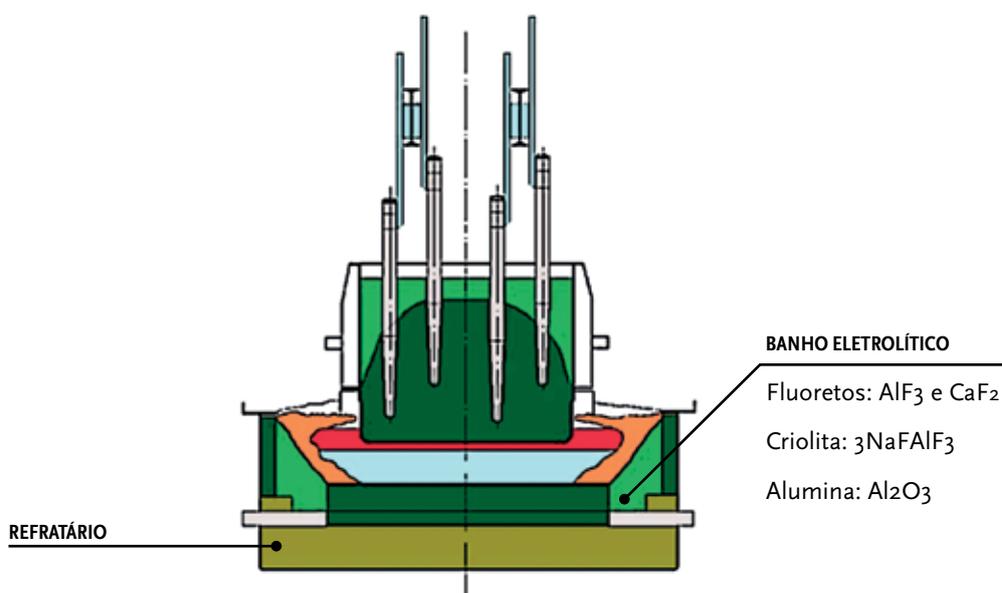


FIGURA 1 - Representação da cuba eletrolítica (1).

Dentre os resíduos gerados na indústria do alumínio, o RGC (revestimento gasto em cubas) ou, em inglês, SPL (*spent pot line*), ainda é objeto de desafio para os estudos de reaproveitamento ou coprocessamento (2) (7). Na Votorantim Metais-CBA, esse resíduo é denominado Alucoque®.

Após aproximadamente 3000 dias de operação, as cubas eletrolíticas são demolidas para reforma e partida de uma nova campanha. Na demolição, é removido e separado o material refratário, os blocos catódicos e o restante do banho eletrolítico resfriado. Esse último, em especial, traz em sua composição química teores consideráveis de  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , compostos que atuam como fundentes em escórias siderúrgicas do sistema  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2\text{-Na}_2\text{O}$ , comumente aplicado à dessulfuração do aço.

Com base nesse conhecimento, realizou-se estudo de viabilidade técnica quanto à aplicação do Alucoque® como fluidificante de escórias de dessulfuração do aço, através da preparação e caracterização do resíduo, simulação computacional da formação da escória e, por fim, a validação do estudo, através de testes industriais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Alucoque® é obtido a partir da demolição das cubas eletrolíticas de fabricação do alumínio primário. Após a demolição, é feita a britagem e peneiramento do resíduo em britador de mandíbula, na faixa de granulome-

tria desejada (de acordo com a especificação de processo e cliente). A composição química do Alucoque® é determinada através da técnica de fluorescência de raios-x.

Foi realizada uma simulação da composição química da escória final de tratamento, utilizando-se o software *SlagBal V3-5*, por meio do qual procedeu-se à incorporação do Alucoque aos insumos e ferro-ligas, adicionados na dessulfuração do aço em panela.

Essas simulações foram realizadas para avaliar o balanço de massa de cada insumo adicionado. Utilizando o software *FactSage*, foi realizada também a simulação do campo de fases das escórias. A partir dos resultados, o resíduo foi testado em escala industrial, em empresa do grupo Votorantim.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão deste trabalho é fundamentada em três partes: descrição e caracterização do resíduo (análises laboratoriais), simulações computacionais e testes industriais.

### DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO

Após ser britado e peneirado, o Alucoque® se torna material homogêneo, com granulometria adequada e uniformidade de composição química, resultante da demolição de várias cubas que, por condições operacionais, podem apresentar desvios na composição química do banho eletrolítico (tabela 1).

Os teores de  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são consideráveis e vitais para a aplicação do resíduo como fluidificante de escórias. É válido ressaltar que são geradas cerca de 40 kg a 50 kg de Alucoque por tonelada de alumínio líquido produzido, sendo a oferta desse material abrangente como insumo em indústrias siderúrgicas, para aços de baixo, médio e alto carbono.

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ALUCOQUE®

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)

$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaF}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$
20 - 35	15 - 25	15 - 25	< 20	< 5	< 5	< 1

TABELA 1 - Composição química do Alucoque®.

### SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

A análise foi feita utilizando o programa *SlagBal V3-5*, considerando a fabricação de um aço 1008, com as seguintes adições durante o vazamento (Kg):

### ADIÇÕES NO VAZAMENTO: AÇO 1008

SIMULATION OF SLAG BALANCE

RUN	FLUORITE (kg)	SPL(kg)	CaO(kg)	FeSi(kg)	FeSiMg(kg)
1	50	60	500	200	900
2	50	60	500	200	900
3	50	60	500	200	900
4	50	60	500	200	900
5	100	60	500	200	900
6	0	100	500	150	900
7	0	100	500	150	900
8	0	100	500	150	900
9	0	100	500	150	900

TABELA 2 - Adições no vazamento: Aço 1008.

Além disso, foi assumida na simulação a passagem de escória de 300-Kg do FEA para a panela, com a seguinte composição (%):

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ESCÓRIA DE FEA

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)							
MgO (%)	CaO (%)	FeO (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	MnO (%)	Cr2O3 (%)	TiO2 (%)
7,4	28,6	34,9	5,0	16,1	5,3	1,5	1,1

TABELA 3 - Composição química da escória de FEA.

A proposta é de levar a escória para região próxima à linha líquido do campo de fases, saturada com CaO e MgO. Esse balanço de massa ilustra a quantidade de fluorita que pode ser substituída pelo Alucoque®. Os resultados obtidos nas simulações demonstraram ser possível a utilização do Alucoque® como fluidificante, seguindo as seguintes recomendações:

- substituição da fluorita (CaF<sub>2</sub>) pelo Alucoque®, que pode ser feita na razão de 1:1;
- saturação em CaO, com 100 kg de Alucoque® e 600 kg de CaO, para obtenção de escória fluída.

**NOTAS:** As adições são válidas para esse tipo de aço, no qual são utilizados 900 kg de FeSiMn e de 150 a 200 kg de FeSi.

Com base no balanço de massa resultante das simulações com o SlagBal, fez-se então a simulação do campo de fases da composição média das escórias finais, com adição de Alucoque e de Fluorita, utilizando-se o software FactSageTM. A composição final das escórias é mostrada na Tabela 4.

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ESCÓRIAS APÓS DESSULFURAÇÃO DO AÇO, UTILIZANDO O SOFTWARE SlagBal

ESCÓRIA	CaO	MgO	SiO2	MnO	FeO	Al2O3	CaF2	BASICIDADE
COM FLUORITA	53,20	8,23	28,92	0,24	1,09	3,00	5,32	1,84
COM ALUCOQUE	51,98	8,61	29,24	0,44	0,84	3,20	5,69	1,78

TABELA 4 - Composição química das escórias após dessulfuração do aço, utilizando o software SlagBal.

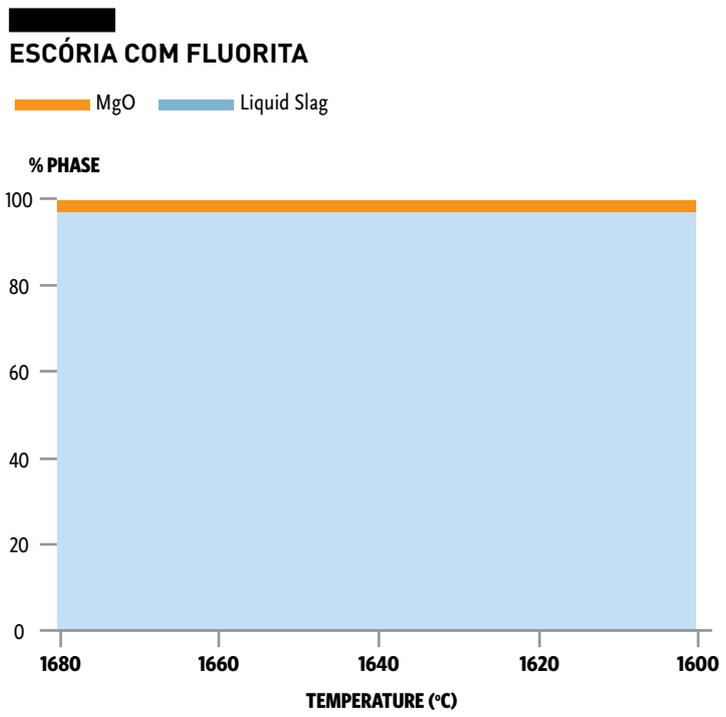
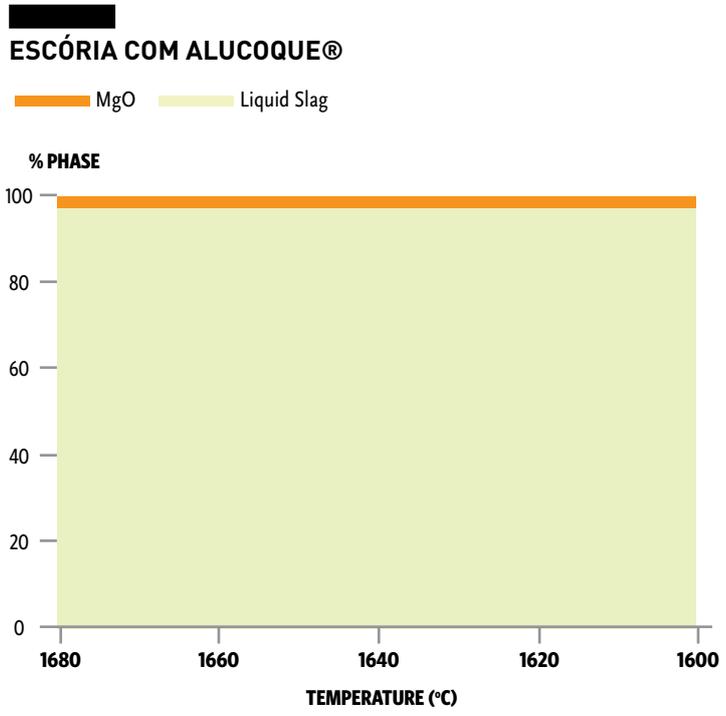


FIGURA 2 - Diagrama de campo de fases das escórias com Alucoque® e com Fluorita, após dessulfuração e utilização do software FactSage.

Na figura 2, observa-se que o comportamento das escórias é bem semelhante. Mesmo inicialmente saturadas em CaO e MgO, as escórias não se encontram mais saturadas em CaO, após a dessulfuração.

Isto ocorre porque, no vazamento do aço, é adicionada grande quantidade de ligas de silício para desoxidação (Tabela 2), o que contribui para o aumento do teor de sílica na escória e a consequente redução da aCaO (atividade Raoultiana do CaO). Com isso, ao fim do processo, a escória não estará mais saturada em CaO.

Porém, como será discutido no Item 3.3, foi possível alcançar as exigências de dessulfuração, cujo maior grau foi obtido nas escórias com os menores teores de sílica na escória final.

Para processos onde a dessulfuração é mais severa, é aconselhável a desoxidação do aço com alumínio ou alumínio-silício – ou então uma adição maior de CaO, para que a basicidade da escória e a reatividade do CaO possam ser maiores, mantendo a escória saturada em CaO, ao longo de todo o processo de dessulfuração(5).

**TESTES INDUSTRIAIS**

Nessa etapa, verificou-se o comportamento da escória em relação ao grau ou eficiência de dessulfuração (%De-S), parâmetro comumente utilizado na avaliação do processo e citado na literatura(3) como ferramenta de controle da dessulfuração. A adição do Alucoque® foi feita no vazamento do aço no Forno Elétrico a Arco (FEA).

Como é de rotina, na usina onde foram realizados os testes, após as adições no vazamento, faz-se a correção da composição da escória, com mais adições no forno-panela.

Os primeiros resultados obtidos foram com relação ao consumo de fundentes e escorificantes na correção da composição química no forno-panela. Conforme pode ser visto na figura 3, com a adição de Alucoque® ao vazamento, houve redução significativa no consumo de Cal Calcítica e Fluorita no forno-panela.

O processo permitiu a redução no volume de escória gerado e, conseqüentemente, a redução na geração de resíduo para a indústria siderúrgica. Além disso, por ter em sua composição química tanto  $\text{CaF}_2$  quanto  $\text{Na}_2\text{O}$  – ambos atuando como fluidificantes da escória – a utilização do Alucoque® tornou possível reduzir o teor de flúor na escória de dessulfuração, gerando assim, ao final do processo, uma escória com menores danos ambientais, já que a geração de fluoretos tem sido um limitante para processos industriais.

Com relação ao desempenho técnico do processo, verifica-se que a razão entre a massa de Alucoque® e a massa de Cal Calcítica, Dolomita, entre outros escorificantes, pode ser alterada conforme a necessidade do processo (exigência quanto ao teor de enxofre final). Isso porque a composição química da escória está diretamente relacionada tanto à capacidade termodinâmica de a escória incorporar enxofre, como a fatores cinéticos, como a formação de fases sólidas

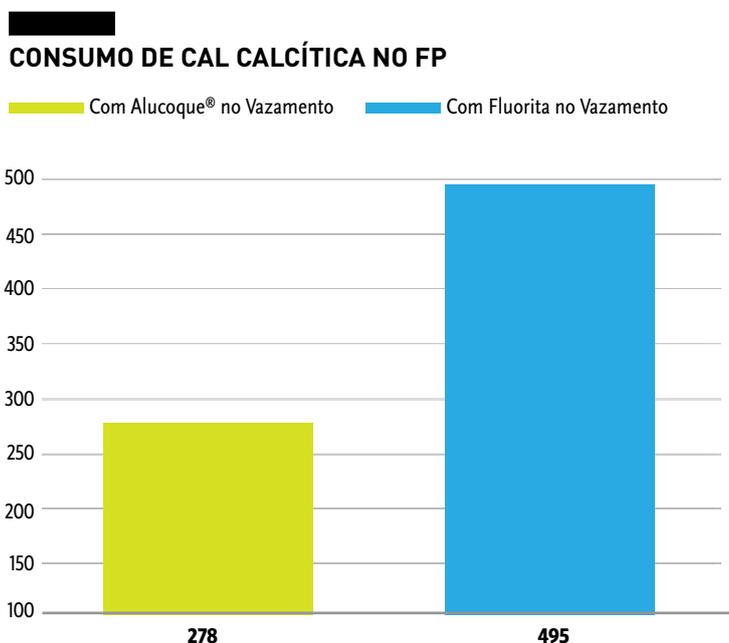


FIGURA 3(a) - Consumo de (a) Cal Calcítica (FP)

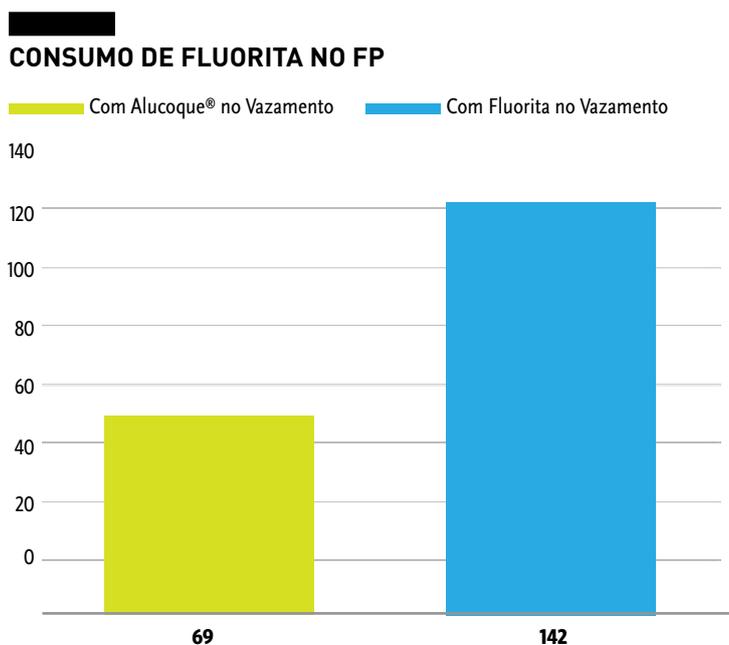


FIGURA 3(b) - Fluorita no Forno Panela (FP).

e viscosidade. Foram avaliadas várias corridas, e o comportamento da escória em relação ao grau de dessulfuração pode ser visto na figura 4. As análises são baseadas na composição química da escória, após a dessulfuração do aço. O primeiro parâmetro analisado foi a basicidade binária da escória ( $B_2 =$  razão numérica entre a  $\%CaO$  e a  $\%SiO_2$ ). Observa-se que o aumento da basicidade favorece a dessulfuração, até valores próximos a  $B_2 = 2,0$ .

A partir daí, a tendência é de se formar um patamar na curva de dessulfuração, ou até mesmo um ponto de inflexão. Isso ocorre pois, com o aumento da basicidade, aumenta-se também o  $\%CaO$  na escória e a  $aCaO$  (atividade Raoultiana do  $CaO$ ). Porém, após alcançado certo limite, mesmo que se aumente a basicidade da escória, ela já estará saturada em  $CaO$  (ou seja,  $aCaO = 1,0$ ).

Nessa condição, todo  $CaO$  adicionado a mais na escória não irá aumentar a reatividade da mistura, que já está em seu estado de maior reatividade. Daí em diante, terá início a formação de fases sólidas, cujo excesso na escória tenderá a aumentar a viscosidade e dificultar o transporte de massa de enxofre na interface metal-escória para o interior da escória, prejudicando a cinética de dessulfuração(4).

O problema pode ser reafirmado, quando se analisa a influência da  $\%CaO$  em separado. Sabe-se que o aumento significativo da dessulfuração ocorre até valores de  $CaO = 55,0\%$ . A partir daí, tende-se a formar um patamar na curva de dessulfuração.

Uma outra variável importante analisada foi a  $\%F$ . Utilizada como fluidificante da escória, a Fluorita exerce o efeito de abaixamento da temperatura de fusão. Porém, com o aumento excessivo do teor de Fluorita, pode-se ter a redução da  $aCaO$ , prejudicando o fator termodinâmico da dessulfuração.

Pelo gráfico, pode-se observar que a dessulfuração é favorecida, de forma acentuada, com teores de  $F = 4,5\%$  na escória final. Por último, a influência do teor de  $SiO_2$  é verificada.

Conforme a figura 4, observa-se que o aumento do teor de sílica prejudica a dessulfuração, uma vez que reduz a  $aCaO$ . Além disso, a sílica presente na escória pode formar silicatos de alto ponto de fusão ( $2CaO.SiO_2$  e  $3CaO.SiO_2$ ), que se encrustam na superfície das partículas de  $CaO$ , reduzindo a capacidade de reação do  $CaO$ .

O gráfico explica também as menores taxas de dessulfuração com basicidade baixa, pois, quanto menor a basicidade, maior o teor de sílica em relação ao óxido de cálcio. Observa-se ainda que o aumento de apenas 10% no teor de sílica da escória pode levar à redução de até 60%, no grau de dessulfuração ( $\%De-S$ ).

Nesse caso, os teores de sílica nas escórias estão elevados, pois todas as corridas foram desoxidadas no vazamento com ligas de  $Si$ , favorecendo a formação de sílica. Porém, mesmo com esses fatores, foi possível alcançar, em algumas corridas, até  $\%De-S = 80,0\%$ , enquanto que, na literatura, a média comumente relatada é de 45 a 65% na  $\%De-S$  (5).

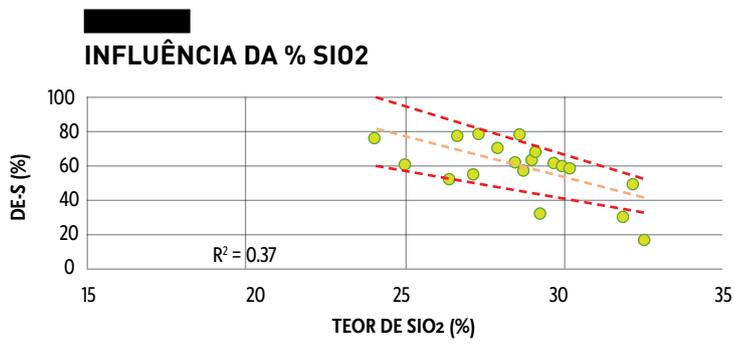
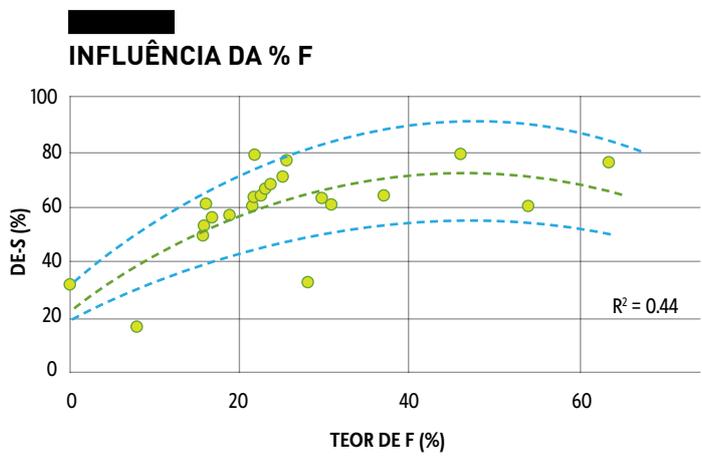
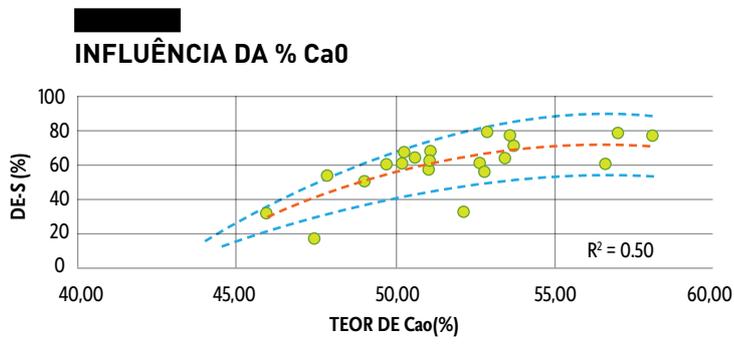
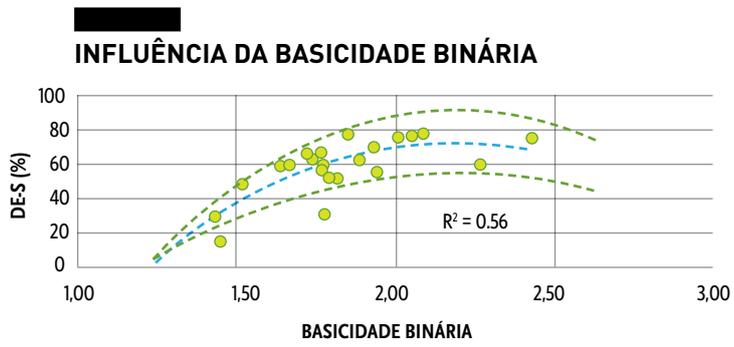


FIGURA 4 - Influência da composição química da escória na %De-S do aço com a adição de Alucoque® no vazamento do FEA.

Outra condição a ser levada em conta na dessulfuração do aço é a composição inicial do aço (antes do tratamento). Na figura 5, tem-se a relação entre a %S e a %Si no aço, com o grau de dessulfuração.

Apesar de não haver teor de correlação muito expressiva, observa-se que, quanto maior o teor de enxofre inicial no aço, maior será a dessulfuração, o que se deve ao fato de a força motriz termodinâmica, expressa pelo gradiente de concentração do enxofre, atuar para o processo.

Quanto maior a diferença entre o teor de enxofre no aço e na escória, maior será a força motriz, para que a reação prossiga até alcançar o sentido de equilíbrio entre os teores de enxofre no aço na escória. Com relação ao teor de silício inicial, apesar de o coeficiente de interação entre silício e enxofre no aço ser positivo (e o silício favorecer a dessulfuração), a correlação foi mínima entre essas duas variáveis.

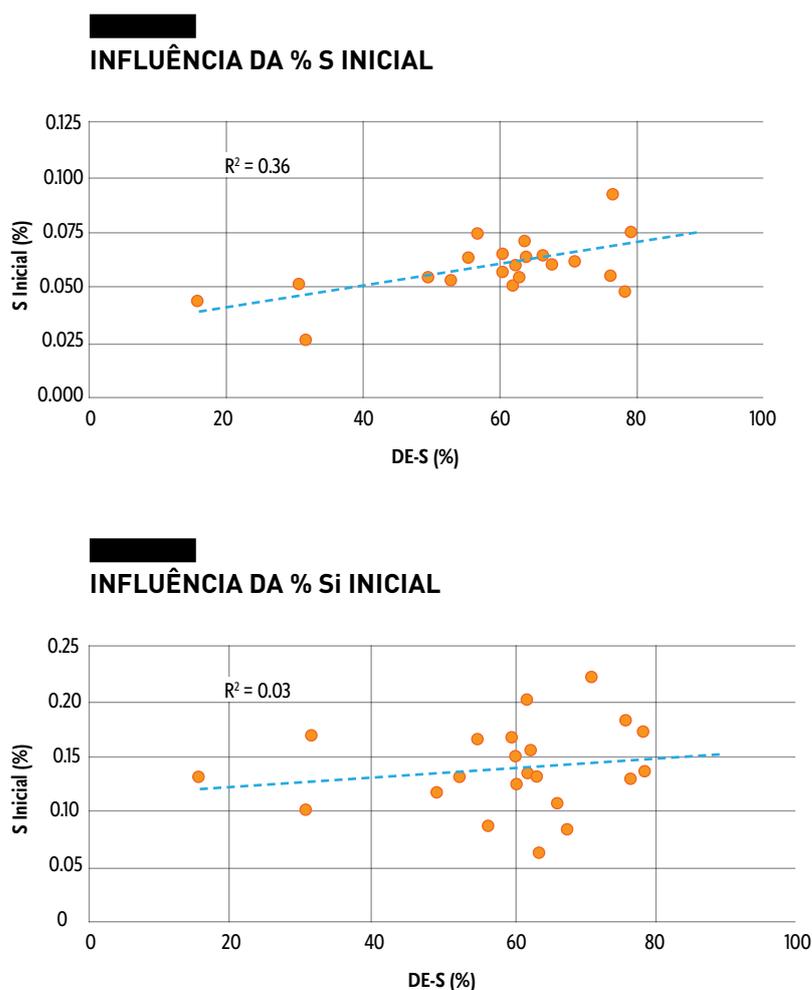


FIGURA 5 - Influência da composição química do aço na %De-S.

Termodinamicamente, ainda é possível fazer a análise de mais dois fatores, capazes de interferir significativamente na dessulfuração do aço: teor de alumínio dissolvido no aço e temperatura do aço (temperatura de processo). O teor de alumínio dissolvido no aço está relacionado com o potencial de oxigênio do aço, pois, quanto maior o teor de alumínio, menor a concentração de oxigênio no aço, favorecendo a dessulfuração.

Na figura 6, observa-se que o grau de dessulfuração aumenta exponencialmente com o aumento do teor de alumínio dissolvido no aço, ao final do processo. Por fim, verifica-se que a temperatura não obteve correlação significativa com a %De-S. Apesar de ser um intervalo de temperatura relativamente curto para análise, esperava-se que a dessulfuração fosse favorecida pelo aumento da temperatura, como teoricamente é descrito pela termodinâmica de dessulfuração do aço.

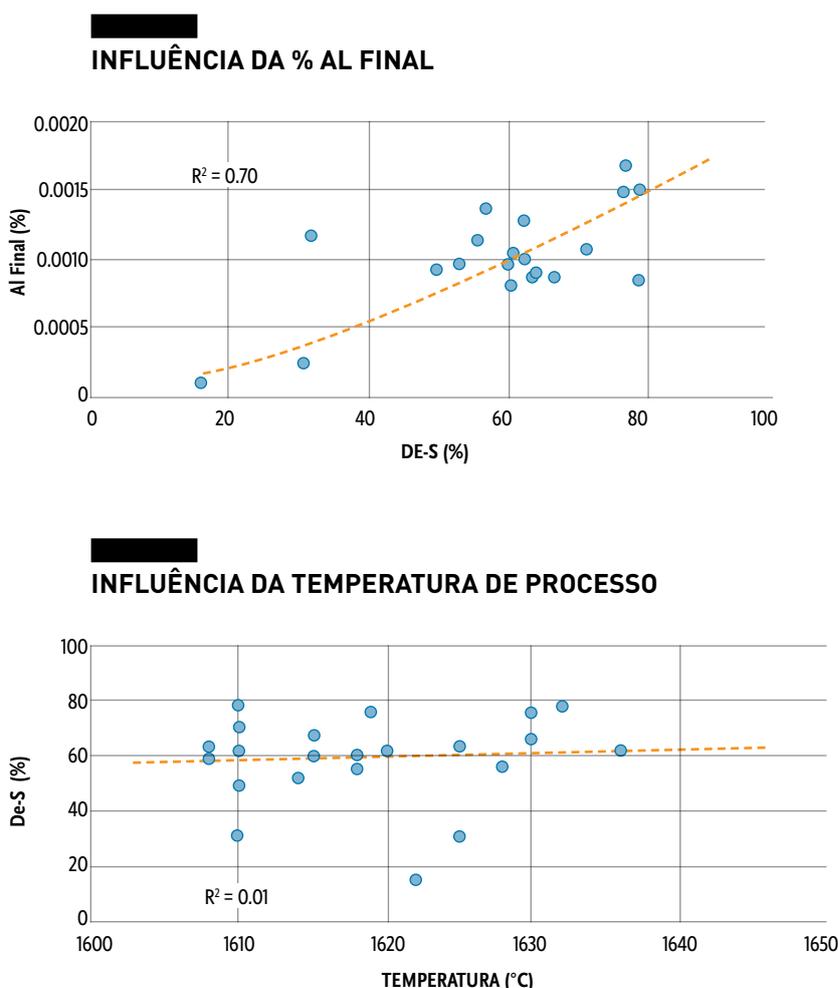


FIGURA 6 - Influência da %Al e temperatura de processo na %De-S

Analisando-se as figuras 4, 5 e 6, conclui-se que a utilização do Alucoque® como fluidificante de escória não alterou as características habituais de processo nem o comportamento da escória, efeito que também foi reportado na literatura, quando avaliada a possibilidade de utilização do SPL (Spent Pot Lining) como fluidificante de escórias de convertedor e forno elétrico a arco(6), assim como escórias de dessulfuração(5).

Adicionalmente, os testes ainda revelaram que a qualidade com relação ao *coating da panela* (proteção refratária devido à impregnação de escória na parede) não foi alterada com a utilização do Alucoque®. Também não foram observadas anomalias de *clogging nas válvulas* de vazamento do lingotamento contínuo, sendo que a análise de emissão atmosférica, utilizando um *opacímetro*, não apresentou anormalidades.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados e discutidos na seção 3 (Resultados e Discussão), pode-se inferir que o Alucoque® é uma alternativa viável tecnicamente na aplicação como fluidificante para escórias de dessulfuração do aço em panela. A obtenção e preparação do resíduo foram conduzidas pela Votorantim Metais-CBA, com a colaboração da Magnesita S.A. e do Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, nas simulações computacionais, e a Votorantim Siderurgia, nos testes industriais.

O resultado desta pesquisa é inédito e gerou uma *Patente Verde de âmbito nacional e internacional*: “Process for obtaining fluidifying composition for use in steel, fluxing composition for use in steel and use of such composition”. Essa iniciativa propõe uma solução técnica, ambiental e economicamente viável para destinação de um subproduto da Votorantim Metais-CBA, agregando valores para as partes envolvidas (Fornecedor, Cliente e Meio Ambiente).

## CONCLUSÃO

O ALUCOQUE® se mostrou uma alternativa viável tecnicamente para aplicação como fluidificante, pois apresentou composição química desejável à aplicação sugerida (fluidificante de escória para dessulfuração do aço). As simulações computacionais mostraram que o Alucoque® pode substituir a fluorita, na proporção de 1:1.

Os testes industriais foram capazes de mostrar a capacidade do resíduo de atuar na dessulfuração do aço, sendo observada a redução do consumo de Cal Calcítica e Fluorita, na correção da escória no Forno Panela.

Além disso, o comportamento das variáveis do processo – como composição da escória, composição inicial do aço, teor de alumínio dissolvido e temperatura de processo – foram mapeadas para que se possa atuar na melhoria contínua das características de processo. Grande parte das variáveis se comportou de forma semelhante ao descrito

na literatura atual e observado em processos industriais.

Os testes industriais revelaram que a qualidade com relação ao *coating da panela* não foi alterada com a utilização do Alucoque®. Também não foram observadas anomalias de *clogging nas válvulas* de vazamento do lingotamento contínuo. A análise de emissão atmosférica, utilizando um *opacímetro*, não apresentou anormalidades.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Brasileira do Alumínio e sua liderança por apoiar o projeto e acreditar na sustentabilidade e solidez desta proposta, em especial a Diretoria de Tecnologia e time de Tecnologia da Fundição e Transformação Plástica, a Equipe da Salas Fornos, e time de Reforma de Fornos - CBA pelo trabalho em time, presteza de sempre e parceria em busca dos melhores resultados para a Companhia. Nosso obrigada também a equipe de Meio Ambiente – CBA pelo respaldo técnico ambiental, e engajamento com a iniciativa. À Magnesita S.A e ao Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, pelas simulações computacionais. À Votorantim Siderurgia, e Arcelor Mittal no apoio com os testes industriais, e ao IEL e CNPq pelo apoio financeiro ao bolsista do Programa Inova Talentos, que deu sequência nesta proposta de inovação.

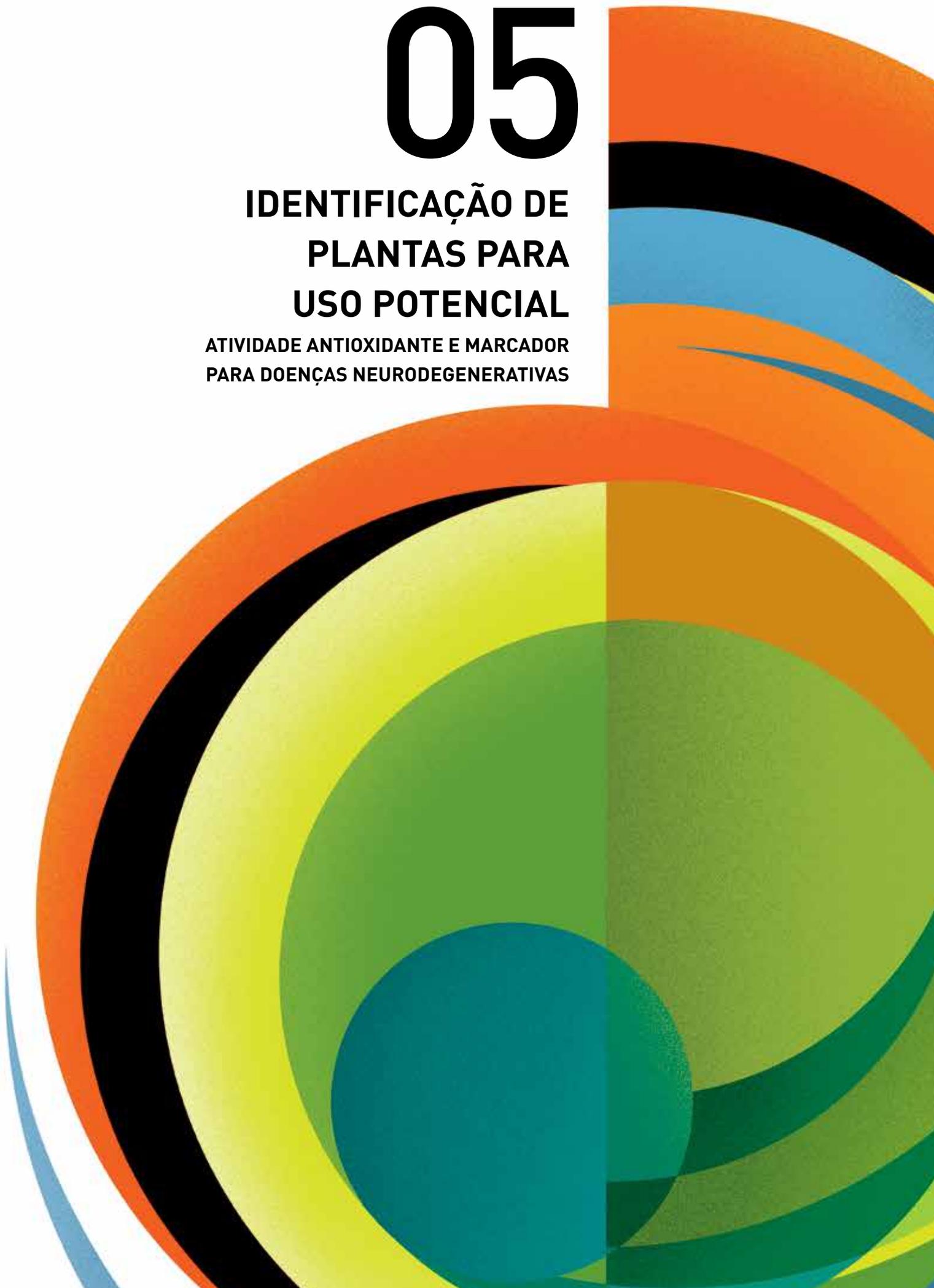
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **Apostila Técnica de Operação das Salas Fornos.** Acervo interno da VM-CBA.
- (2) HOLYWEEL, G.; RAYMOND, B. **An overview of useful methods to treat, recover or recycling spent potlining.** Journal of the Minerals, JOM.2013;65(11): 1441-1451.
- (3) NITA, P.S; BUTNARIU, I.CONSTANTIN, N. **The efficiency at industrial scale of a thermodynamic model for desulphurization of aluminium killed steels using slags in the system CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>.** Revista de Metalurgia. 2010;46(1): 5-14.
- (4) NIEDRINGHAUS, J. C.; FRUEHAN, R. J. **Reaction mechanism for the CaO-Al and CaO-CaF<sub>2</sub> desulfurization of carbon-saturated iron.** B.1988;19(2): 261-268.
- (5) HEPUT, T; ARDELEAN, E; SOCALICI, A; MAK-SAY, S; GAVANESCU, A. **Steel desulphurization with syntetic slag.** Revista de Metalurgia. 2007;43(1): 42-49
- (6) NAFZIGER, R.H; ELGER, G.W. **Fluorspar substitutes in steelmaking. New Steelmaking Technology from the Bureau Mines** – Proceedings of an Open Industry Briefing Held in Association with the Electric Furnace Conference. Chicago. December, 1987: 23-27.
- (7) AGRAWAL, A; SAHU, K.K; PANDEY, B.D. **Solid waste management in non-ferrous industries in India.** Resoucer, Conservation and Recycling. 2004;42: 99-120.
- (8) MEIRELLES, B.G.; FERNANDES, R.C. **Process for obtaining fluidifying composition for use in steel, fluxing composition for use in steel and use of such composition.** Patent in Brazil and abroad, 2013.

# 05

## IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS PARA USO POTENCIAL

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E MARCADOR  
PARA DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS





---

## MARIA ADELAIDE GUIMARÃES

— *Phytobios Pesquisa Desenvolvimento e Inovação LTDA*  
Grupo Centroflora, Parnaíba, Piauí, Brasil.

— *Doutoranda em Biotecnologia*  
Universidade Federal do Piauí

---

## CRISTINA DISLICH ROPKE

— *Phytobios Pesquisa Desenvolvimento e Inovação LTDA*  
Grupo Centroflora, Parnaíba, Piauí, Brasil.

## JÉSSICA PIRES FARIAS

— *Universidade Federal do Piauí,*  
Campus Ministro Reis Veloso, Parnaíba, Piauí, Brasil

A primeira autora é doutoranda em Biotecnologia pela Universidade Federal do Piauí e foi bolsista Inova Talentos, dentro da empresa Centroflora. Após o término da bolsa, foi contratada como Analista de Pesquisa da Phytobios, empresa pertencente ao Grupo Centroflora. Implementou o laboratório de Inovação em Produtos Naturais (Lipron) da empresa Phytobios, na cidade de Parnaíba e hoje exerce o cargo de supervisora da filial Phytobios Nordeste, supervisionando todas as atividades da filial e do LIPRON.



*Phytobios*

---

✉ [aguimaraes@phytobios.com.br](mailto:aguimaraes@phytobios.com.br)



Rua Desembargador Freitas, 1198,  
Bairro Nova Parnaíba  
CEP: 64.218-490,  
Parnaíba – Piauí



(86) 9 9952-3758  
(86) 9 9958-3703

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | produtos naturais; biodiversidade; extratos; antioxidante

---

O presente trabalho trata da identificação de espécies de plantas que apresentam atividade antioxidante e que podem ser utilizadas como marcador para doenças neurodegenerativas. Para isso, foram realizadas expedições na caatinga, cerrado e mata atlântica, Os extratos foram produzidos mediante a utilização de etanol 96%, e a atividade antioxidante foi medida através do teste DPPH. Foram produzidos 155 extratos, 66 dos quais apresentaram pronunciada atividade antioxidante. Com o desenvolvimento desta pesquisa, começamos a formatar a “Biblioteca de Produtos Naturais”. Uma vez formatada, realizaremos ensaios biológicos preditivos para doenças neurodegenerativas. Entendemos que essa é uma forma de preservar e valorizar a biodiversidade brasileira, além de gerar protótipos para o desenvolvimento de novos fármacos, que poderão levar à melhoria na qualidade de vida e saúde da população que sofre com doenças neurodegenerativas.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | natural products; biodiversity; extracts; antioxidant

---

*In this work we identified species of plants that have antioxidant activity and can be used as a marker for neurodegenerative diseases. To this was accomplished expeditions in the Caatinga, Cerrado and Atlantic Forest and the extracts were produced using 96% ethanol. The antioxidant activity was measured by the DPPH test. Were produced 155 extracts, and 66 showed pronounced antioxidant activity. With the development of this research, we begin to format the “Natural Products Library.” Once formatted, will perform predictive biological tests for neurodegenerative diseases. This is a way to preserve and enhance the Brazilian biodiversity, and generate prototypes for development of new drugs that may lead a better quality of life and health of the population suffering from neurodegenerative diseases.*

## INTRODUÇÃO

Embora radicais livres existam no corpo humano, por ação metabólica normal, o mecanismo de defesa antioxidante não consegue neutralizar completamente a presença desses elementos. Assim, tem-se observado o envolvimento cada vez maior do oxigênio ativo e dos radicais livres com algumas patologias humanas, tais como câncer, envelhecimento, arterosclerose, além de complicações vasculares e diabetes (Chen e Yen, 2007; Carochi e Ferreira, 2013).

Nesse contexto, os antioxidantes, responsáveis pela inibição e redução de radicais livres nas células (Liochev, 2013), ganharam importância, por conta de seu envolvimento positivo como promotores de saúde, combatendo problemas cardiovasculares como a aterosclerose, permitindo o tratamento de muitas formas de câncer e inibindo o processo de envelhecimento (Packer, 1999). Muitos compostos antioxidantes, que aparecem em fontes de plantas naturais, foram identificados como varredores de radicais livres (Duh, 1998).

Plantas medicinais com propriedades antioxidantes são usadas há milhares de anos na medicina oriental. Muitas delas – em especial as que contêm flavonoides e outros compostos polifenólicos – possuem atividade antioxidante, com potencial função protetora no tratamento de doenças degenerativas, mediadas por estresse oxidativo (Dornas, 2007). Por esse motivo, maior atenção tem

sido dada aos antioxidantes naturais, que podem servir na medicina preventiva como proteção do organismo humano contra os radicais livres, além de retardar o progresso de muitas doenças crônicas (Krishnaiah et al., 2011).

Atualmente muitos fármacos são derivados, direta ou indiretamente, de substâncias produzidas por plantas. As plantas medicinais são principalmente destinadas à obtenção de substâncias puras e produção de fitoterápicos, com larga utilização na medicina popular (Silva, 2010). O uso de produtos naturais, principalmente plantas, como fonte de novas drogas vem-se mostrando significativo para o tratamento de doenças humanas (Newman, 2012).

O Brasil possui cerca de 20% do total de espécies do planeta, o que nos proporciona a maior biodiversidade do mundo. Apesar do grande número de espécies, apenas 0,4 % da flora brasileira apresenta relatos de investigação (Brasil, 2012).

Esse imenso patrimônio genético tem valor econômico-estratégico inestimável no campo do desenvolvimento de novos medicamentos. (Calixto, 2003).

Esta pesquisa tem como objetivo identificar plantas provenientes da região do cerrado e/ou mata atlântica, que apresentem características potenciais e atividade antioxidante para uso como marcadores em doenças neurodegenerativas, tais como câncer e estresse oxidativo. A escassez de tecnologias farmacêuticas, baseadas na biodiversidade brasileira, e a opção da população de baixa

renda por produtos obtidos de fontes naturais fazem com que esta pesquisa seja de grande importância para o desenvolvimento acessível e sustentável de tecnologias na área de doenças degenerativas, relacionadas ao estresse oxidativo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### COLETA DAS AMOSTRAS

Foi realizado levantamento bibliográfico das potenciais espécies botânicas a serem utilizadas no projeto, levando em consideração plantas provenientes da caatinga, cerrado e da mata atlântica. A partir desse levantamento, tornou-se possível selecionar áreas para expedições e coleta.

A primeira expedição foi realizada em abril de 2014, dentro da área de pesquisa florestal do Grupo Centroflora, na cidade de Botucatu-SP, local cuja vegetação pode ser considerada como de transição entre cerrado e mata atlântica. A segunda foi realizada em setembro de 2014 em duas fazendas na cidade de Caxingó-Piauí, região onde predomina a caatinga. Por último, a terceira expedição foi realizada em março de 2015, na cidade de Iporanga-São Paulo, cuja vegetação é característica de mata atlântica.

Para coleta e obtenção das amostras vegetais, foi utilizado GPS para orientação e demarcação geográfica do local de coleta, tesoura de poda, facão e podador de galhos para coleta manual das amostras com pro-

priedades relacionadas ao projeto. As plantas escolhidas foram demarcadas por placas presas aos caules. Após a coleta, dois secadores a gás, com capacidade simultânea de secagem de 12 amostras, foram utilizados para secagem de folhas, cascas, sementes, raiz, frutos e parte aérea.

### LAUDOS DE IDENTIFICAÇÃO BOTÂNICA

Durante as coletas, foram produzidas exsiccatas de todas as espécies para realização de estudo taxonômico e produção de laudo, com a identificação final das espécies amostradas.

### PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS EXTRATOS

O processo para a obtenção dos extratos baseou-se no fluxograma descrito na Figura 1.



FIGURA 1 Fluxograma geral do processo de produção.

No processo de extração, a solução extratora utilizada foi o etanol 96%. Para cada extrato, foram utilizados 300 g de planta moída para 1,5 L de solução extratora (proporção 1:5). Depois de secas e moídas, algumas plantas apresentaram quantidade inferior a 300 g, casos em que foi utilizado todo o material obtido na moagem para o processo de extração e utilizada a mesma proporção 1:5 (material vegetal: etanol). Cada extração foi realizada durante duas horas a 40°C +/- 5°C, com homogeneização ocasional.

Após o período de extração, os produtos foram filtrados e encaminhados para o processo de concentração. Cada extrato drenado foi concentrado em Rotavapor® R-215 Büch a uma temperatura de 45°C +/- 5°C. Posteriormente, os extratos concentrados foram encaminhados para a secagem, após a qual foram vertidos em uma cápsula de porcelana e secos em banho-maria, a 40°C +/- 5°C, com homogeneização ocasional.

### TESTE DE DPPH PARA DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

O teste toma por base a redução do radical 2,2'-difênil-1-picrilhidrazil (DPPH), cuja absorção máxima é de 517nm. Através do decaimento da absorbância, pode-se avaliar a presença de compostos capazes de doar H- ou sequestrar o radical, o que permite calcular a quantidade de antioxidante gasta para reduzir 50% do DPPH, após o equilíbrio da reação.

O método é considerado fácil, rápido, estável e útil para análise de substâncias puras e amostras complexas (Sucupira et al., 2012).

A solução de DPPH foi preparada a 100 µM e solubilizada em metanol: água, sendo a solução de trolox preparada com a concentração inicial de 1mg/mL. Foram feitas cinco diferentes diluições de cada extrato, aplicado

#### MONTAGEM DA PLACA PARA TESTE DE DPPH

EXTRATO		DPPH
EXTRATO	50 µL do extrato	150 µL
BRANCO	200 µL MeOH:água	-
TROLOX	50 µL	150 µL
CONTROLE	50 µL MeOH:água	150 µL

TABELA 1 - Montagem da placa para teste de DPPH

na placa conforme tabela abaixo. Após duas horas em ausência de luz, foi realizada a leitura (517nm) em espectrofotômetro.

## RESULTADOS

### COLETA DAS AMOSTRAS

Foram realizadas expedições para coleta de plantas em três cidades diferentes, de forma que conseguíssemos abranger os biomas do cerrado, caatinga e mata atlântica (Figura 2).

As amostras a serem coletadas abrangem as seguintes famílias de espécies vegetais: *Combretaceae*, *Lauraceae*, *Proteaceae*, *Rutaceae*, *Anacardiaceae*, *Mimosaceae*, *Peraceae*, *Myrtaceae*, *Bixaceae*, *Rosaceae*, *Cactaceae*, *Moraceae*, *Phytolaccaceae*, *Solanaceae*, *Myrsinaceae*, *Fabaceae*, *Euphorbiaceae*, *Rutaceae*, *Burseraceae*, *Sapotaceae*, *Asclepiadaceae*/*Apocynaceae*, *Marantaceae*, *Zinziberaceae*, *Boraginaceae*, *Hypoxidaceae*, *Agavaceae*, *Asteraceae*, *Acanthaceae*, *Betulaceae*, *Aceraceae*/*Sapindaceae* / *Hippocastanaceae*, *Meliaceae*.

Ao todo, foram coletadas 155 amostras vegetais de 103 espécies diferentes para a triagem antioxidante, incluindo cascas, folhas, frutos, flores, raiz e parte aérea.

A escolha das plantas foi feita com a ajuda de pessoal especializado da área de botânica e cada uma das espécies coletadas teve sua localização registrada, via GPS. As plantas coletadas na mata atlântica foram secas em secadores a gás, imediatamente após a coleta, haja vista ser inviável a secagem ao sol, por conta do clima úmido. Para as

plantas coletadas no cerrado e na caatinga, a secagem foi feita ao sol, aproveitando-se o clima quente da região.

Após a coleta e secagem, as amostras do material vegetal foram transportadas para laboratório situado em Parnaíba (PI), onde foram moídas e passaram pelo processo de extração. As exsiccatas de cada espécie foram depositadas em herbário fiel depositário credenciado.



[A]



[B]



[C]

FIGURA 2 - (A) Área de coleta em Botucatu-SP; (B) Área de coleta em Iporanga-SP; (C) Área de coleta em Caxingó-PI.  
Fotos: arquivo pessoal

### PRODUÇÃO DOS EXTRATOS

Os extratos etanólicos apresentaram-se graxos, em decorrência da mistura com o solvente de extração, exigindo, por isso, maior tempo de secagem. Alguns extratos apresentaram aspecto mais líquido, provavelmente pelo maior teor de água de algumas plantas.

Mesmo partindo de igual quantidade e proporção de material vegetal e solução extratora, o rendimento final dos extratos varia bastante, em função da espécie de planta colhida.

Com esse projeto, foi possível organizar uma biblioteca de extratos vegetais, a partir de espécies de diferentes biomas, que certamente contêm uma riqueza de moléculas de importância tanto para a área farmacêutica, como para a área cosmética e alimentícia.

Todos estão organizados em códigos – para facilitar o manuseio durante a etapa de fracionamento e testes futuros – mas, por motivos de política interna da empresa, não estamos autorizados a publicar o nome das espécies dos extratos produzidos.

### ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Dos 155 extratos testados, foi observado que 66 deles apresentaram atividade antioxidante, de acordo com o teste de DPPH. Os resultados qualitativos e quantitativos do teste antioxidante também não podem ser publicados, por políticas internas da empresa.

### DISCUSSÃO

O Brasil contém grande parte da biodiversidade mundial, incluindo flora e fauna, em

diferentes biomas naturais. Devido a sua extensão territorial e diversidade geográfica e climática, nosso país abriga uma imensa diversidade biológica, o que faz dele o principal entre os países detentores de megadiversidade do planeta, possuindo entre 15% a 20% das 1,5 milhão de espécies descritas na Terra.

Temos a flora mais rica do planeta, com cerca de 55 mil espécies de plantas superiores (aproximadamente 22% do total mundial); 524 espécies de mamíferos, 1.677 de aves, 517 de anfíbios e 2.657 de peixes (Lewinsohn e Prado, 2000)

Este potencial da biodiversidade, valorizado pelos meios acadêmico e industrial, é capaz de gerar benefícios econômicos cada vez maiores, uma vez que pode ser fonte de matéria-prima para a medicina e diversos setores da indústria, como o farmacêutico, alimentício, químico e de aditivos – isso sem falar na agricultura e horticultura (Ferro et al., 2006).

O moderno processo de descoberta de novos fármacos tem início com o desenvolvimento e validação de bioensaios preditivos de eficácia clínica. Nesses ensaios, são testadas milhares de substâncias químicas, organizadas em bibliotecas de extratos e frações, formatadas adequadamente para a identificação de substâncias bioativas (*hits*), capazes de interferir com os mecanismos moleculares de determinada doença.

A descoberta de *hits* requer a capacidade de testar uma grande quantidade de substâncias (sintéticas e ou naturais) contra um mesmo ensaio biológico. Para isso, é essen-

cial que essas substâncias estejam armazenadas em microplacas de 96 ou 384 poços; cada um deles contendo uma única substância ou fração de determinado extrato natural. A organização destas coleções – também chamadas de bibliotecas – no formato de microplacas viabiliza a realização de campanhas HTS (*high throughput screening*) e HCS (*high content screening*).

Importante ressaltar que o sucesso de uma campanha de *screening* é extremamente dependente da qualidade das bibliotecas químicas e seu diferencial em termos de diversidade química, novidade e competitividade. Por esse motivo, foram realizadas, durante o projeto, expedições para coleta de espécies de diferentes biomas, a fim de obtermos uma biblioteca de extratos bastante diversificada, com a maior quantidade possível de compostos químicos.

Em geral, *hits* podem ser originários de substâncias isoladas de extratos naturais ou sintetizadas artificialmente. Em particular, as bibliotecas de produtos naturais trazem maior diversidade química e, ainda, substâncias inéditas.

Produtos naturais representam excelentes fontes de variabilidade química, servindo de protótipos para o desenvolvimento de novos fármacos. Por exemplo, cerca de metade dos fármacos desenvolvidos e 60% dos medicamentos anticâncer disponíveis são oriundos de produtos naturais ou derivados (Newman and Cragg, 2007, Cragg et al., 2009).

Com o desenvolvimento desta pesquisa, começamos a formatar a “Biblioteca de Pro-

duto Naturais”, para ensaios em sistema HTS e HCS. Os extratos foram acessados para o preparo de frações enriquecidas e eventual isolamento de substâncias.

Essas amostras passarão por uma etapa de formatação em microplacas, cujo formato final será compatível com ensaios HTS e HCS. Uma vez formatada a biblioteca química, realizaremos ensaios biológicos preditivos de eficácia clínica para doenças humanas de alta incidência e importância nacional (como as doenças neurodegenerativas), a fim de verificar a presença de potenciais moléculas bioativas.

Os bioensaios já foram implementados, ou encontram-se em fase de implementação, no centro de *screening* do Laboratório Nacional de Biociências (LNBio, CNPEM). As campanhas HTS e HCS iniciais, a serem realizadas como parte do desenvolvimento deste aditivo, indicarão a presença de moléculas bioativas com potencialidade para o desenvolvimento em novos fármacos, obtidos a partir de modelos de doenças humanas importantes no contexto nacional e mundial, como câncer, doenças negligenciadas, infecciosas, cardiovasculares, metabólicas, neurológicas, de pele, além de ensaios de toxicidade aguda em células.

A elaboração e estabelecimento desta biblioteca química de produtos naturais visa contribuir com a pesquisa científica, colaborar com a catalogação, além da preservação da Biodiversidade Brasileira, com enfoque no uso sustentável e racional dos ativos naturais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento de todo este trabalho, hoje nos tornamos especialistas em projetos de bioprospecção e pioneiros nessa área, temos alto grau de inovação, domínio e processo próprio de coleta, estabilização do material e logística, o que assegura qualidade e rastreabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. *Práticas integrativas e complementares: plantas medicinais e fitoterapia na Atenção Básica*/Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica Brasília: Ministério da Saúde, 2012.
- CALIXTO, J. B. *Biodiversidade como fonte de medicamentos*. Ciência e Cultura, v. 55, n. 3, 2003.
- CAROCGO, M. FERREIRA, I.C.F.R. *A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives*. Food and Chemical Toxicology, v.51, p.15-25, 2013.
- CHEN, HUI-YIN.; YEN, GOW-CHIN. *Antioxidant activity and free radical-scavenging capacity of extracts from guava (Psidium guajava L.) leaves*. Food Chemistry, v. 101, p. 686–694, 2007.
- Cragg GM, Grothaus PG, Newman DJ. *Impact of natural products on developing new anti-cancer agents*. Chemical Reviews, v. 109, p. 3012–3043, 2009.
- DORNAS, W. C., et al. *Flavonóides: potencial terapêutico no estresse oxidativo*. Rev. Ciênc. Farm. Básica Apl., v. 28, n. 3, p. 241, 2007.
- Duh, P. D. *Antioxidant activity of burdock (Arctium lappa Linne) : its scavenging effect on free radical and active oxygen*. Journal of the American Oil Chemist's Society, v.75, p. 455–465, 1998.
- FERRO, A.F.P.; BONACELLI, M.B.M.; ASSAD, A.L.D. *Oportunidades tecnológicas e estratégias concorrenciais de gestão ambiental: o uso sustentável da biodiversidade brasileira*. Gestão e Produção, v.13, n.3, p.489-501, 2006.
- D. Krishnaiah, S. Rosalam, N. Rajesh. *A review of the antioxidant potential of medicinal plant species*. Food and Bioproducts Processing, v.89, pp. 217–233, 2011.
- Lewinsohn, T.M. e P.I. Prado. *Biodiversidade Brasileira: Síntese do Conhecimento Atual. Relatório Técnico final do projeto BRA97G31 "Avaliação do estado de conhecimento da diversidade biológica do Brasil"*, Ministério do Meio Ambiente SBF e PNUD, Brasília. 127 pp. (não publicado), 2000.
- LIOCHEV, S.I. *Reactive Oxygen species and the free radicals theory of aging*. Free Radical Biology and Medicine, New York, v.60,p.1-4, 2013.
- NEWMAN, D.J. ; CRAGG, G.M. *Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010*. Journal of Natural Products., v. 75, n.3, p. 311-335, 2012.
- Packer, L. *The antioxidant miracle – Your complete plan for total health and healing*. New York: Wiley. 1999.
- SILVA, Penildo. *Farmacologia*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kongan, 2010.
- SUCUPIRA N.R.; SILVA, A.B.; PEREIRA G.; COSTA J.N. *Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos*. UNOPAR Científica-Ciências Biológicas e da Saúde, v.14, n.4, p.263-269.2012.

# 06

## **ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROTEÇÃO CONTRA REVERSÃO DE POLARIDADE**

**PARA APLICAÇÕES AUTOMOTIVAS DE  
ELEVADA DENSIDADE DE POTÊNCIA**



---

## **GUILHERME FUZATO**

– *Doutorando em Engenharia Elétrica*

– *Mestre em Engenharia Elétrica*

*Universidade de São Paulo (USP)*

*Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)*

– *Professor*

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Estado de São Paulo (IFSP), campus Campinas.*

Possui experiência na área de eletrônica de potência, com diversos artigos publicados em periódicos e congressos internacionais e nacionais.

✉ [guilherme.fuzato@gmail.com](mailto:guilherme.fuzato@gmail.com)



Av. Comendador Aladino Selmi, s/nº –  
Bairro Amarais. Prédio 4 do CTI Renato Archer  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia de São Paulo Campus Campinas



(35) 99822-5230

---

## **ISAAC GENTINI**

– *Engenheiro de desenvolvimento de produto*

*Robert Bosch Ltda., Campinas, SP, Brasil*

## **FERNANDO JUNIOR DE OLIVEIRA**

– *Líder do Departamento de Gerência*

*de Inovação e Tecnologia*

*Robert Bosch Ltda., Campinas, SP, Brasil*



# **BOSCH**

---

✉ [isaac.gentini@br.bosch.com](mailto:isaac.gentini@br.bosch.com)

✉ [fernando.oliveira5@br.bosch.com](mailto:fernando.oliveira5@br.bosch.com)



Robert Bosch. DGS-EC/ENE-LA.  
Via Anhanguera, Km 98, 13065-900, Campinas - SP.



(19) 2103 2034 / 2103 3395.

## RESUMO

---

**# PALAVRAS CHAVE** | Reversão de Polaridade de Bateria, Eletrônica Automotiva, Eletrônica de Potência

---

As normas de montadoras de veículos leves definem que os dispositivos eletrônicos embarcados em veículos devem satisfazer critérios de proteção contra reversão de polaridade de bateria. Entre as diversas técnicas presentes na literatura, o uso de dispositivos de estado sólido permite desenvolver produtos menores, em contraste com as formas de proteção eletromecânicas. Por outro lado, o aquecimento do dispositivo semicondutor é fator limitante, relacionado à capacidade de condução de corrente e ao tempo de operação do produto. Neste contexto, este trabalho aborda a análise de técnicas de proteção contra inversão de polaridade de bateria, com dispositivos de estado sólido para aplicações automotivas. Os resultados de simulação apresentados na análise são comprovados por meio de resultados experimentais.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | Reversal Polarity Protection, Automotive Electronics, Power Electronics

---

*The standards of light vehicles manufacturers define that in-vehicle embedded electronic devices must provide protection against battery polarity reversal. There are many techniques in the literature and in patent registries associated to protection against battery polarity reversal, many of them are based on solid state devices. The use of solid state devices in such applications, allows the design of more compact products when compared to electromechanical devices. On the other hand, the heat dissipated in the semiconductor devices is a limiting factor in the product development, which is related to the maximum amount of current and operation time that the product can withstand. In this context, this paper addresses an analysis of protection against battery polarity reversal techniques implemented in solid state devices for automotive applications. Additionally, the simulation results presented in the analysis are supported by experimental results.*

## INTRODUÇÃO

A evolução continua dos dispositivos eletrônicos automotivos implica a melhoria de performance, associada à diminuição das dimensões físicas dos dispositivos eletrônicos automotivos. Por isso, cada vez mais os componentes eletromecânicos têm sido substituídos por componentes eletrônicos de estado sólido (Ferre e Fontanilles, 2007) (Ohletz e Schulze, 2007).

Um dos componentes mais utilizados em circuitos eletrônicos automotivos são os transistores de efeito de campo (MOSFET). Os MOSFETs são caracterizados por apresentar um diodo parasita, conectado entre os terminais fonte e dreno. Assim, no caso de inversão de polaridade de bateria, o diodo parasita é polarizado diretamente, causando condução de corrente de modo indevido no circuito eletrônico. Para assegurar que o dispositivo eletrônico automotivo não se comporte de modo indesejado na situação de inversão de polaridade de bateria, é indispensável o uso de técnicas e circuitos de proteção contra inversão de polaridade.

Nesse contexto, existem diversas normas internacionais e específicas de montadoras de veículos, que objetivam garantir a segurança dos usuários e a integridade dos dispositivos. Uma das funcionalidades asseguradas pelas normas veiculares diz respeito à capacidade do dispositivo eletrônico de suportar inversão de polaridade de bateria. Nessa condição, não é permitido o risco à vida dos indi-

víduos envolvidos (Isurin e Cook, 2014).

Em um automóvel, a inversão de polaridade pode ocorrer devido à conexão incorreta da bateria para alimentar o circuito eletrônico ou devido à transientes de carga que resultem em uma tensão reversa por um período de tempo (Biagi et al., 2014). Neste último caso, a proteção contra inversão de polaridade permite que o dispositivo eletrônico continue operando corretamente após decorrido o transiente de carga – o que é importante, caso o veículo esteja em movimento.

De modo geral, o procedimento dos testes aplicados aos circuitos eletrônicos automotivos visa assegurar que os dispositivos eletrônicos se comportem de maneira segura para um determinado nível de tensão reversa, associado a um tempo de duração. Nesse sentido, a tabela 1 mostra as características de testes de inversão de polaridade de bateria, especificados na norma ISO-16750-2 (ISO, 2012) e nas normas específicas das principais montadoras presentes no Brasil, como a Volkswagen, Ford (Ford, 2009), Hyundai e Kia (Hyundai e KIA, 2008), Fiat (Fiat, 2007), General Motors (General Motors, 2012), Renault e Nissan (Renault e Nissan, 2005) e PSA (PSA, 2012).

A fim de que os requisitos de todas as normas sejam satisfeitos, o dispositivo eletrônico em teste deve ser capaz de suportar uma tensão reversa mínima de  $-18V \pm 0,2V$  por pelo menos 5 minutos, como mostra a tabela 1.

O uso de componentes de estado sólido para implementar a proteção contra inversão de polaridade, principalmente em aplicações

**ESPECIFICAÇÃO DE TENSÃO REVERSA E TEMPO DOS TESTES APLICADOS AOS DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS AUTOMOTIVOS**

	FABRICANTE 1	FABRICANTE 2	FABRICANTE 3	FABRICANTE 4	FABRICANTE 5	FABRICANTE 6	FABRICANTE 7	ISO 16750-2
<b>TEMPO</b>	60s	≥60s	5min	5min	2min	2min±12s	1min	60s±6s
<b>TENSÃO REVERSA</b>	-14±IV	-14±0,7V	-18V±0,2V	Mesma da bateria	-13,5V	-14V±0,2V	-14V	-14V

TABELA 1 - Especificação de tensão reversa e tempo dos testes aplicados aos dispositivos eletrônicos automotivos.

de elevada capacidade de corrente com componentes de montagem em superfície (SMD), torna o projeto térmico do dispositivo eletrônico complexo. Este artigo apresenta uma análise de técnicas para proteção contra inversão de polaridade com dispositivo de estado sólido. Os argumentos teóricos apresentados serão validados por meio de resultados experimentais e de simulação.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na seção 2 são apresentados as principais topologias de proteção contra inversão de polaridade presentes na literatura; na seção 3 são discutidos aspectos concernentes ao método de análise; na seção 4 são apresentados os resultados de simulações e experimentais e por fim são realizadas as conclusões sobre os principais aspectos abordados.

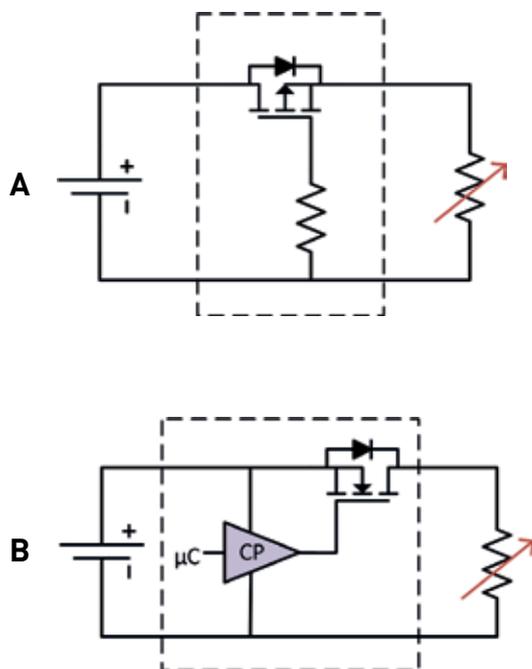
**TÉCNICAS DE PROTEÇÃO CONTRA INVERSÃO DE POLARIDADE**

O método mais simples de se implementar a proteção contra inversão de polaridade eletronicamente é utilizando um diodo semicondutor em série com o circuito a ser protegido. Porém, em aplicações de corrente elevada, as perdas no componente semicondutor se tornam elevadas devido à queda de tensão de 0,3 a 0,7 V, inerente ao diodo semicondutor.

Uma forma mais eficiente de implementar a proteção contra inversão de polaridade consiste em utilizar um MOSFET do tipo N ou P em série com o circuito a ser protegido (Schleisser et al., 2013)(Desrochers, 2014), como mostra a figura 1. Diferentemente dos diodos, neste tipo de circuito de proteção

as perdas são menores devido à baixa resistência  $R_{DS(on)}$  dos MOSFETs na região de saturação.

Na configuração da figura 1a, quando a bateria é conectada na polaridade correta, o MOSFET é automaticamente polarizado. Por outro lado, na configuração da figura 1b, há a necessidade do uso de um circuito adicional de charge pump (CP) para elevar a tensão de base do MOSFET, quando a polaridade da bateria está correta. Nos circuitos da figura 1, fica evidente que, ao inverter a polaridade da tensão de entrada, o MOSFET irá bloquear a condução de corrente.



**FIGURA 1**  
Circuitos de proteção contra reversão de polaridade com MOSFETs.

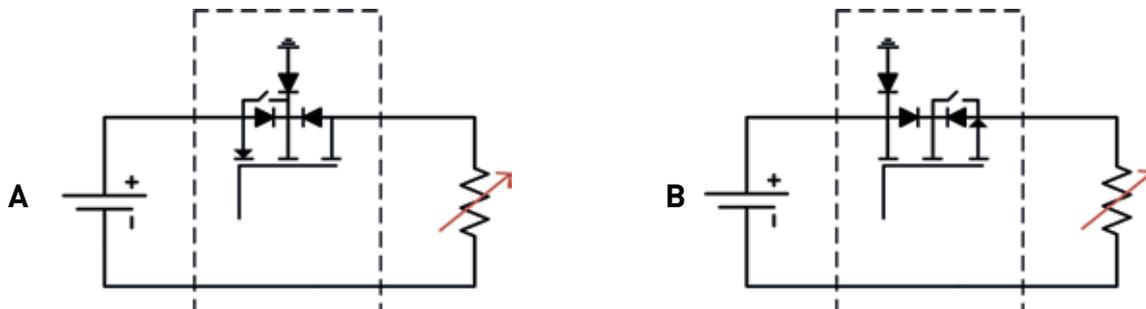
a MOSFET do tipo P.  
b MOSFET do tipo N.

Embora o circuito utilizando o MOSFET do tipo P seja mais simples, do ponto de vista comercial, o MOSFET do tipo N é mais barato e apresenta valores comerciais de  $R_{ds(on)}$  inferiores ao MOSFET do tipo P. No entanto, o circuito de charge pump aumenta a complexidade da solução.

Em (Auer, Hein e Köppl, 2012), ao invés de bloquear a corrente que flui pelo circuito, os autores propõem acionar os MOSFETs do circuito eletrônico durante o curto circuito, no diodo parasita. Essa solução permite reduzir a dissipação térmica no MOSFET, pois a corrente flui tanto pelo diodo parasita quanto pelo caminho de baixa resistência, formada entre o dreno e a fonte do transistor. Porém, a solução não impede que a carga seja acionada indevidamente, o que é um fator crítico para determinadas aplicações.

Outra alternativa consiste em acionar o substrato de um dispositivo semicondutor MOS, dependendo da polaridade da tensão entre o dreno e a fonte (Biagi et al., 2014) (Fanucci et al., 2010) (Saponara et al., 2013). A figura 2 ilustra um HV-PMOS e um HV-N-MOS, os quais possuem essa possibilidade de operação. Conforme pode ser visualizado na figura 2, o acionamento do substrato do MOSFET permite bloquear ou não um dos diodos parasitas da estrutura MOS, o que possibilita a proteção contra inversão de polaridade.

Contudo, a proteção contra inversão de polaridade baseada em diodos apresenta uma quantidade de perdas elevada para aplicações de alta corrente. Em contrapartida, a

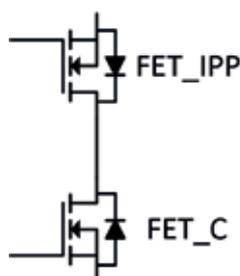


**FIGURA 2**  
Circuitos de proteção contra reversão de polaridade com MOSFETs de substrato chaveado.  
a HV-PMOS.  
b HV-NMOS.

técnica de utilização do substrato chaveado é tecnologia ainda não consolidada, não havendo componentes disponíveis no mercado para aplicações de elevada corrente. Assim, em um primeiro instante opta-se por utilizar a solução baseada em MOSFETs do tipo N.

## MÉTODO

A aplicação de proteção contra reversão de polaridade será abordada neste artigo baseando-se em uma aplicação automotiva, na qual é necessário fornecer uma corrente de até 80 A para quatro cargas resistivas (20 A para cada carga). Para garantir a proteção contra reversão de polaridade, opta-se por utilizar um MOSFET do tipo N em série com o transistor, que realiza a comutação das cargas resistivas. Adicionalmente, utiliza-se um MOSFET do tipo N na configuração back-to-back, ilustrada na figura 3, com o MOSFET (FET\_IPP) responsável por proteger contra inversão de polaridade. Além de assegurar a proteção contra reversão de polaridade, a configuração back-to-back visa garantir que a tensão da bateria seja fornecida aos transistores que realizam a comutação das cargas (FET\_C) apenas no momento desejado.



**FIGURA 3**  
MOSFETs do tipo N na configuração back-to-back.

Utilizando a configuração back-to-back, pode-se implementar a proteção contra inversão de polaridade nesta aplicação de três formas diferentes: uma configuração back-to-back por carga, uma configuração back-to-back por dupla de carga ou uma configuração back-to-back compartilhada pelas quatro cargas. Assim, de modo genérico, a potência total dissipada por condução nos transistores pode ser equacionada da seguinte forma (1).

$$P_{tot}(n, m) = nR_{ds(on)} \frac{I_{tot}^2}{n^2} + 2mR_{ds(on)} \frac{I_{tot}^2}{m^2} = \left( \frac{1}{n} + \frac{2}{m} \right) R_{ds(on)} I_{tot}^2$$

Onde  $n$  é o número total de transistores para comutar todas as cargas,  $m$  é o número de pares de transistores na configuração back-to-back e  $I_{tot}$  a corrente total de entrada do circuito. A área ocupada na PCB também é um fator limitante, que pode ser equacionada de acordo com a equação (2).

$$A_{tot}(n, m) = (n + 2m)A_{mos}$$

Embora o aumento do número de transistores propicie uma diminuição nas perdas elétricas, há o aumento inerente da área ocupada pelos componentes, além do aumento do custo na compra dos componentes. Assim, com base nas equações (1) e (2), podem-se propor as três diferentes soluções da tabela 2, comparadas na figura 4.

#### POSSÍVEIS SOLUÇÕES

SOLUÇÃO	$m$	$n$
1	1	4
2	2	4
3	4	4

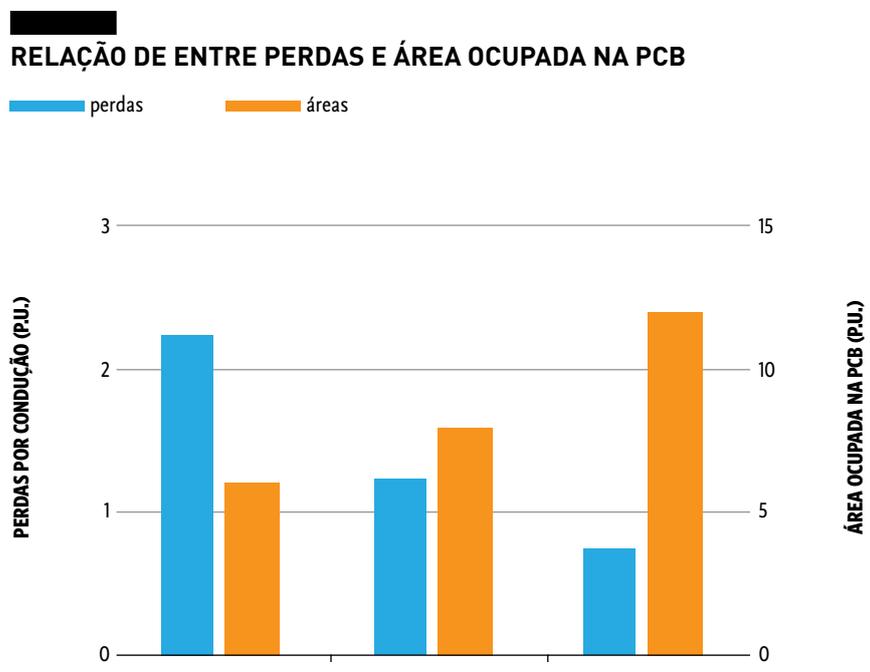


FIGURA 4 - Relação de entre perdas e área ocupada na PCB.

Ao analisar a figura 4, pode-se concluir que a solução 2 permite minimizar a área ocupada na PCB, ao mesmo tempo em que as perdas também são minimizadas. Como resultado, tem-se o circuito com proteção contra reversão de polaridade, na figura 5.

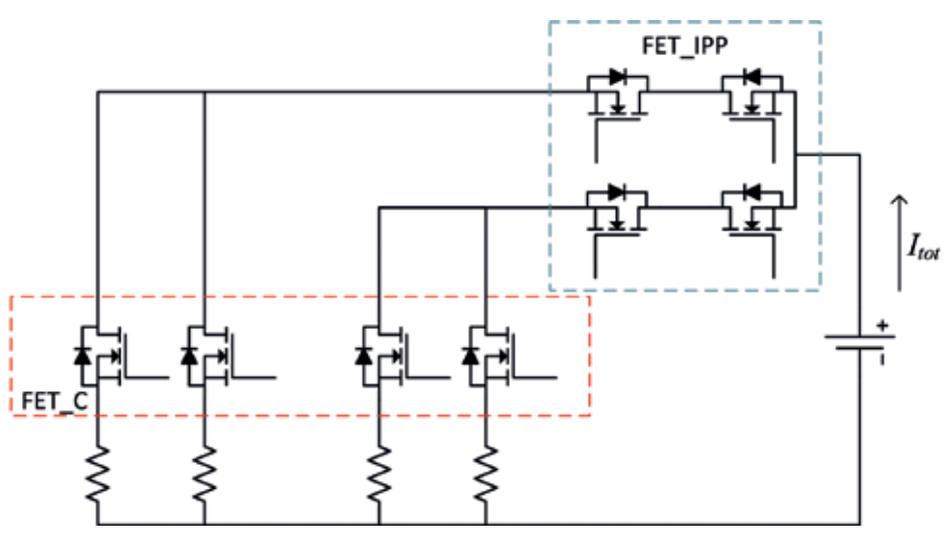


FIGURA 5 - Circuito com proteção contra reversão de polaridade.

No ambiente automotivo, alguns produtos não necessitam operar de modo contínuo. Nesses casos, dependendo da intermitência e do tempo de operação podem-se otimizar os gastos com cabeamento e dissipadores, considerando-se um projeto com base na temperatura limite atingida pelos componentes do produto. Para isso, faz-se necessário realizar simulações térmicas transientes do produto, antes de iniciar a fase de testes experimentais e, posteriormente, de produção.

A complexidade do comportamento térmico do sistema em questão torna necessário o uso de softwares de elementos finitos, para realizar o projeto da placa de circuito impresso. Na simulação em elementos finitos são consideradas as características térmicas de cada material que compõe o dispositivo eletrônicos, como mostra a equação (3).

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \nabla T) = Q$$

Onde  $\rho$  é a densidade,  $C_p$  é a capacidade térmica e  $k$  é a condutividade térmica, cujos valores são característicos de cada material. Além disso,  $T$  é a temperatura e  $Q$  representa a fonte de calor.

## RESULTADOS

As simulações e os resultados experimentais são apresentados nesta seção para dar suporte aos argumentos teóricos apresentados

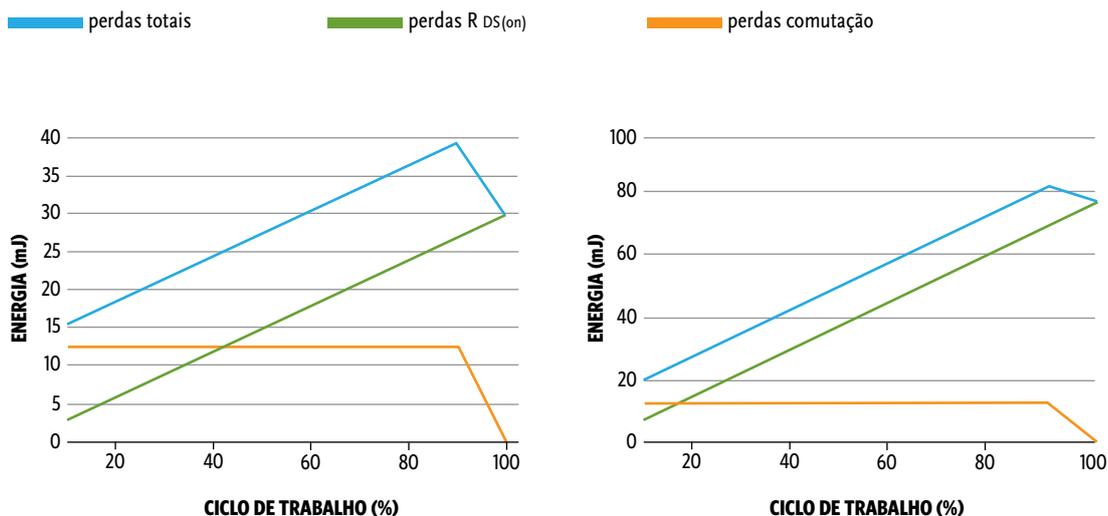
nas seções anteriores. Em dispositivos baseados em eletrônica de potência com densidade de potência elevada, o projeto térmico é fator determinante para garantir que não haja danos durante a operação, além de permitir a redução de custos na produção do produto. Existem duas principais fontes de perdas nos dispositivos semicondutores a ser consideradas nesta aplicação: as perdas por comutação e as perdas por condução.

As perdas por condução estão relacionadas à resistência  $R_{DS(on)}$  do MOSFET, sendo proporcionais ao aumento da temperatura e inversamente proporcionais à tensão de acionamento ( $V_{GS}$ ). Já as perdas por comutação estão relacionadas à transição entre os dois estados, ligado e desligado. Um menor tempo de transição resulta em menores perdas de comutação, porém, em aplicações automotivas, a velocidade de comutação é limitada pelas emissões eletromagnéticas (EMI) permitidas por normas de montadoras (Blank et al., 2015).

A figura 6 ilustra de modo comparativo, através de resultados experimentais, as perdas de comutação e de condução de um transistor (frio e quente) para a aplicação automotiva que será considerada neste artigo. A frequência de comutação (32 Hz) e o tempo que o transistor leva para transitar entre os estados ligado e desligado, assim como desligado e ligado, são baixas para satisfazer os requisitos de emissão eletromagnética.

Devido às características de  $R_{ds(on)}$  por temperatura do MOSFET, as perdas chegam a dobrar de valor, ao se compararem as duas

**RESULTADOS EXPERIMENTAIS COMPARANDO AS PERDAS NO MOSFET UTILIZADO QUENTE E FRIO PARA UM PERÍODO DE CHAVEAMENTO.**



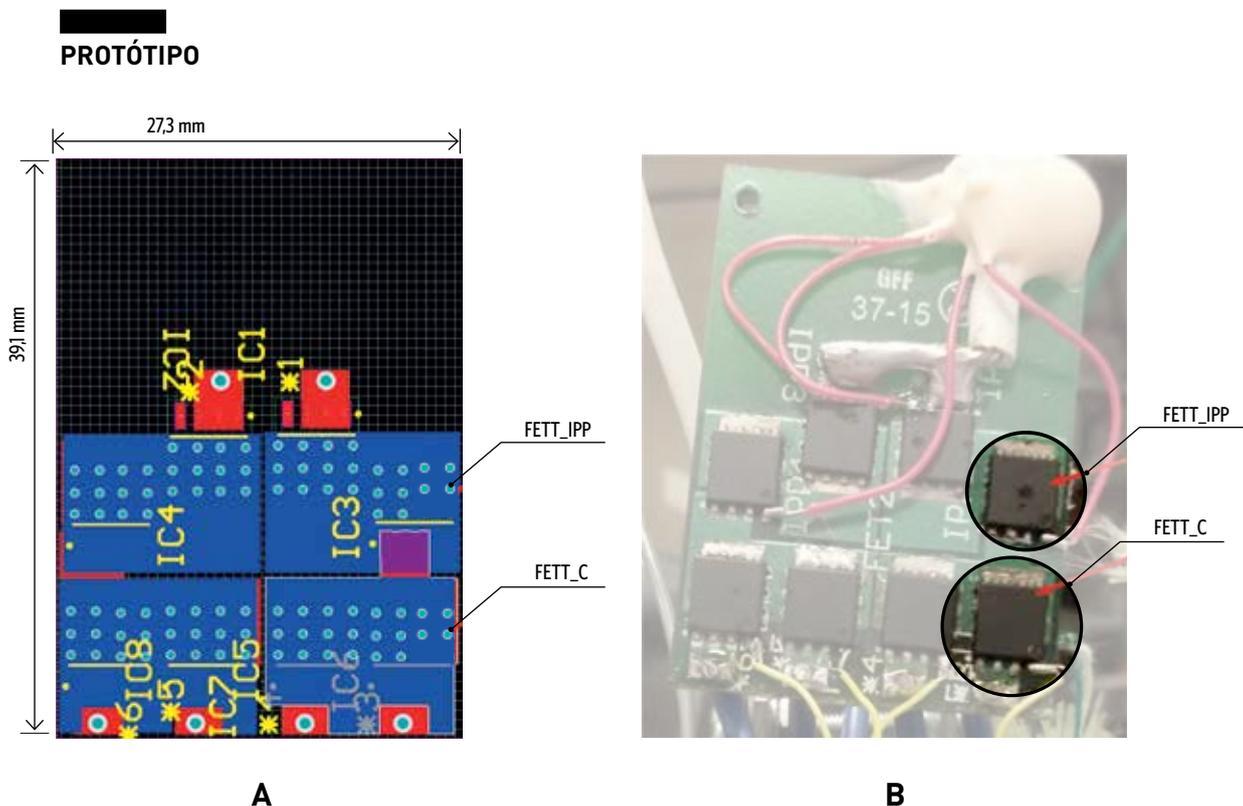
**FIGURA 6**  
Resultados experimentais comparando as perdas o MOSFET utilizado quente e frio para um período de chaveamento.

situações da figura 6. Pode-se ainda dizer que as perdas por comutação apresentam valores de perdas significativas, principalmente na situação em que o transistor está frio.

Os dados de perdas obtidos com os resultados da figura 6 serão utilizados como base para a estimativa das perdas a ser consideradas na simulação térmica do protótipo mostrado na figura 7.

A figura 7 mostra a placa de circuito impresso, gerada a partir do circuito da figura 5.

Ao utilizar componentes SMD, a placa de circuito impresso atua como dissipador de calor, razão pela qual são utilizadas algumas técnicas no projeto da placa de circuito impresso para diminuir a resistência térmica entre os transistores e o ar. O primeiro passo consiste em maximizar a área de cobre da placa de circuito impresso conectada à área de dissipação do transistor (dreno do MOSFET). Por isso, na placa do circuito interno da figura 7a, tanto a parte superior como a



**FIGURA 7 - Protótipo.**  
a Projeto da PCB .  
b Protótipo real.

parte inferior da placa de circuito impresso estão em contato com os transistores. A conexão elétrica e térmica, em ambos os lados da placa de circuito impresso, é realizada pelas vias térmicas de cobre, que interligam ambos os lados. O maior número de vias permite melhorar a condutividade térmica entre os dois lados da placa de circuito impresso.

Como mostra a figura 7b, o acionamento dos transistores foi realizado por um circuito externo, adicionalmente, a medida de temperatura foi realizada de modo redundante, utilizando um sensor de temperatura na parte

posterior da placa de circuito impresso, além de uma câmera termográfica.

As simulações dos transientes térmicos foram realizadas utilizando o software COMSOL Multiphysics®, como resultado, as imagens da figura 8 mostram de modo comparativo os resultados da distribuição térmica obtidos na simulação (figura 8a) e nos testes experimentais (figura 8b). Nas duas imagens, fica evidente que os quatro transistores da parte superior da PCB apresentaram aquecimento mais elevado, quando comparado aos transistores da parte inferior. Isso se deve ao

## IMAGENS DOS RESULTADOS.

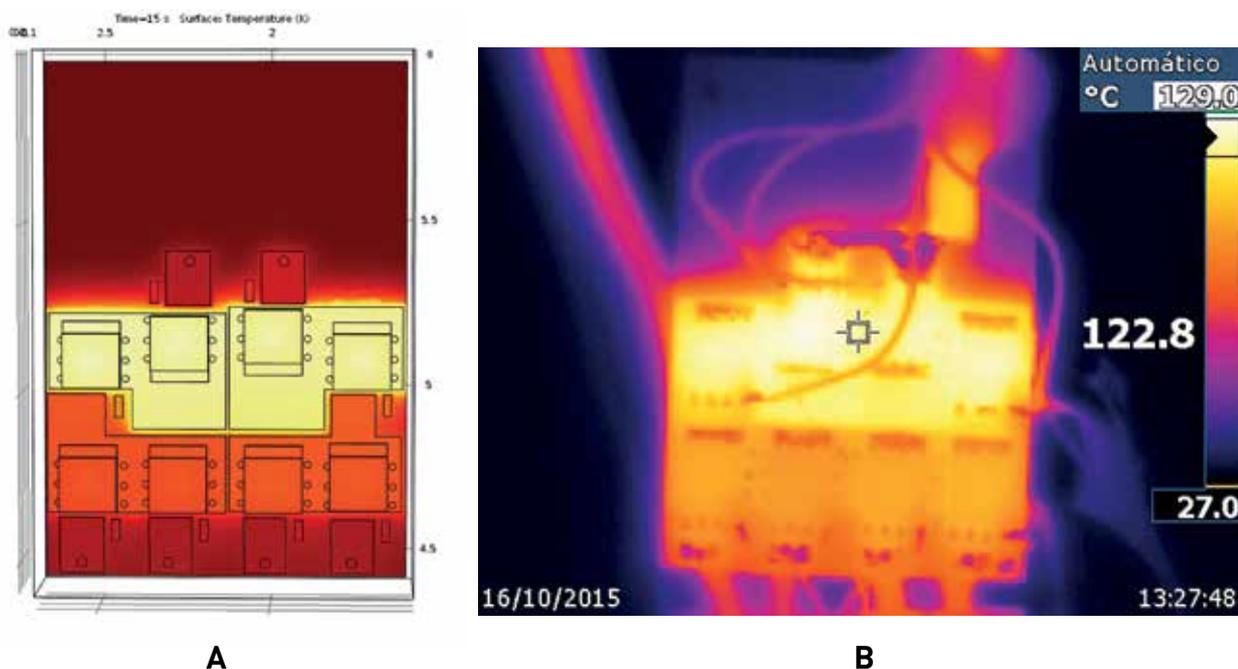


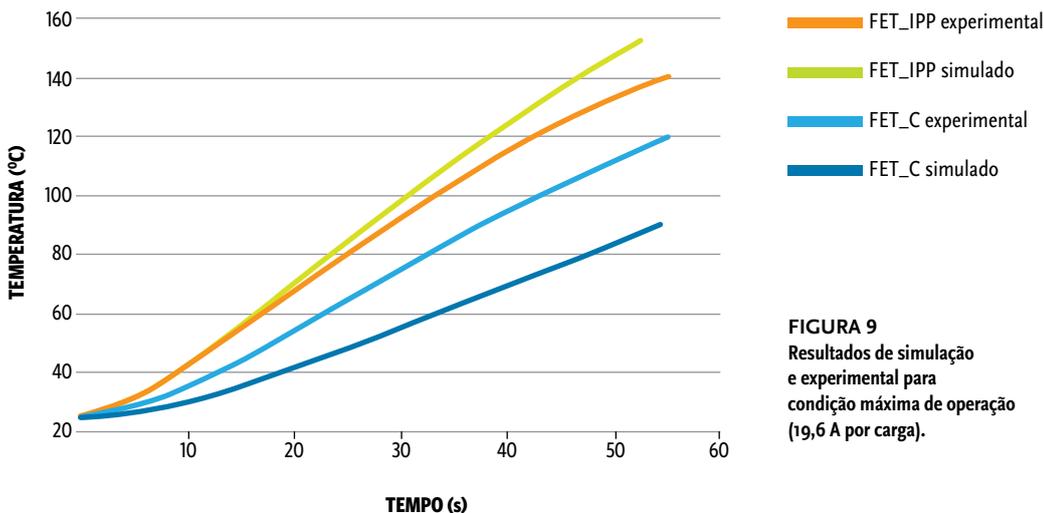
FIGURA 8 - Imagens dos resultados.  
 a Imagem térmica da simulação.  
 b Foto térmica durante realização dos resultados experimentais.

fato de que a corrente que flui pelos transistores da parte superior (FET\_IPP) é o dobro em relação aos transistores da parte inferior da PCB (FET\_C).

De modo complementar, a figura 9 apresenta o comportamento da temperatura nos resultados de simulação e experimental. Como o circuito é simétrico, as medidas de temperatura foram realizadas em um transistor do circuito de proteção contra reversão de polaridade (FET\_IPP) e em um transistor que realiza a comutação das cargas (FET\_C).

Ainda na figura 9, as linhas pontilhadas representam os dados obtidos pela simulação, enquanto as linhas sólidas mostram os resultados experimentais. As linhas na cor verde estão relacionadas ao FET\_IPP, enquanto as linhas na cor azul com o FET\_C. Para os resultados da figura 9, considerou-se a situação extrema de operação do protótipo, ou seja a situação na qual há uma demanda de 19,6 A por carga. Nessas condições, a potência estimada dissipada nos transistores FET\_IPP é de cerca de 3 W, enquanto a potência dissipada nos transistores FET\_C é de 0,91 W.

## RESULTADOS DE SIMULAÇÃO E EXPERIMENTAL

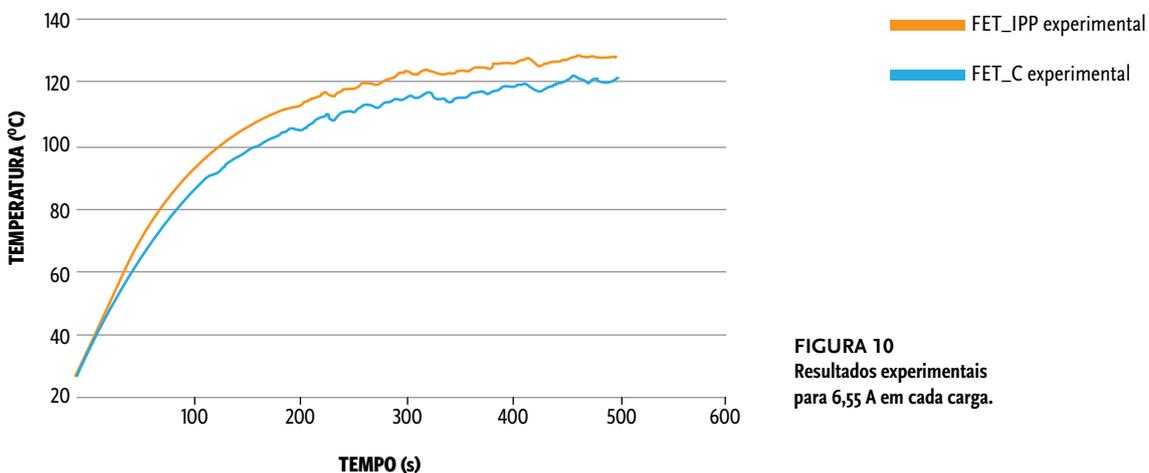


**FIGURA 9**  
Resultados de simulação e experimental para condição máxima de operação (19,6 A por carga).

Considerando que a temperatura máxima permitida nos transistores utilizados é de 175 °C, a figura 9 permite concluir que é possível operar o dispositivo eletrônico por cerca de 55s, admitindo-se uma margem de segurança.

Por outro lado, a diminuição da carga para cerca de 6,55 A permite operar o dispositivo por tempo indefinido, como mostra o resultado experimental da figura 10.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS



**FIGURA 10**  
Resultados experimentais para 6,55 A em cada carga.

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma análise de técnicas de proteção contra reversão de polaridade para aplicações em sistemas eletrônicos automotivos de alta capacidade de corrente. O desenvolvimento de produtos eletrônicos em larga escala, cada vez menores e com elevada densidade de potência, torna o projeto térmico um desafio a ser superado pelos projetistas durante o desenvolvimento do produto. Por isso, este trabalho abordou uma análise térmica detalhada, com simulações e resultados experimentais para desenvolver uma placa de circuito impresso que maximize a troca de calor entre os transistores e o ambiente.

Na análise realizada neste artigo, optou-se por abordar a proteção contra reversão de polaridade, utilizando dois MOSFETs do tipo N na configuração back-to-back. Além de implementar a proteção contra reversão de polaridade, essa configuração permite garantir que a tensão seja liberada ao circuito responsável pela comutação das cargas, apenas quando desejado.

Para otimizar os gastos na produção do dispositivo eletrônico, o tempo de operação é limitado pela temperatura dos componentes do circuito. Para o circuito desenvolvido, foi possível obter um tempo de operação máximo de cerca de 55 s na condição de carga máxima (19,6 A), enquanto que, em uma condição de carga média (6,55 A), o tempo de operação do dispositivo é indefinido. Como proposta de trabalhos futuros, pode-

-se realizar uma análise propondo estruturas de dissipadores de calor SMD, que operam conectados à placa de circuito impresso, com o intuito de possibilitar maior tempo de operação do dispositivo, mantendo as dimensões físicas do protótipo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUER, F.; HEIN, K.-D.; KÖPPL, B. *Reverse polarity protection for Mosfets*, Pat. DE 102009057587 B4, 2012.
- BIAGI, E. et al. *Universal output stage with reverse polarity protection for automotive applications2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*. Anais...IEEE, jun. 2014Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epico3/wrapper.htm?arnumber=6872110>>
- BLANK, M. et al. *Digital Slew Rate and S-Shape Control for Smart Power Switches to Reduce EMI Generation*. IEEE Transactions on Power Electronics, v. 30, n. 9, p. 5170–5180, 2015.
- DESROCHERS, K. L. *Reverse battery cutoff circuit for an actuator or the like, US Pat.* 8780513 B2, 2014.
- FANUCCI, L. et al. *An high voltage CMOS voltage regulator for automotive alternators with programmable functionalities and full reverse polarity capability*. 2010 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE 2010), p. 526–531, 2010.
- FERRE, A.; FONTANILLES, J. *Devices and microsystems in the automotive industry Conference on Electron Devices, 2005 Spanish*. Anais...IEEE, 2007Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epico3/wrapper.htm?arnumber=1504294>>

FIAT. *Dispositivi elettrici ed elettronici per autoveicoli*, 990110, 2007.

FORD. *Electromagnetic Compability Specification For Electrical/Electronic Components and Subsystems, EMC-CS-2009.1*, 2009.

GENERAL MOTORS. *Component Environmental Test Plan, GMW3172*, 2012.

HYUNDAI E KIA. *Electromagnetic compability specification, ES 96200-00*, 2008.

ISO. ISO 16750-2, Road vehicles - *Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment* - Part 2: Electrical loads, 2012.

ISURIN, A.; COOK, A. *Philosophy of Topology and Components Selection for Cost and Performance in Automotive Converters. Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2014* IEEE, p. 1–5, 2014.

OHLETZ, M. J.; SCHULZE, F. *Requirements for design, qualification and production of integrated sensor interface circuits for high quality automotive applications 2007 2nd International Workshop on Advances in Sensors and Interface*. Anais...IEEE, 2007 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epico3/wrapper.htm?arnumber=4420030>>

PSA. *Environment specifications for electrical and electronic equipments electrical characteristics, B21 7110*, 2012.

RENAULT E NISSAN. *Resistance to electrical disturbances and electromagnetic compatibility instructions concerning electrical, electronic and pyrotechnic equipment*, 2005.

SAPONARA, S. et al. *HV-CMOS design and characterization of a smart rotor coil driver for automotive alternators*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 60, n. 6, p. 2309–2317, 2013.

SCHLEISSER, D. et al. *Repetitive avalanche of automotive MOSFETs 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*. Anais... IEEE, set. 2013 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epico3/wrapper.htm?arnumber=6631934>>

VOLKSWAGEN. *Elektrische und elektronische Komponenten in Kraftfahrzeugen bis 3,5 t* (Allgemeine Anforderungen, Prüfbedingungen und Prüfungen), VW 80000, 2013.

# 07

**OTDR COMO DIFERENCIAL  
COMPETITIVO NO MERCADO  
DE TELECOMUNICAÇÕES**



---

## **LUIZ FERNANDO M. SANTANA**

— *Engenheiro Eletricista*  
*Universidade de Brasília*

— *Especialização em System Engineering*  
*Universidade da Califórnia – Riverside.*

— *Especialização em dispositivos embarcados e hardware*

---

**ROSANI M. F. DE AQUINO ÁBIAS DE OLIVEIRA COSTA**

**ALICE FERREIRA LOPES**

SOBRE O AUTOR: Ex-bolsista do Programa Inova Talentos. Engenheiro eletricista, formado pela Universidade de Brasília com especialização em System Engineering pela Universidade da Califórnia – Riverside. Especialização em dispositivos embarcados e hardware. Atua na área de desenvolvimento de hardware/firmware e engenharia industrial.



---

✉ [santana.luiz.fm@gmail.com](mailto:santana.luiz.fm@gmail.com)

📍  
SMPW Quadra 20, Conjunto 4,  
Lote 1, Casa E - Brasília - DF - Brasil  
CEP 71745-004

☎  
(61) 98402-7208

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | OTDR; refletômetro óptico; telecomunicações; inovação

---

Este texto apresenta estudo sobre os impactos do uso de equipamentos reflectómetros óticos no domínio do tempo na instalação e manutenção de redes de comunicação. São apresentadas as necessidades e as informações sobre como o equipamento atua, na busca de solucionar as necessidades das equipes das operadoras. As aplicações dessa tecnologia no mercado de telecomunicações são apresentadas, assim como os principais benefícios para o desenvolvimento tecnológico nacional e os impactos de sua utilização no mercado, agregando valor, no desenvolvimento de políticas de inclusão digital e no desenvolvimento econômico, de maneira direta e indireta.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | OTDR; optical reflectometer; telecommunications; innovation

---

*This article briefly presents a study about the impacts from the use of optical reflectometer in time domain in services of installation and maintenance of optical network. The needs are presented and how the equipment acts trying to solve all the needs of the operations teams. The appliances for this technology in to the telecommunications market are presented as well as the main benefits of a national technology development and the impacts of its use in the market raising value, into digital inclusion politics development and into the economic development directly and indirectly.*

## INTRODUÇÃO AO PROBLEMA

O conceito de comunicações óticas baseia-se no uso de feixes de luz, tipicamente em faixas de frequência infravermelho, confinadas em um meio denominado fibra ótica. Essa luz carrega uma informação modulada, que será demodulada pelo receptor que, por sua vez, fará a transdução dessa energia ótica em informação.

As comunicações que utilizam fibras óticas são capazes de cobrir maiores distâncias com maior capacidade de bits por segundo (bps), se comparadas aos meios de comunicação que utilizam pares metálicos. Entretanto, o custo de instalação de uma infraestrutura baseada em comunicação ótica é elevado.

Fibras óticas são mangueiras de luz (De Campos Valadares & Magalhães Moreira, 1998) que utilizam a reflexão total para guiar a luz de uma extremidade a outra. Em uma das extremidades, é colocado um fotodiodo laser e na outra é colocado um fotodetector. O laser faz a transdução de sinais elétricos em sinais de luz, enquanto o fotodetector faz o processo inverso.

Devido à capacidade de transmissão e às distâncias alcançadas, fibras óticas são muito utilizadas para conexões de *Data Centers* de grandes usuários – como governos e bancos, entre outros. Atualmente, a tecnologia tem ficado mais barata e está começando a chegar aos usuários de menor porte. Em um mundo conectado e globalizado, os investimentos em fibra são cada vez mais necessá-

rios, não apenas para o Brasil (Lobo & Costa, 2015) como também para o resto do mundo. (Malone, 2015)

Por meio da inovação, é possível desenvolver novas formas e alternativas em processos e produtos. O investimento e o apoio às políticas de inovação por meio de programas, como o Inova Talentos, dá às organizações, voltadas à prestação de serviços de comunicação e tecnologia, a possibilidade de melhoria da produtividade e desenvolvimento em seus processos – e, conseqüentemente, em sua oferta, o que, diante das incertezas do mercado, oscilações e desafios para a iniciativa privada – e mais especificamente, considerando a indústria nacional – é o grande pilar de apoio para geração de competitividade. (Calmanovici, 2011).

Parte do desafio da instalação desse tipo de tecnologia advém do monitoramento das condições da fibra. Existem algumas maneiras de fazê-lo, sendo uma delas a utilização de propriedades de reflexão ótica. As duas principais propriedades são a reflexão de Fresnel e o espalhamento de Rayleigh. (Crespo de Mattos, 2005) Utilizando esses dois fenômenos, é possível construir um reflectômetro ótico, no domínio do tempo (OTDR).

Um OTDR é capaz de realizar a amostragem de um cabo de fibra ótica e apresentá-la sob forma de gráfico. O equipamento cria um pulso de luz que percorre a fibra, sendo que parte dessa luz é refletida de volta para o equipamento, devido aos fenômenos de espalhamento e reflexão.

Junto ao laser, existe um circuito ótico que

## TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS DE UMA FIBRA ÓTICA

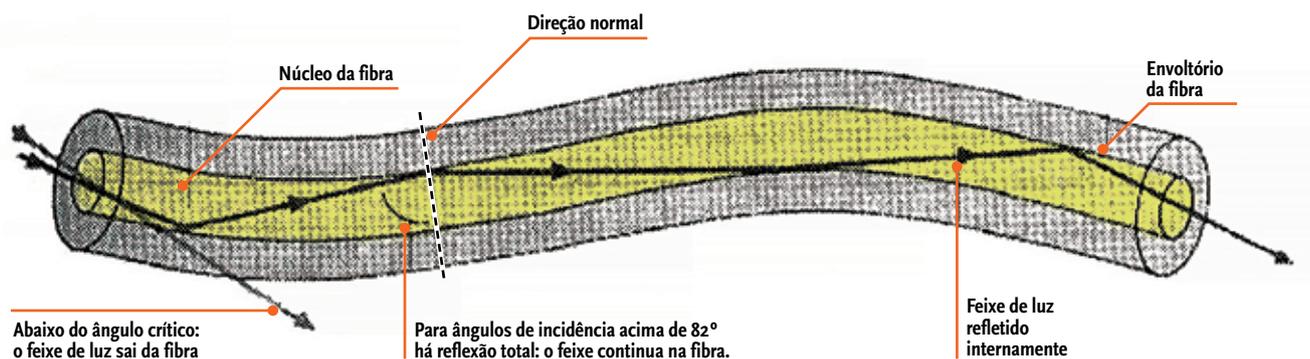


FIGURA 1 - Transmissão de luz através de uma fibra ótica  
Fonte: Valadares & Moreira, 1998

consiste em filtros e acopladores óticos, que separam parte dessa luz para um diodo de avalanche, o qual reproduzirá eletricamente o sinal refletido. Cada imperfeição ou defeito da fibra tem um comportamento característico, aumentando ou diminuindo a reflexão. De posse dessas informações, o técnico pode avaliar a fibra, saber em que condições ela se encontra e realizar as manutenções de maneira mais eficiente.

O rompimento de um cabo pode interromper os serviços de telecomunicações de uma cidade inteira, o que justifica o investimento nessa linha de equipamentos. A solução aumenta a eficácia do trabalho, reduz custos operacionais e proporciona maior nível de precisão, gerando economia de tempo

aos instaladores e técnicos e ajudando-os a realizar trabalhos de alta qualidade. O equipamento proposto é fundamental para a execução de testes e, até o momento, só é fornecido por empresas estrangeiras, a um custo bastante elevado.

Os serviços de telecomunicações dependem de diversos instrumentais e equipamentos para garantir a qualidade dos serviços, além de agilizar e certificar novas instalações. Para cada tipo de tecnologia existem instrumentais específicos e, quando se trata de instalações óticas, o reflectómetro é um dos equipamentos mais adequados para realizar a análise da estrutura física de um link de fibra ótica, conectando-se o equipamento a uma das extremidades.



## OBJETIVO

Este artigo objetiva analisar o desenvolvimento da tecnologia OTDR e apresentar as características que fazem do reflectômetro ótico no domínio do tempo (OTDR) um diferencial competitivo no Mercado de Telecomunicações. Destaca-se ainda a importância da tecnologia no processo de desenvolvimento e fabricação de equipamento pela WISE - Indústria de Telecomunicações, por meio do programa Inova Talentos.

## MÉTODO

Foram utilizados quatro métodos para embasamento desse artigo: pesquisa em artigos científicos, pesquisa documental do projeto de desenvolvimento de um OTDR, reportagens e indicadores sobre investimentos no mercado e estudo de caso, analisando-se as etapas e os resultados do projeto desenvolvido.

## PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Várias são as referências positivas sobre a aplicação de equipamentos OTDR na manutenção de redes de telecomunicações. Segundo ROCHA; et al o OTDR é o melhor tipo de equipamento para esse tipo de serviço (da Rocha Abbade & Campos Caputo, 2002), devido à possibilidade de extrair todas as informações de um link de fibra e traduzi-las em forma de gráfico, além da exportação desses

resultados em um formato padronizado, que pode ser lido e analisado por uma grande variedade de softwares (Telcordia, 2011).

Outros autores afirmam que, para redes de comunicação por multiplexação de comprimento de onda, os equipamentos OTDR são os mais adequados para testes e manutenção desse tipo de rede. (Macedo Dias, 2009)

## ESTUDO DE CASO

Desenvolvido pela empresa brasileira Wise (Wise Indústria de Telecomunicações, 2016), em 2014 e 2015 – em conjunto com o projeto Inova Talentos – o equipamento OTDR é o objeto deste estudo, sendo possível observar seus benefícios no trabalho diário dos técnicos de manutenção e certificação de redes óticas.

A procura por equipamentos do tipo OTDR se justifica em função de sua capacidade de realizar o mapeamento rápido da rede com grande eficiência, o que reduz o tempo de manutenção e de instalação, contribuindo para a rápida expansão da rede com qualidade garantida.

Os técnicos e supervisores buscam ainda equipamentos que realizem identificações automáticas de eventos e que sejam capazes de exportar resultados, permitindo que se reduza o tempo de treinamento de novos técnicos, além de permitir a rastreabilidade dos resultados e garantir a qualidade dos serviços prestados.

O desenvolvimento do equipamento demonstrou as necessidades das empresas de tornar o trabalho de seus técnicos mais efi-



ciente, o que reforça a necessidade de equipamentos que realizem os testes de maneira eficiente e confiável, além de comprovar que equipamentos OTDR são os mais adequados para testes de verificação e validação das redes óticas.

Existem ainda equipamentos OTDR que, com técnicas e características específicas, são capazes de realizar testes na rede sem afetar a comunicação, garantindo assim a disponibilidade do serviço durante todo o período de verificação e reduzindo o período de indisponibilidade durante a manutenção.

Essas hipóteses foram comprovadas em testes laboratoriais, feitos na sede da empresa em testes de campo e em outras empresas de telecomunicação. Características essenciais e as principais aplicações – além dos resultados esperados – foram debatidos, em visitas e por telefone, com especialistas da área, durante o processo de desenvolvimento e adequação do produto ao mercado.

#### ESTUDO DOCUMENTAL

Parte dos documentos utilizados no projeto foi objeto de estudo, além de reportagens que demonstram a tendência de uso da tecnologia de comunicações óticas para grandes infraestruturas de dados.

Esses documentos comprovam que, diante dos altos valores envolvidos nesse tipo de tecnologia (Tabor, 2013), os serviços de manutenção e instalação devem ser os mais eficientes e confiáveis possíveis, haja vista que o tempo de indisponibilidade pode

custar caro, tanto para a empresa provedora como para os clientes desse serviço.

Ainda que não exista um consenso quanto ao custo de indisponibilidade de serviços de internet (Opservices, 2016), matérias demonstram que os valores envolvidos são expressivos, sendo que a indisponibilidade de determinadas empresas causa impactos significativos em toda a cadeia, direta ou indiretamente, que depende daqueles serviços ora indisponíveis.

## RESULTADOS

Os custos de indisponibilidade e a necessidade pela prestação de serviços de qualidade demonstram que ferramentas são essenciais na dinâmica da manutenção da infraestrutura, o que faz com que, conseqüentemente, o OTDR seja o principal instrumento para verificação e certificação de redes de fibra ótica.

A agilidade e a assertividade dos resultados permitem a rápida identificação do problema, assim como a geração de registros exportáveis em formato-padrão para comprovação da situação perante supervisores e gerentes, o que auxilia nos procedimentos de gerenciamento da rede e das equipes de técnicos.

Nesse sentido, os impactos econômicos e sociais do desenvolvimento e o uso de equipamentos tecnológicos devem ser considerados. Entre os impactos econômicos, pode-se citar a geração de empregos diretos e indire-



tos, tanto na operação como na fabricação, quando se trata de produto nacional, além de toda a cadeia, incluindo fornecedores. Além disso, a redução de custos das operadoras, quando se executa trabalho eficiente e de baixo índice de retrabalho, alavanca a produtividade e possibilita a cobrança de preços mais justos pelos serviços prestados. Também se pode citar a criação de novas empresas, para realização de manutenção ou atuação como terceirizadas na prestação de serviço. Como último impacto econômico, ocorre o aumento de lucratividade e o consequente aumento de investimentos.

Já os impactos sociais incluem programas de inclusão digital, por meio dos quais a inclusão de equipamento nacional se tornaria parte importante nos projetos de expansão de conectividade para regiões, onde os custos de instalação e manutenção ainda são elevados.

Outro impacto social advém do aumento de competitividade, o que tende a resultar em aumento de qualidade dos produtos no mercado, aliado à redução de custo. Parte dessa redução pode ser reinvestida na melhoria da infraestrutura, resultando em serviços melhores.

Por fim, o fomento ao desenvolvimento tecnológico pode ser considerado um impacto social com grande potencial econômico, devido à produção e comercialização de produtos com alto valor agregado.

## DISCUSSÃO

Ficou comprovada a necessidade de as empresas prestadoras obterem maior confiabilidade na manutenção de suas redes. O uso de instrumentais confiáveis tem um grande papel no resultado e na qualidade do serviço prestado. A assertividade e eficiência desses instrumentais são fundamentais no trabalho diário das equipes de manutenção e instalação de redes óticas.

O processo de desenvolvimento também permitiu entender as necessidades e realizar adaptações ao equipamento, que permitissem melhor desempenho por equipes nacionais, diante das características da rede brasileira. Essas características e modificações comprovam o papel fundamental de equipamentos OTDR no suporte ao trabalho das prestadoras e na manutenção da qualidade de serviços.

Equipamentos OTDR que garantam os resultados adquiridos e a reprodutibilidade dos resultados, além de ser capazes de emitir certificados para as redes em test, atuam como parte importante na busca por serviços de excelência, além de permitir melhor desenvolvimento econômico e tecnológico e barateamento da tecnologia, auxiliando em diversos projetos e políticas, como a de inclusão digital.

Além disso, o desenvolvimento de equipamentos de tecnologia por empresas brasileiras, que visam ao atendimento do mercado nacional, cria incentivo indireto ao desenvolvimento tecnológico de novas soluções, ca-

pazes de melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. O projeto OTDR também auxiliou no desenvolvimento de novas metodologias de solução de problemas e na busca por soluções mais efetivas, com menor chance de retrabalho. A busca pela melhoria dos parâ-

metros, das funcionalidades e da usabilidade do equipamento nortearam as atividades, os planejamentos e as apresentações. As opiniões dos usuários, clientes e especialistas do mercado comprovam a importância desse tipo de instrumental nas atividades.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O projeto serve para demonstrar a importância de instrumentais adequados para os serviços determinados e assim melhorar a prestação de serviços e a qualidade de vida.

Apesar de todas as adversidades, o desenvolvimento de tecnologias nacionais é possível, mediante o desenvolvimento de produtos competitivos e adaptáveis, que auxiliem na tomada de decisões para garantir serviços de baixo custo e alta disponibilidade e qualidade

O objetivo é dispor desses instrumentais em aplicações, que ajudem processos de educação e inclusão digital, garantindo que o dinheiro proveniente de redução de custos seja reinvestido, auxiliando assim no desenvolvimento econômico e social.

Para o mercado, um equipamento nacional representa um avanço, porque incentiva outras empresas a buscar o desenvolvimento de novas tecnologias e diminuir a dependência por produtos e equipamentos tecnológicos importados. A promoção do desenvolvimento incentiva o crescimento de diversas empresas, aumentando a criação de empregos diretos e indiretos, capacitando novos profissionais e agregando valor à cadeia de produção. O objetivo e resultado desse processo é a melhoria na qualidade dos serviços, o que tende a melhorar a produtividade de empresas que fazem uso dessa tecnologia, além de agregar novas empresas ao segmento, aumentando a competitividade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALMANOVICI, Carlos Eduardo. **A inovação, a competitividade e a projeção mundial das empresas brasileiras**. Revista USP. Edição Março/Maio. São Paulo: USP, 2011.

CRESPO DE MATTOS, J. A. **Reflectômetro Óptico**. Curitiba: Centro Universitário Positivo – UnicenP, 2005

DA ROCHA ABBADE, A. L., & CAMPOS CAPUTO, M. R. (12 de 2002). **Aplicação do OTDR na Análise de Problemas de Atenuação em Fibras**. *Revista Científica Periódica - Telecomunicações*. Edição Dezembro. São Paulo: USP, 2011.

VALADARES & MOREIRA, Eduardo de Campos. Alysso Magalhães. **Ensinando Física Moderna no Segundo Grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. São Paulo: USP, 1998

LOBO & COSTA, Ana Paula. Pedro. **Brasil precisa investir mais em fibra óptica**. Disponível em <<http://www.abranet.org.br/Noticias/Brasil-precisa-investir-mais-em-fibra-optica-575.html>>. Criado em 08 de maio de 2015. Acesso em 20 de junho de 2016.

ABRANET - **Associação Brasileira de Internet**.

MACEDO DIAS, A. **Análise de Projeto de Redes Metropolitanas WDM**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009

MALONE, L. **2015 and key trends in the US fiber market**. Fonte: PPC: <<http://blog.m2fx.com/2015-and-key-trends-in-the-us-fiber-market>> Acesso em 18 de julho de 2016.

OPSERVICES. (18 de 07 de 2016). **Qual é o custo de um downtime?** Fonte: OpServices: <<https://www.opservices.com.br/qual-e-o-custo-de-um-downtime/?lang=en>> Acesso em 18 de julho de 2016.

TABOR, S. **Google's downtime caused a 40% drop in global traffic**. Fonte: GoSquared: <<https://engineering.gosquared.com/googles-downtime-40-drop-in-traffic>> Acesso em 18 de julho de 2016.

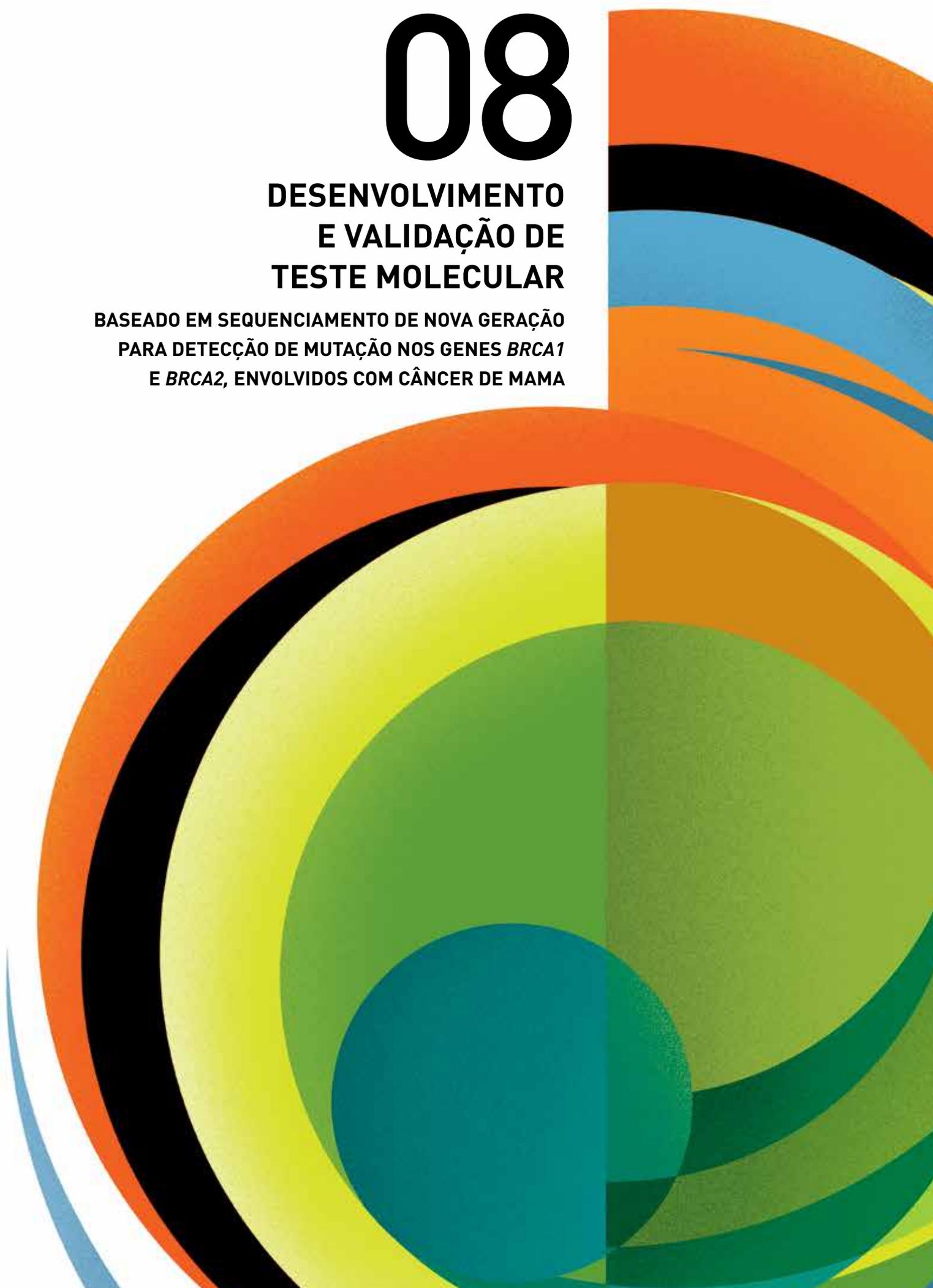
Telcordia. (07 de 2011). **Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Data Format**. Fonte: Telcordia: <<http://telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs.cgi?ID=SEARCH&DOCUMENT=SR-4731&>>. Acesso em 18 de julho de 2016.

WISE Indústria de Telecomunicações. (2016). **TSW150-OTDR**. Fonte: WISE Indústria de Telecomunicações: <<http://www.wi.com.br/index.php/pt/produtos-br/30-tsw150-otdr#especificação>> Acesso em 18 de julho de 2016.

# 08

## DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE TESTE MOLECULAR

BASEADO EM SEQUENCIAMENTO DE NOVA GERAÇÃO  
PARA DETECÇÃO DE MUTAÇÃO NOS GENES *BRCA1*  
E *BRCA2*, ENVOLVIDOS COM CÂNCER DE MAMA





---

## **ANA LÍGIA BUZOLIN**

—  
**Bacharel em Biotecnologia**  
*Universidade Federal de São Carlos*

—  
**Mestrado em Genética Evolutiva  
e o Biologia Molecular**  
*Universidade Federal de São Carlos*

---

**ANDRE YUJI OKU**

**MIGUEL MITNE NETO**

—  
*Setor de Pesquisa e Desenvolvimento,  
Grupo Fleury, São Paulo, Brasil*

A autora é bacharel em biotecnologia, com mestrado em Genética Evolutiva e Biologia Molecular pela Universidade Federal de São Carlos. Desenvolveu o presente o trabalho com os demais autores no Grupo Fleury (SP).

# *fleury*

---

✉ [albuzolin@gmail.com](mailto:albuzolin@gmail.com)



Rua Lafaiete, 1636, Vila Seixas,  
Ribeirão Preto, SP,  
CEP: 14020-053



(19) 981950674.

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | câncer; mama; ovário; sequenciamento; *BRCA*

---

Enquanto o câncer de mama é o mais comum entre as mulheres, o câncer de ovário é o tumor ginecológico mais difícil de ser diagnosticado e com menor chance de cura. Mutações nos genes *BRCA1* e *BRCA2* desestabilizam a função das proteínas resultantes, o que provoca o aumento do risco de câncer de ovário em até 60% e o de mama em até 80%. No presente trabalho, descrevemos o desenvolvimento e validação de teste molecular, baseado em sequenciamento de nova geração e na técnica de Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification para detecção de mutações, inserções e deleções nesses genes, incluindo as três mutações mais frequentes em judeus Ashkenazi. Os resultados possibilitaram a implantação de oito novos produtos, na rotina clínica do laboratório.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | cancer; breast; ovary; sequencing; BRCA

---

*Breast cancer is the most common among women and ovarian cancer is the gynecological tumor more difficult to diagnose and the lowest chance of cure. Mutations in BRCA1 and BRCA2 genes destabilize the function of the resulting proteins and increase the risk of ovarian cancer by 60% and breast cancer by up to 80% in women. Here we describe the development and validation of a molecular test based on next generation sequencing and Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification for detection of mutations, insertions and deletions in these genes, including the three most frequent mutations in Ashkenazi Jews. The results allowed the implementation of 8 new products in the clinical routine of the laboratory.*

## INTRODUÇÃO

O câncer de mama é a forma mais comum de neoplasia entre as mulheres no mundo. No Brasil, essa condição só não é mais frequente do que o câncer de pele não-melanoma, que responde anualmente por cerca de 25% dos casos novos.

Apesar de raro, o câncer de mama (CA de mama) também acomete homens, representando 1% do total de casos da doença (INCA, 2016). Segundo o Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA), foram registrados, em 2013, 14.388 óbitos resultantes do CA de mama, a maioria das vítimas, mulheres. Estima-se que, em 2016, serão diagnosticados 57.960 novos casos de CA de mama.

Apesar de pouco frequente, o câncer de ovário é o tumor ginecológico mais difícil de ser diagnosticado e o de menor chance de cura. Cerca de três quartos dos cânceres desse órgão apresentam-se em estágio avançado no momento do diagnóstico, sendo, em 2013, responsáveis por 3.283 mortes. A estimativa para 2016 é de 6.150 novos casos (INCA, 2016). A história familiar de câncer de mama e ovário é importante fator de risco para o surgimento da doença. Alterações em genes, como os da família *BRCA*, aumentam o risco de desenvolver esses tipos de câncer. A quebra da dupla-fita é um dos danos mais tóxicos para o DNA, pois, como afeta ambos os lados do duplex, nenhuma extremidade complementar fica disponível para reparação (KHANNA; JACKSON, 2001).

As quebras normalmente ocorrem durante a replicação e meiose, e a falha na sua reparação pode resultar em apoptose, sendo que um reparo equivocado pode levar a mutações ou rearranjos cromossômicos como translocações e deleções (JACKSON; BARTEK, 2009).

*BRCA1* e *BRCA2* são genes que produzem proteínas supressoras de tumores, as quais ajudam a reparar o DNA danificado e, portanto, têm papel essencial na garantia da estabilidade do material genético das células. Mutações específicas nesses genes desestabilizam a função das proteínas resultantes, podendo levar a falhas na reparação da quebra da dupla-fita do DNA, fator que leva à tumorigênese.

Dessa forma, essas mutações, além de aumentar o risco de desenvolvimento de câncer de mama e ovário em mulheres, estão ainda associadas a risco elevado de outros tipos de câncer.

Estudos moleculares mostram aumento de até 80 % no risco de desenvolvimento de câncer de mama em mulheres com mutações nos genes *BRCA1* e *BRCA2* e 6 % em homens. Para o câncer de ovário, o risco é de até 50 % (O'DONOVAN e LIVINGSTON, 2010; ROY, CHUN e POWELL, 2011).

Juntos, *BRCA1* e *BRCA2* são responsáveis por cerca de 20 a 25% dos casos de câncer de mama hereditários e 15% dos casos de câncer de ovário (PAL et al, 2005; NIH, 2015).

Em judeus Ashkenazi, cujos ancestrais são originários da Europa central e oriental, três mutações (185delAG, 5382insC no gene

*BRCA1* e 6174delT no gene *BRCA2*) são muito prevalentes devido ao efeito fundador, estando presentes em cerca de 1% a 2,5% dos indivíduos. A presença de qualquer uma dessas mutações em mulheres, mesmo na forma heterozigota – ou seja, um único alelo com a mutação – implica risco aumentado para o desenvolvimento de câncer de mama (40-80%) ou de ovário (15-40%) antes dos 70 anos (STRUEWING et al, 1997; MALONE et al., 2010; REBBECK, 2015).

Em homens, além do câncer de mama, mutações nesses genes aumentam o risco de desenvolvimento de câncer de pâncreas, melanoma, intestino e próstata, nesse último caso caracterizando tumores mais agressivos e com maior chance de metástase (MORAN et al., 2012; CASTRO et al., 2013).

O desenvolvimento de um teste molecular, capaz de identificar alterações em *BRCA1* e *BRCA2*, traz grande impacto, na medida em que permite melhor orientação para profilaxia, tratamento e aconselhamento genético. Mulheres com resultado positivo, ou seja, portadoras de alguma mutação patogênica, apresentam 50% de chance de transmiti-las a seus descendentes, sendo o teste um importante mecanismo de orientação genética.

Recomenda-se ainda a essas mulheres portadoras que aumentem os cuidados preventivos, como, por exemplo, a realização mais precoce e frequente dos exames de imagem e acompanhamento dos níveis de CA. Tais procedimentos aumentam a chance de detecção do câncer em estágio inicial.

Outra medida disponível – porém bas-

tante controversa – é a realização da mastectomia profilática de redução de risco, ou ainda tratamentos de quimioprevenção, que consistem no uso de agentes químicos naturais ou sintéticos para reverter, suprimir ou prevenir a progressão carcinogênica (AEBI et al., 2011; BOZOVIC-SPASOJEVIC et al., 2012).

Do ponto de vista técnico, a identificação de mutações nos genes *BRCA1* e *BRCA2* tem como desafios a grande extensão gênica a ser sequenciada, além da interpretação clínica para cada uma das alterações encontradas.

Para superá-los, são utilizadas abordagens distintas: (a) uso de técnicas de sequenciamento de nova geração, do inglês *Next Generation Sequencing* (NGS); (b) aplicação do Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification para detecção de inserções ou deleções gênicas de grande extensão – não observadas pelo NGS; e (c) criação de bancos de dados específicos, que permitam a comparação entre as amostras já processadas, de forma a distinguir as variantes gênicas reconhecidamente patogênicas daquelas sem efeito clínico.

No presente trabalho, descrevemos o processo de desenvolvimento e validação de distintas metodologias para a identificação de mutações nos genes *BRCA1* e *BRCA2*.

Essa abordagem teve como proposta testar a acurácia e reprodutibilidade de (a) sequenciamento de um painel específico para *BRCA1* e *BRCA2*, na plataforma de NGS Ion Torrent PGM (Life Technologies), para detecção de mutações de ponto (variantes de um único nucleotídeo) ou pequenas inserções/



deleções; (b) estabelecimento de um painel para a identificação de inserções e deleções de grande porte e variações no número de cópias gênicas – baseado no MLPA – além da criação de um teste para detectar as três mutações mais frequentes em judeus Ashkenazi.

Com o workflow de análise completa dos genes *BRCA1* e *BRCA2* desenvolvido, obtivemos 95,64 % de sensibilidade na detecção de mutações e 100 % de eficiência na identificação de inserções e deleções de maior extensão, com a técnica de MLPA.

Além disso, o levantamento realizado nos principais bancos de dados curados de variantes nos genes *BRCA1* e *BRCA2* possibilitou a criação de um banco integrado com mais de 9 mil variantes. Os resultados apresentados neste trabalho proporcionaram a integração de oito novos produtos, além de uma nova plataforma, na rotina clínica de análises moleculares.

## MATERIAL E MÉTODOS

### SELEÇÃO DAS AMOSTRAS

#### E EXTRAÇÃO DE DNA

O Grupo Fleury oferecia o sequenciamento dos genes *BRCA1* e *BRCA2*, em parceria com o laboratório Myriad, nos EUA, principal fornecedor do teste no mundo e detentor da patente até 2014. Amostras de sangue de 26 indivíduos encaminhadas à Myriad, e que tiveram seu resultado entregue de forma regular aos clientes Fleury, foram aliqüotadas e utilizadas para os experimentos descritos

a seguir. O material genético foi extraído por meio do sistema automatizado QiaSymphony (QIAGEN), e as amostras utilizadas para validação foram anonimizadas, de forma que o doador não pudesse ser rastreado. O fluorímetro Qubit 2.0 (Life Technologies) foi usado para quantificação das amostras com o kit dsDNA BR Assay.

Para os testes de reprodutibilidade, também foram utilizadas amostras de referência NA12878, do National Institute for Standards and Technology (NIST). Dessas amostras, 16 foram repetidas em corridas diferentes e 3 foram sequenciadas em duplicata na mesma corrida, para obtenção de repetições inter e intraensaios.

### ESTRATÉGIAS PARA A

#### CAPTURE DAS REGIÕES-ALVO

#### E PREPARO DAS BIBLIOTECAS

Devido à complexidade do teste, foram desenhadas duas estratégias. A primeira, *in house*, consistiu no desenho de 100 pares de primers para a amplificação da região codificante dos genes *BRCA1* e *BRCA2*. Esses primers continham sequências universais, que permitiam a amplificação das regiões-alvo e a inserção dos barcodes em uma única PCR.

Tais sequências foram construídas de forma a permitir sua utilização também para o sequenciamento Sanger. Foram estruturadas 10 reações de multiplex, contendo entre 8 e 12 reações por multiplex, com o volume final de 10  $\mu$ L.

Em seguida, essas reações foram purificadas, utilizando a enzima ExoSAP-IT (Af-

fymetrix) seguida do kit GeneRead Size Selection (Qiagen), segundo as instruções dos fabricantes. Após a purificação, o material capturado seguiu para a PCR em emulsão, conforme descrito a seguir.

A segunda estratégia teve como base a utilização do painel Ion AmpliSeq *BRCA1* e *BRCA2* (Ion Torrent – Life Technologies), que consiste em 167 pares de *primers* em 3 pools, sendo desenhado para uma cobertura de 100% de todos os exons-alvo e regiões de extremidade exon-intron.

Resumidamente, 20 ng de DNA foram amplificados por PCR em três reações distintas de 10 uL cada, usando os pools de *primers* Ion AmpliSeq e o master mix Ion AmpliSeq HiFi (Ion AmpliSeq kit versão 2.0). Os amplicons resultantes foram misturados, e 20 uL da mistura foram transferidos para novo tubo e tratados com o reagente FuPa, presente no kit, para digerir parcialmente as sequências de *primers* e fosforilar os amplicons.

Esses amplicons foram então ligados a adaptadores do kit Ion Xpress barcoded adapters 1-16. Após a ligação, as bibliotecas foram purificadas com as beads magnéticas Agencourt Ampure XP e equalizadas a 100 pM, com o kit Ion Library Equalizer, conforme as instruções do fabricante (Life Technologies).

#### PCR EM EMULSÃO E SEQUENCIAMENTO

Multiplexadas e indexadas, as bibliotecas foram amplificadas por PCR em emulsão em partículas Ion Sphere (ISPs) utilizando o kit Ion PGM Hi-Q OT2, segundo as instruções do fabricante (Life Technologies).

ISPs carregadas com o template foram biotiniladas durante o processo de PCR em emulsão, possibilitando seu enriquecimento com as beads de estreptavidina Dynabeads MyOne C1 (Life Technologies).

Os chips Ion 314 e Ion 316 foram usados para sequenciar 4 e 8 amostras, respectivamente, por reação. O sequenciamento foi realizado no sistema Ion PGM (Ion Torrent) utilizando o kit Ion PGM Hi-Q Sequencing, segundo as instruções do fabricante.

#### ANÁLISE DE BIOINFORMÁTICA

O software Torrent Suite (versão 4.4) foi utilizado para desmultiplexar os reads identificados por barcodes e gerar as métricas da corrida, incluindo a eficiência de carregamento do chip, análise de cobertura, contagem total de reads e qualidade.

Análise geral visual da qualidade dos reads foi realizada com o software FastQC, sendo que os arquivos com extensão “fastq”, gerados após a conversão, foram importados no software CLC Genomics Workbench 6.5 (CLCbio, Boston, MA) para análise, utilizando um pipeline otimizado para o painel Ion AmpliSeq *BRCA1* e *BRCA2* (Ver figura 1).

**WORKFLOW SIMPLIFICADO DO PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS NA VALIDAÇÃO.**

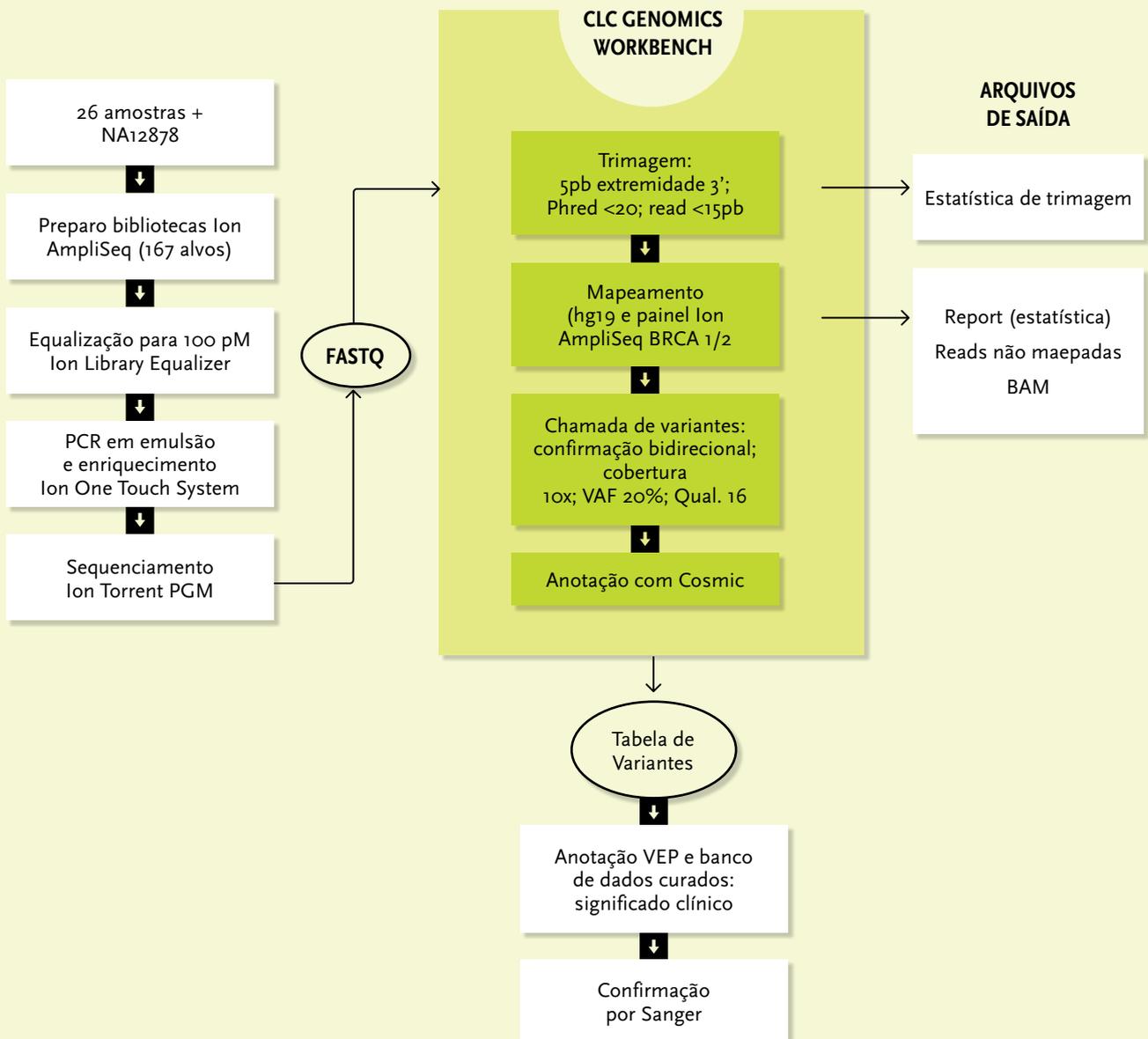


FIGURA 1 - Workflow simplificado do processamento e análise das amostras na validação.

**NOTAS:**

1. PGM, Personal Genome Machine;
2. VAF, frequência do alelo variante (do inglês, variant allele frequency);
3. BAM, arquivo .bam; VEP, variant effect predictor.
4. O pipeline consiste em sete etapas principais:
  - Trimagem de 5 pb das extremidades 3' dos reads, para evitar mapeamento de regiões de baixa qualidade e exclusão de reads curtos (< 15 pb) e reads com qualidade Phred (Q value) < 20.
  - Mapeamento dos reads contra o genoma referência hg19<sup>1</sup> utilizando valores padrão para mismatches (2) e indels (3) e similaridade mínima, com a referência de 80%. Como resultados, foram gerados um relatório do mapeamento e um arquivo, com as sequências mapeadas de extensão.bam.
  - Mapeamento foi realizado contra uma referência selecionada, contendo os 167 amplicons alvos do painel, de forma que a cobertura média pudesse ser avaliada para cada um deles, individualmente.
  - Chamada de variantes restrita às regiões-alvo, definidas no arquivo “.bed” do painel Ion AmpliSeq *BRCA1* e *BRCA2*. A presença da variante em ambos os sentidos (confirmação bidirecional) era necessária com uma concordância de pelo menos 5% entre os *reads forward* (senso) e os *reverse* (antissenso). A cobertura mínima considerada foi de 10 vezes, com a frequência do alelo variante (VAF) de 20 %. A qualidade média mínima considerada para a base foi 16.
  - Anotação das variantes com o banco de dados COSMIC (Catalogue of Somatic Mutations in Cancer) e com o VEP (Variant Effect Predictor), ferramenta do Ensembl<sup>2</sup>.
  - Anotação do significado clínico das variantes com o banco de dados ClinVar<sup>3</sup>, que contém informação disponível pública no Sharing Clinical Reports Project, iniciativa mundial de centros diagnósticos, que submeteram as variantes de *BRCA1* e *BRCA2*, reportadas pela Myriad desde 2006. O Clin Var também contém as variantes do Breast Cance Information Core (BIC, NIH), sendo, portanto, o mais completo banco de dados público de variantes curadas de *BRCA1* e *BRCA2*.
  - Inserção das informações dos bancos de dados do Grupo Fleury, contendo 500 amostras previamente analisadas pelo Laboratório Myriad (nos últimos 10 anos) e pelo Laboratório Arup<sup>4</sup>, outro centro de referência para o exame, de forma a verificar as variantes não descritas em nenhum dos exames anteriores.

---

1 <http://hgdownload.soe.ucsc.edu/goldenPath/hg19/bigZips>. Último acesso em 4 de abril, 2016

2 [http://grch37.ensembl.org/Homo\\_sapiens/Tools/VEP](http://grch37.ensembl.org/Homo_sapiens/Tools/VEP).

3 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/clinvar>

4 <http://arup.utah.edu/database/BRCA/>

#### CONFIRMAÇÃO POR SEQUENCIAMENTO CAPILAR (SANGER)

Todas as variantes encontradas foram confirmadas por sequenciamento de eletroforese capilar. Para isso, as regiões que continham as variantes foram amplificadas usando os *primers* desenhados para a estratégia *in house*, visto que esses possuem as sequências dos *primers* universais para o sequenciamento Sanger.

As reações de amplificação foram realizadas em termociclador Veriti (Applied Biosystems), utilizando a enzima AmpliTaq Gold DNA Polymerase (Applied Biosystems). Os produtos foram confirmados em gel de agarose 2 % e purificados com a enzima ExoSAP-IT (Affymetrix), segundo instruções do fabricante. As reações de sequenciamento foram preparadas com o kit BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing (Applied Biosystems) utilizando os *primers* M13 para sequenciamento *forward* e T7 para *reverse*. A purificação das reações de sequenciamento foi realizada com o kit BigDye Xterminator, segundo instruções do fabricante. O sequenciamento foi realizado em equipamento ABI 3130xl, e a análise dos dados e comparação com a referência foi feita no software CLCbio Workbench. A sensibilidade do sequenciamento por NGS foi calculada pela relação de verdadeiros positivos (confirmados por Sanger) e total de positivos.

#### MLPA (MULTIPLEX LIGATION-DEPENDENT PROBE AMPLIFICATION)

Para validação do teste de MLPA, 11 amostras de DNA de sangue periférico, extraídas no equipamento QiaSymphony (QIAGEN), foram testadas, utilizando os kits comerciais de MLPA da MRC-Holland para *BRCA1* e *BRCA2*.

Os testes foram realizados em duplicata e em dias diferentes, para obtenção de repetições intra e interensaios. Foram utilizados 100 ng de DNA de cada amostra, além de três amostras referências (que não possuíam duplicações e/ou deleções), um controle negativo contendo apenas tampão ATE (o mesmo utilizado na diluição das amostras) e um controle positivo para cada gene. Para o controle positivo do *BRCA1*, utilizamos amostra adquirida no Coriell Institute (EUA), que possui a mutação 1294del40 no éxon11.

Para o controle positivo do *BRCA2*, amplificamos o éxon 9 e utilizamos o produto da PCR, diluído proporcionalmente em uma amostra sem alterações prévias, de forma a simular uma duplicação. Os procedimentos foram realizados segundo instruções do fabricante. As etapas de desnaturação, hibridização, ligação e PCR foram realizadas em termociclador Veriti (Applied Biosystems), a análise de fragmentos foi realizada no sequenciador ABI 3130xl e os dados gerados foram importados e analisados no software Coffalyser.Net.

## MUTAÇÕES COMUNS A

### JUDEUS ASHKENAZI

As regiões que contêm as variantes 185delAG, 5382insC no gene *BRCA1* e 6174delT no gene *BRCA2* (c.66\_67delAG, c.5263\_5264insC e c.5946delT, respectivamente) foram amplificadas usando *primers* específicos, sintetizados de maneira concatenada às regiões 3' de oligonucleotídeos, com as sequências M13F e T7. Tomamos como referências NG\_005905.1 para *BRCA1* e NG\_012772.2 para *BRCA2*. A metodologia de amplificação e sequenciamento foi a mesma descrita acima para a confirmação de variantes por sequenciamento capilar (Sanger), com exceção da PCR, realizada com o Master Mix para PCR da Promega. Para teste de exatidão, 10 amostras de DNA, obtido a partir de sangue periférico, foram sequenciadas e analisadas. Para teste de precisão, utilizamos duplicatas de três amostras.

## RESULTADOS

### COMPARAÇÃO ENTRE AS

### ESTRATÉGIAS DE CAPTURA

Apesar de apresentar redução de aproximadamente 6X nos custos de captura, a estratégia *in house* mostrou-se menos efetiva do que a utilizada no sistema da Life Technologies.

Além de não ser capaz de capturar toda a região-alvo, o principal aspecto de baixa eficiência da primeira estratégia foi a grande variabilidade na cobertura das regiões gênicas. Enquanto algumas regiões apresenta-

vam média de 20X de cobertura, outras chegavam a mostrar 1500X de cobertura.

Foram testadas diversas combinações de multiplex, porém não se conseguiu melhorar os resultados. A variabilidade de cobertura poderia colocar em risco a avaliação de amostras, quando do exame em rotina, motivo pelo qual tal forma de captura foi colocada de lado.

Mesmo não sendo utilizada para captura e posterior sequenciamento no sistema NGS, o desenho dos primers *in house* permitiu a criação de um banco de oligonucleotídeos, capaz de sequenciar e confirmar qualquer das regiões, através da técnica Sanger, conforme descrito a seguir.

### SEQUENCIAMENTO NGS

Os sequenciamentos no sistema Ion Torrent PGM, com base na estratégia Life Technologies, geraram uma média de 2,8 milhões de reads, com tamanho médio de 135 pb, como representado na figura 2.

A análise de cobertura feita com o *plugin Coverage analysis* do software Torrent Suite v4.4, mostrou que as regiões alvo (167 amplicons) tiveram 100 % de cobertura, como mostra a Figura 3. A média de cobertura foi de 425 X, com mais de 95 % das bases com cobertura de pelo menos 100 X e 98,88 %, com cobertura de pelo menos 20 X (Figura 4). O preparo do template mostrou valores de policlonalidade variando entre 28 % e 42 %.

### TAMANHO DOS READS

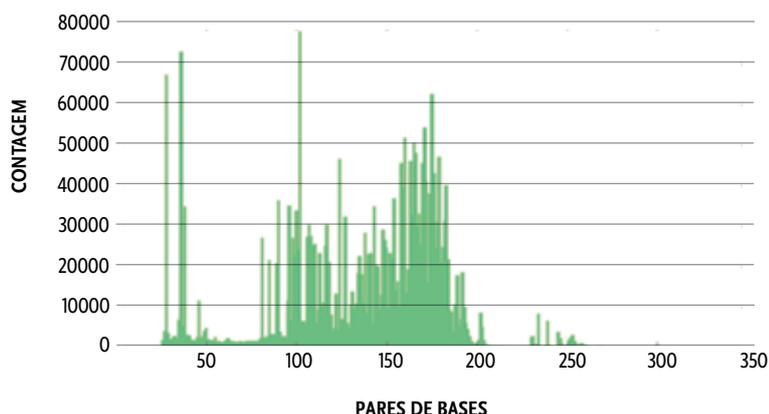
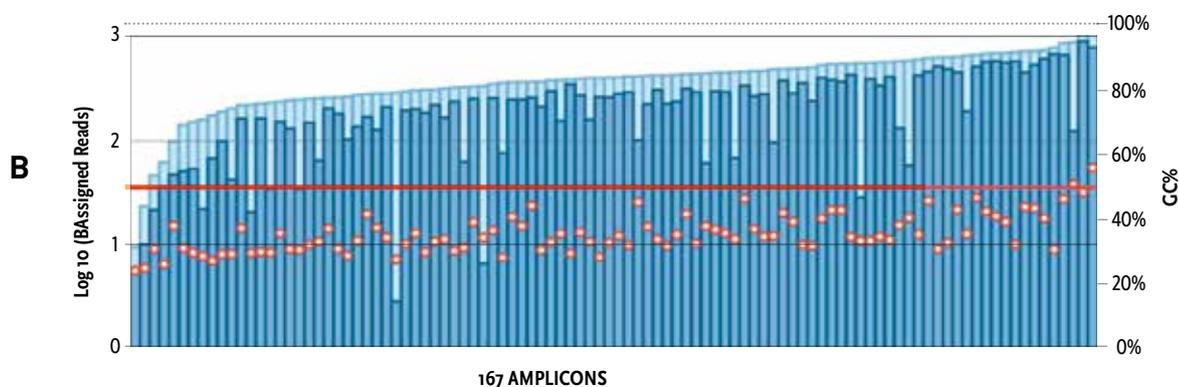


FIGURA 2 - Histograma da distribuição dos reads, de acordo com sua extensão em pares de bases. Os dados exibidos são representativos de um dos sequenciamentos realizados na validação.

### ANÁLISE DE DADOS DE COBERTURA DE SEQUENCIAMENTO



FIGURA 3 - Análise de dados de cobertura de sequenciamento, gerados pelo plugin Coverage Analysis.



**NOTAS:**

A: Visão geral da cobertura nas regiões de alinhamento dos genes *BRCA1* (chr17) e *BRCA2* (chr 13);

B: Distribuição de reads nos 167 alvos do painel Ion AmpliSeq *BRCA1* e *BRCA2*, sobrepostos com o conteúdo de GC para cada read. Os dados exibidos são representativos de uma das amostras sequenciadas nesta validação.

## GRÁFICO DE COBERTURA DE SEQUENCIAMENTO

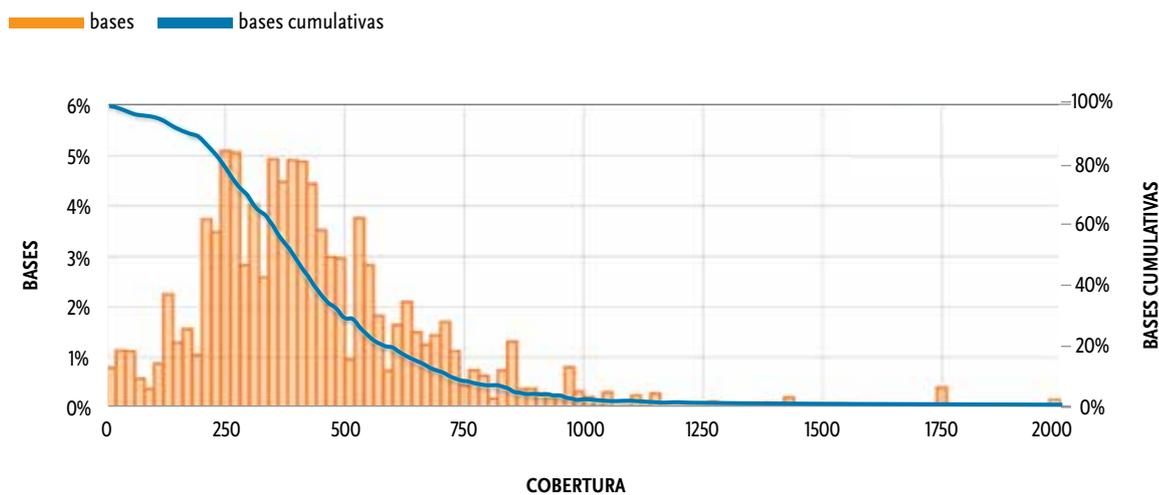


FIGURA 4 - Gráfico de cobertura de sequenciamento gerado pelo plugin Coverage Analysis para uma das amostras validadas.

### NOTAS:

1. O eixo Y esquerdo representa o número de reads numa determinada cobertura, como percentual do total de número de reads. O eixo Y direito é resultante do percentual da contagem cumulativa de reads numa determinada cobertura (ou maior).
2. Os dados exibidos são representativos de uma das amostras sequenciadas nesta validação.

### CHAMADA DE VARIANTES

No total, foram encontradas 574 variantes (com repetições entre as amostras), sendo que o resultado obtido na confirmação por sequenciamento capilar mostrou 25 falsos positivos, 23 dos quais em regiões de homopolímeros.

A sensibilidade na chamada de variantes foi de 95,64 %, utilizando o *pipeline* desenvolvido *in house*. Utilizamos como parâmetro de comparação o *plugin* Variant Caller recomendado pelo fornecedor, disponível no software Torrent Suite v4.4, que possui um *pipeline* desenvolvido e otimizado para análise específica do painel Ion AmpliSeq BRCA1/BRCA2. Entretanto, a sensibilidade obtida foi menor, como pode ser observado na tabela 1.

### COMPARAÇÃO DA SENSIBILIDADE

	VARIANT CALLER	PIPELINE IN HOUSE
NÚMERO DE VARIANTES	587	574
FALSOS POSITIVOS	35	25
SENSIBILIDADE	94,03%	95,64%

TABELA 1 - Comparação da sensibilidade na chamada de variantes entre o plugin Variant Caller e o pipeline, desenvolvido in house.

Na chamada de variantes, todas as mutações reportadas pela Myriad nas amostras foram identificadas com 100 % de precisão. Após comparação com os bancos de dados, quatro mutações foram classificadas como patogênicas e três como VUS (variants of unknown significance), conforme tabela 2.

VARIANTE	CLASSIFICAÇÃO	NÚMERO DE AMOSTRAS
BRCA1 C.5266DUPC	Patogênica	2
BRAC1 C.5095C>T	Patogênica	1
BRCA1 C.3916_3917DEL	Patogênica	1
BRCA2 C.6988A>G	VUS	1
BRCA2 C.8482A>G	VUS	1
BRCA2 C.8518A>G	VUS	1

TABELA 2 - Variantes encontradas em concordância com os resultados da Myriad

Para comparação dos resultados da amostra NA12878, obtidos em nosso sequenciamento, selecionamos as variantes do arquivo.vcf – padronizado para essa amostra – contidas nos intervalos das regiões alvo do painel Ion AmpliSeq *BRCA1/2*.

Das 20 variantes presentes no vcf, 3 variantes no gene *BRCA1* e 1 no *BRCA2* não foram identificadas em nosso sequenciamento, o que caracteriza exatidão de 80 %.

Os resultados das repetições inter e intraensaios mostraram total concordância na chamada de variantes verdadeiramente positivas, representando 100% de precisão e evidenciando a reprodutibilidade do teste.

#### MLPA

Todas as amostras atenderam aos parâmetros de qualidade avaliados no *software* Coffalyser.Net, incluindo FRSS (Fragment Run Separation Score) e FMRS (Fragment MLPA Reaction Score) e todas as sondas esperadas foram detectadas (48 para *BRCA1* e 44 para *BRCA2*).

Nenhuma das amostras analisadas apresentou deleções e/ou duplicações detectáveis por MLPA nos genes *BRCA1* e *BRCA2*, estando em conformidade com os resultados de sequenciamento e os laudos enviados pela Myriad.

Curiosamente, uma das amostras apresentou queda na fluorescência referente a uma das sondas do *BRCA2*. Ao analisar o sequenciamento, observamos a existência da mutação c.6988A>G, localizada exatamente na região de hibridação da sonda, o que ex-

plica essa diminuição de sinal. As alterações nos controles positivos foram corretamente identificadas – tanto a deleção de 40 pb no éxon 11 do *BRCA1* como a inserção do éxon 9 no *BRCA2*. A precisão foi de 100 % entre as repetições inter e intraensaios, mostrando que o teste é reprodutível. O limite de detecção calculado com base na quantidade inicial de 100 ng de DNA foi de  $15 \times 10^3$  cópias.

#### MUTAÇÕES COMUNS

##### A JUDEUS ASHKENAZI

Todas as amostras apresentaram boa amplificação, evidenciada por gel de agarose, e geraram dados de sequenciamento de alta qualidade para as três regiões testadas. Entretanto, nenhuma das mutações-alvo foi identificada nas amostras testadas – estando de acordo com o esperado. Os resultados das duplicatas foram concordantes, com 100% de precisão e mostraram que o teste é reprodutível.

#### BANCO DE DADOS

A concatenação dos bancos de dados descritos na seção material e métodos permitiu a criação de um banco interno, com mais de 9 mil variantes curadas. Essas informações são primordiais para a definição de patogenicidade das mutações encontradas.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no sequenciamento completo dos genes *BRCA1* e *BRCA2* mostraram que o sistema Ion Torrent PGM (Life Technologies) é uma plataforma robusta, que atende às necessidades clínicas de detecção de mutações nesses dois genes.

O painel Ion AmpliSeq *BRCA1/BRCA2* demonstrou ser eficiente, cobrindo todos os éxons dos dois genes, além de parte dos íntrons. Por se tratar de genes altamente polimórficos, além das limitações inerentes ao painel utilizado, existe grande variabilidade quanto à eficiência de amplificação dos 167 alvos, o que reflete na cobertura final do sequenciamento.

Portanto, uma alta taxa de cobertura média é essencial para garantir que mesmo as regiões de menor eficiência na PCR sejam representadas no sequenciamento. Esse foi o principal motivo pelo qual a estratégia de captura *in house* foi colocada de lado. Apesar de não ser a captura escolhida, seu desenho permitiu gerar materiais utilizados para as confirmações por sequenciamento Sanger, quando da aplicação do exame em rotina.

Na chamada de variantes, o software Torrent Suite v4.4 detectou uma quantidade maior de falsos positivos, apresentando sensibilidade reduzida quando comparado com o *pipeline* desenvolvido *in house* no sistema CLC Genomics. Apesar de baixa, ainda observamos taxa de 4,3 % de falsos positivos entre as variantes encontradas pelo método *in house*, que se devem, em sua maioria, a

regiões de homopolímeros. Esses erros são esperados, pois essa é uma limitação conhecida da técnica de sequenciamento em Ion Torrent, principalmente quando tratamos de genes com grande quantidade de regiões homopoliméricas, como é o caso do *BRCA1* e *BRCA2* (MICHILS et al., 2012).

Apesar de o desempenho do sequenciamento ter melhorado nessas regiões – com o lançamento de novos kits – sequências repetitivas ainda representam problemas recorrentes. Contudo, foi possível otimizar os parâmetros de bioinformática utilizados, melhorando a qualidade do mapeamento e da chamada de variantes e aumentando a sensibilidade e confiabilidade do diagnóstico final.

Ao final da validação, definiu-se que as regiões com baixa qualidade, ou com variantes em regiões de homopolímero seriam sequenciadas através da tecnologia Sanger.

Todas as mutações reportadas pelo laboratório Myriad foram identificadas, nas amostras validadas, com 100 % de exatidão, mostrando que nosso teste é confiável, visto que a Myriad é referência quando se trata de mutações em *BRCA1* e *BRCA2*.

Além disso, as repetições intra e interensaios mostraram que o teste é reprodutível. Não foi possível obter valores de especificidade para o teste, pois não possuímos informações de todas as variantes presentes nas amostras. Entretanto, nas regiões analisadas por sequenciamento Sanger para confirmação das variantes, nenhuma outra alteração foi encontrada, além das observadas por NGS.

Em relação à amostra referência NA12878,

quatro variantes não foram detectadas em nosso *workflow*. Entretanto, ao analisar o mapeamento, observamos que essas variantes se localizam em pontos de extremidade dos amplicons alvo (5' ou 3'), regiões normalmente com bases de qualidade menor, nos limites exon-intron, com baixa qualidade no mapeamento e que não contêm variantes clinicamente significativas.

Os testes de MLPA também demonstraram alta reprodutibilidade, com resultados concordantes entre as repetições e a detecção de todas as alterações esperadas nos controles positivos.

Uma das amostras apresentou queda do sinal de fluorescência para uma das sondas do *BRCA2* devido a uma variante presente exatamente no local da hibridação, o que gerou resultado duvidoso quanto à presença de uma deleção. Essa observação é importante para demonstrar que os resultados do sequenciamento e de MLPA são complementares e que a análise minuciosa e interpretação dos dados por profissionais qualificados é essencial para o diagnóstico.

O teste para as três mutações, comuns a judeus Ashkenazi, resultou em exame simples, porém com alta qualidade de sequenciamento e boa reprodutibilidade. É importante a criação de um painel para essas mutações específicas, pois pessoas que já possuem histórico familiar de câncer de mama e/ou ovário, descendentes de judeus Ashkenazi, têm grandes chances de possuir uma dessas variantes e podem realizar esse teste direcionado, mais rápido e barato. A

interpretação sobre patogenicidade de uma variante tem como principal fundamento a comparação com bases de dados e informações da literatura. Considerando-se cerca de 9.500 variantes, que agora compõem o banco de dados montado, e mais de 300 amostras, sequenciadas por mais de 10 anos, em parceria com o laboratório Myriad, o banco de dados construído pelo Grupo Fleury, provavelmente, constitui o maior repositório de variantes dos genes *BRCA1* e *BRCA2*, em todo o País.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O workflow de análise completa dos genes *BRCA1* e *BRCA2* mostrou-se eficiente e acurado na detecção de mutações e indels por NGS, utilizando a plataforma Ion Torrent PGM, além de inserções e deleções grandes com a técnica de MLPA.

A seleção de metodologia robusta de preparo e sequenciamento de amostras, aliada às ferramentas de bioinformática otimizadas para a análise dos dados gerados, possibilitou o desenvolvimento de testes sensíveis e com alta reprodutibilidade. A validação descrita neste trabalho proporcionou a integração de oito novos produtos na rotina clínica do laboratório:

- *BRCA1e2*: inclui sequenciamento completo e MLPA de ambos os genes;
- *BRCA1*: sequenciamento e MLPA, apenas de *BRCA1*;

- *BRCA2*: sequenciamento e MLPA, apenas de *BRCA2*;
- *BRCA1*FAM: sequenciamento de uma região contendo mutação no gene
- *BRCA1*, já conhecida na família;
- *BRCA2*FAM: sequenciamento de uma região contendo mutação no gene
- *BRCA2*, já conhecida na família;
- *BRCAASHK*: painel de três mutações comuns em judeus Ashkenazi
- MLPA\_*BRCA1*: identificação de grandes inserções e deleções no gene *BRCA1*
- MLPA\_*BRCA2*: identificação de grandes inserções e deleções no gene *BRCA2*

Além de aumentar o portfólio de exames do Grupo Fleury, o projeto permitiu a inserção de nova plataforma na rotina de análises moleculares.

Outro aspecto a ser destacado é que a realização do teste em território nacional está alinhada às diretrizes da Agência Nacional de Saúde (ANS), permitindo a cobertura do exame por planos de saúde. A redução de custos, trazida pela implementação da nova tecnologia, permitiu ainda uma redução de preço final ao cliente.

Tais resultados têm impacto não apenas no volume de amostras a serem processadas, mas também permitem que um número maior de pessoas em risco possa ser atendido, impactando diretamente a prevenção de uma doença tão marcante como o câncer de mama.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEBI, S. et al. **Primary breast cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up.** *Annals Of Oncology*, [s.l.], v. 22, n. 6, p.12-24, 1 set. 2011. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/annonc/mdr371>.

ANTONIOU, A. et al. **Average Risks of Breast and Ovarian Cancer Associated with *BRCA1* or *BRCA2* Mutations Detected in Case Series Unselected for Family History: A Combined Analysis of 22 Studies.** *Am. J. Hum. Genet., UK*, n. 72, p.1117-1130, abr. 2003.

BOZOVIC-SPASOJEVIC, I. et al. **Chemoprevention for breast cancer.** *Cancer Treatment Reviews*, [s.l.], v. 38, n. 5, p.329-339, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ctrv.2011.07.005>.

CASTRO, E. et al. **Germline *BRCA* Mutations Are Associated With Higher Risk of Nodal Involvement, Distant Metastasis, and Poor Survival Outcomes in Prostate Cancer.** *Journal Of Clinical Oncology*, [s.l.], v. 31, n. 14, p.1748-1757, 8 abr. 2013. American Society of Clinical Oncology (ASCO). <http://dx.doi.org/10.1200/jco.2012.43.1882>.

Instituto Nacional de Câncer (INCA) /MS. **Estimativa 2016: Incidência de câncer no Brasil.** Rio de Janeiro: INCA; 2016. Disponível em: <http://bit.ly/29behql>

JACKSON, Stephen P.; BARTEK, Jiri. **The DNA-damage response in human biology and disease.** *Nature*, [s.l.], v. 461, n. 7267, p.1071-1078, 22 out. 2009. Nature Publishing Group. <http://bit.ly/2dq2XIQ>

KHANNA, Kum Kum; JACKSON, Stephen P.. **DNA double-strand breaks: signaling, repair and the cancer connection.** *Nature Genetics*, [s.l.], v. 27, n.

3, p.247-254, 1 mar. 2001. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/85798>.

MALONE, K. E. et al. **Population-Based Study of the Risk of Second Primary Contralateral Breast Cancer Associated With Carrying a Mutation in BRCA1 or BRCA2**. *Journal Of Clinical Oncology*, v. 28, n. 14, p.2404-2410, 5 abr. 2010. American Society of Clinical Oncology (ASCO).

MICHILS, Geneviève et al. **Molecular Analysis of the Breast Cancer Genes BRCA1 and BRCA2 Using Amplicon-Based Massive Parallel Pyrosequencing**. *The Journal Of Molecular Diagnostics*, [s.l.], v. 14, n. 6, p.623-630, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmoldx.2012.05.006>

MORAN, A. et al. **Risk of cancer other than breast or ovarian in individuals with BRCA1 and BRCA2 mutations**. *Familial Cancer*, [s. L.], v. 11, n. 2, p.235-242, jun. 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s10689-011-9506-2>

NIH, **BRCA1 and BRCA2: Cancer Risk and Genetic Testing**. Disponível em: <http://bit.ly/2dKbDdL>

O'DONOVAN, P. J.; LIVINGSTON, D. M.. **BRCA1 and BRCA2: breast/ovariancancer susceptibility gene products and participants in DNA double-strand break repair**. *Carcinogenesis*, [s.l.], v. 31, n. 6, p.961-967, 16 abr. 2010. Oxford University Press (OUP).<http://dx.doi.org/10.1093/carcin/bgq069>.

PAL T, PERMUTH-WEY J, BETTS JA, et al. **BRCA1 and BRCA2 mutations account for a large proportion of ovarian carcinoma cases**. *Cancer* 2005; 104(12):2807-16.

REBBECK, Timothy R. et al. **Association of Type and Location of BRCA1 and BRCA2 Mutations With Risk of Breast and Ovarian Cancer**. *Jama*, v. 313, n. 13, p.1347-1361, 7 abr. 2015. American Medical Association (AMA).

ROY, Rohini; CHUN, Jarin; POWELL, Simon N..

**BRCA1 and BRCA2: different roles in a common pathway of genome protection**. *Nature Reviews Cancer*, [s.l.], v. 12, n. 1, p.68-78, 23 dez. 2011. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/nrc3181>.

STRUEWING, Jeffery P. et al. **The Risk of Cancer Associated with Specific Mutations of BRCA1 and BRCA2 among Ashkenazi Jews**. *New England Journal Of Medicine*, [s.l.], v. 336, n. 20, p.1401-1408, 15 maio 1997. *New England Journal of Medicine (NEJM/MMS)*. <http://dx.doi.org/10.1056/nejm199705153362001>.

# 09

## **GESTÃO DE PROJETOS NA IMPLANTAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE ENSAIO E PESQUISA**

**ATENDENDO AOS REQUISITOS DA NBR ISO/IEC 17025:2005**





---

## CINARA PAVESI EINSFELD

— **Graduada em Engenharia de Produção**  
Univille, Joinville, SC, Brasil.

— **Capacitada como Profissional em Metrologia**  
CERTI - UFSC, Florianópolis, SC, Brasil

Graduada em Engenharia de Produção Mecânica pela Univille, com formação profissional em Metrologia pela Fundação Certi, atua como bolsista na empresa Embraco, trabalhando na padronização dos laboratórios de P&D da empresa e na Acreditação dos mesmos conforme os requisitos da ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.

# embraco

---

✉ [cinarapavesi@gmail.com](mailto:cinarapavesi@gmail.com)



Rua Coronel Vieira, 1387,  
Jardim Iriirú, Joinville,  
SC, Brasil.  
CEP: 89224031



(47) 84354087.

## RESUMO

---

**# PALAVRAS CHAVE** | Laboratórios. ABNT NBR ISO/IEC 17025. Sistema de Gestão da Qualidade.

---

A utilização de Sistemas de Gestão da Qualidade para laboratórios têm-se tornado prática cada vez mais comum, devido à pressão de diferentes órgãos do governo e à necessidade dos laboratórios de garantir a confiabilidade dos seus resultados. Segundo OLIVARES e LOPES (2012), a ISO/IEC 17025 é um sistema de gestão requerido e reconhecido mundialmente. Porém, implantar laboratórios de acordo com os requisitos dessa norma é um desafio que exige extenso planejamento. Dentro desse contexto, surgiu a necessidade de criar um método inovador para implantação de laboratórios, mediante a utilização da gestão de projetos para facilitar o planejamento, definir um prazo ideal, reduzir custos de implantação e garantir o desempenho dos laboratórios nas auditorias.

## ABSTRACT

---

# KEYWORDS | Laboratories. ABNT NBR ISO/IEC 17025. Quality Management System.

---

*The use of quality management systems for laboratories have become an increasing common practice because of pressure from various government agencies and the need for laboratories to ensure the reliability of its results. According OLIVARES and LOPES (2012) ISO / IEC 17025 is a management system required and recognized worldwide. However setting up laboratories in accordance with the requirements of this standard is a challenge that requires extensive planning. Within this context came the need to create an innovative method of planning for setting up laboratories, through the project management to facilitate planning, define ideal a deadline, cost of implementation and ensure laboratory performance audits.*

## INTRODUÇÃO

A presente pesquisa foi desenvolvida com base nas demandas de uma empresa multinacional, que atua na produção de compressores para aparelhos de refrigeração, cuja constante expansão motivou a necessidade de criar metodologia para planejamento e implantação dos seus laboratórios de ensaio e pesquisa.

Historicamente, cada vez que se fazia necessária a construção de uma nova estrutura de laboratórios na empresa, o planejamento sempre se iniciava do zero, havendo, conseqüentemente, uma dificuldade da gerência em estabelecer estimativas de prazos e custos para implantação.

O primeiro desafio para a implantação de um novo laboratório é a variedade de informações que é necessário reunir, em diferentes áreas de conhecimento. A utilização da Gestão de Projetos pode trazer vantagens nesse sentido, tais como o aprimoramento do desempenho geral do projeto, redução da duração e dos riscos, aumento da qualidade, aperfeiçoamento da comunicação e padronização de metodologias aplicáveis a todos da organização (Heldman, 2005). Conforme Barcaui (2004), projetos bem gerenciados diminuem incertezas e atingem a satisfação dos clientes.

Segundo Albano e Caten (2016), gestão de projetos é um tema amplo, com múltiplas e diferentes possibilidades de aplicação, por meio das quais se pode fazer a aplicação de alguns conceitos em várias áreas de conhecimento.

Segundo Favaro e Silva (2014, p.6), o gerenciamento de projetos utiliza ferramentas para levantar os principais requisitos e identificar a melhor forma de obtê-los. O objetivo da utilização das ferramentas de gestão de projetos é melhorar o planejamento e manter um histórico, que auxilie em novas implantações. Segundo o PMI (2013, p.8), o gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, com a finalidade de atender a seus requisitos.

Conforme Favaro e Silva (2014 p.4):

*“ Para a realização dos projetos de forma a obter os resultados esperados é necessário o emprego de uma metodologia de gerenciamento, isto é, buscar formas de padronizar as funções de planejamento, execução e monitoramento das tarefas e atividades de uma pessoa ou equipe, a fim de alcançar os objetivos pretendidos”.*

A gestão de um projeto envolve a execução de cinco processos gerenciais: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle e encerramento (PMI, 2013). Neste projeto, serão analisadas as ferramentas das fases de iniciação e planejamento, para desenvolver a metodologia de implantação de laboratórios. Na fase de iniciação, faz-se o levantamento de todos os recursos necessários para concretização do projeto. São atividades principais desse processo: elaboração da proposta e aprovação da gerência, seleção de projetos, aprovação de clientes e autorização para realização.

A segunda fase é a de planejamento, quan-

do serão definidos os caminhos para que os objetivos sejam alcançados. Essa fase pode compreender várias atividades, tais como definição da equipe, definição do escopo do projeto e elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Conforme Candido (2012, p.17), essa ferramenta é utilizada para decompor e analisar todas as partes de um projeto.

A inovação dentro desta pesquisa surge da necessidade de se criar um método de implantação de laboratórios, unindo as ferramentas de gestão de projetos e os requisitos do sistema de gestão da qualidade da ABNT NBR ISO/IEC 17025. A ABNT NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos Gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, publicada no Brasil em 2005, tem como objetivo especificar os requisitos gerais para competência em realizar ensaios e/ou calibrações, incluindo amostragem. Esta norma pode ser utilizada como base para desenvolvimento de um Sistema de Gestão Laboratorial (SGL), para acreditação ou para reconhecimento, por outros organismos, dos resultados de ensaio do laboratório, conforme a já citada NBR 17025 (2005 p.1):

*“Esta norma deve ser utilizada por laboratórios no desenvolvimento do seu sistema de gestão para qualidade, operações técnicas e administrativas. Clientes de laboratórios, autoridades regulamentadoras e organismos de acreditação podem também usá-la na confirmação ou no reconhecimento da competência de laboratórios”.*

A acreditação é o reconhecimento for-

mal por organismo de Avaliação da Conformidade – OAC (laboratório, organismo de certificação ou organismo de inspeção), que verifica se o projeto atende a requisitos previamente definidos e demonstra a competência necessária para realizar suas atividades com confiança e credibilidade<sup>1</sup>.

O atendimento aos requisitos da ABNT NBR ISO/IEC 17025 é vital para a empresa participante da pesquisa, para que os resultados dos ensaios laboratoriais possam ser utilizados na certificação dos produtos para venda.

De acordo com o Inmetro (2016), a certificação de produtos é a atestação fornecida por um Organismo de Certificação de Produto (OCP), com base em análise que comprova a conformidade de um produto com os requisitos especificados, o que permitirá a posterior produção/comercialização.

A empresa recebe anualmente avaliação das OCP's, que realizam auditorias nos laboratórios com base em alguns dos requisitos da NBR 17025, motivo pelo qual a implantação de um SGL deve sempre estar em conformidade com os requisitos da norma.

---

<sup>1</sup> No Brasil, a acreditação de laboratórios de ensaios e calibração é realizada pela CGCRE/Inmetro, que credencia os laboratórios na Rede Brasileira de Calibração (RBC) e pela Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios (RBLE).

## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia de implantação de laboratórios de ensaio e pesquisa, de acordo com os requisitos técnicos e de gestão da ABNT NBR ISO/IEC 17025. Os objetivos específicos são a utilização da gestão de projetos no planejamento para implantação de novos laboratórios e o levantamento da documentação necessária para implantação do SGL, por base na norma.

## MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida na matriz da empresa, que possui nove laboratórios de ensaio e pesquisa em diferentes áreas de especialização. Foram realizadas reuniões semanais com as lideranças dos laboratórios, para analisar todas as necessidades de planejamento visando à montagem de uma nova estrutura de laboratórios.

As principais entregas do projeto foram definidas e mapeadas através da ferramenta de gestão de projetos denominada EAP – Estrutura Analítica do Projeto, escolhida por ser uma ferramenta visual que permite a estruturação de um projeto de forma simples, além de conter todo o trabalho necessário para a conclusão do projeto.

Seguindo as propostas contidas na EAP, foram elaborados modelos básicos de especificação para cada entrega, utilizando como padrão os laboratórios da matriz da empresa. Um modelo padrão de layout foi desen-

volvido, juntamente com as especificações das necessidades básicas de infraestrutura, móveis, equipamentos e pessoas.

Para os laboratórios já existentes – e que ainda não possuíam um SGL – foi feito o levantamento e a elaboração de todos os documentos necessários.

## RESULTADOS

O objetivo da EAP é servir como padronização para o planejamento. Cada vez que se fizer necessária a implantação de nova planta de laboratórios, o responsável pelo projeto deverá utilizar a ferramenta como base, o que garante maior assertividade ao planejamento. Para auxiliar na implantação do SGL e atender aos objetivos específicos deste artigo, os itens 1.7 e 2.5 da EAP são detalhados na figura 1.

## ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

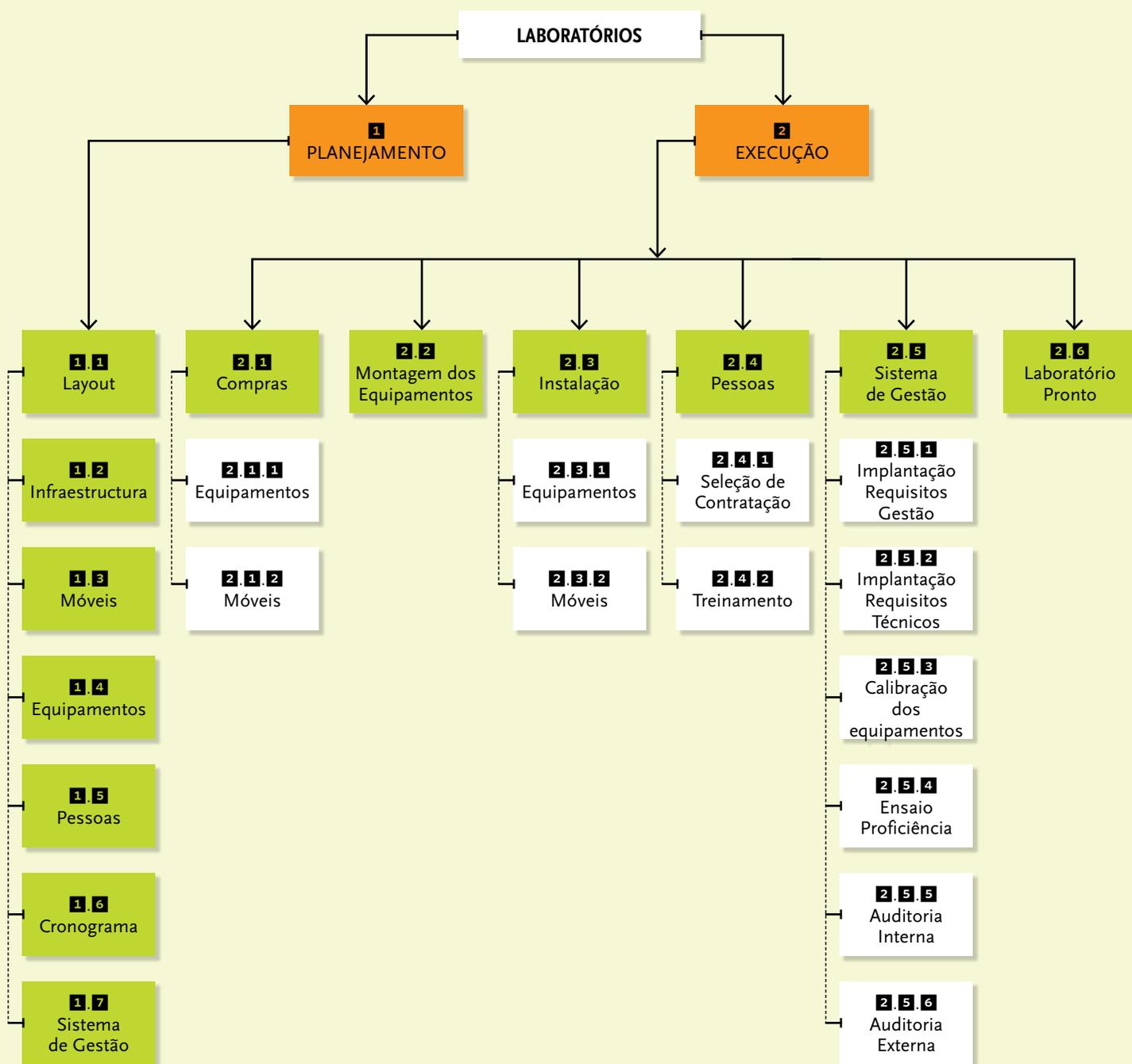


FIGURA 1 - Estrutura Analítica do Projeto

Fonte: Primária, (2016)

## DICIONÁRIO DA ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

### PLANEJAMENTO

NÍVEL—EAP	DEFINIÇÃO	ENTREGA	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
1.1 LAYOUT	Desenvolver o layout	Planta baixa	Considerar todos os equipamentos e móveis.
1.2 INFRAESTRUTURA	Definir as necessidades de infraestrutura	Planilha Excel	Conter descrição detalhada da necessidade.
1.3 MÓVEIS	Definir os móveis necessários	Planilha Excel	Conter as especificações: alocação, dimensão e custo.
1.4 EQUIPAMENTOS	Definir os equipamentos necessários	Planilha Excel e pasta com especificações	Conter as especificações: item, alocação, dimensão, prazo e custo.
1.5 PESSOAS	Definir a equipe de trabalho	Planilha Excel	Conter as especificações: quantidade, pré-requisitos e cargo.
1.6 CRONOGRAMA	Desenvolver o cronograma do projeto	Arquivo Microsoft Project	Possuir a duração das tarefas e alocação de recursos, aprovada pela Direção do Projeto.
1.7 SISTEMA DE GESTÃO	Elaborar os procedimentos e registros conforme figura 2	Arquivos Microsoft Word e PDF	Incluir e aprovar todos os documentos no Sistema de Controle de Documentos.

**TABELA 1- Dicionário da EAP: Planejamento**

Fonte: Primária, (2016)

## EXECUÇÃO

NÍVEL—EAP	DEFINIÇÃO	ENTREGA	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO
2.1 COMPRAS	Aquisição de móveis e equipamentos	Pedido de compra	Estar de acordo com especificações, prazo e custo planejado.
2.2 MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS	Equipamentos desenvolvidos pelos Laboratórios	Equipamento em funcionamento	Equipamento aprovado nos testes
2.3 INSTALAÇÃO	Instalação de móveis e equipamentos	Móveis e equipamentos instalados	Móveis montados, equipamentos em funcionamento
2.4 PESSOAS	Contratação e treinamento dos funcionários	Funcionários contratados e treinados	Estar de acordo com descrição de cargo e treinamento planejado.
2.5 SISTEMA DE GESTÃO	Implantação do Sistema, calibração de equipamentos, interlaboratorial e aprovação na auditoria externa	Certificado do laboratório	Atender aos requisitos da NBR ISO/IEC 17025.
2.6 LABORATÓRIO	Entrega do laboratório	Laboratórios	Laboratórios em funcionamento e aprovados na auditoria

TABELA 2- Dicionário da EAP: Execução

## DOCUMENTAÇÃO PARA O SISTEMA DE GESTÃO LABORATORIAL

Na fase de planejamento do projeto, para atendimento ao item 1.7 – Sistema de gestão – deve-se iniciar a elaboração dos procedimentos e registros, conforme figura 2:

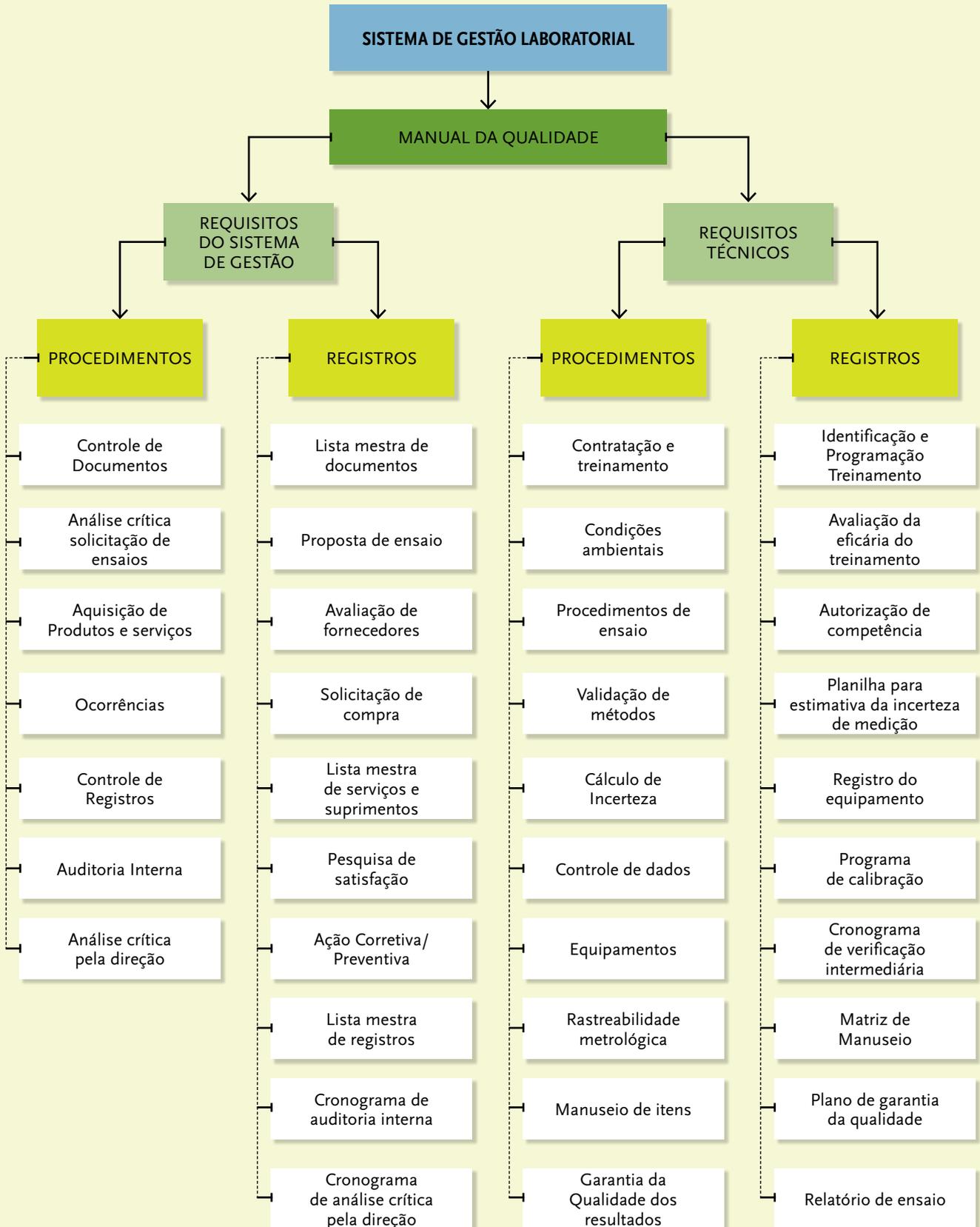


FIGURA 2 - Modelo básico para elaboração da documentação do SGL  
Fonte: Primária, (2016)

Dentro deste modelo, o Manual da Qualidade deve citar os procedimentos para atendimento de cada requisito da ABNT NBR ISO/IEC 17025. Esses procedimentos devem, por sua vez, citar os registros necessários.

Para o item 2.5 do planejamento foi elaborada a figura 3, que apresenta as principais atividades de execução da implantação do sistema de gestão laboratorial consideradas neste projeto, além de uma sugestão para planejamento do cronograma, considerando um projeto com prazo de um ano e com o objetivo de acreditação no SGCRE.

### PRINCIPAIS ATIVIDADES PARA A FASE DE EXECUÇÃO DO PROJETO

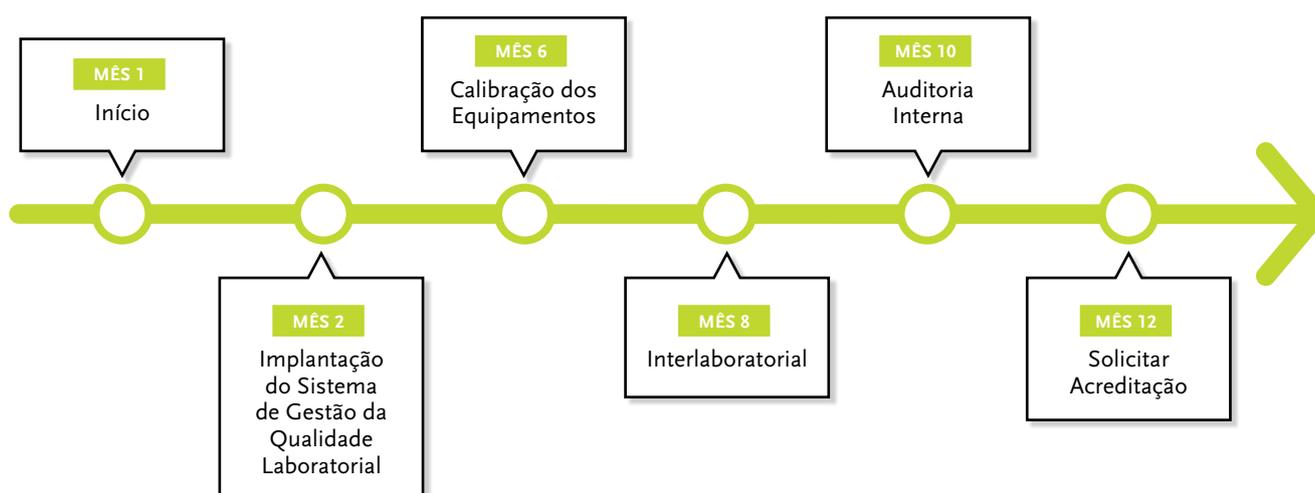


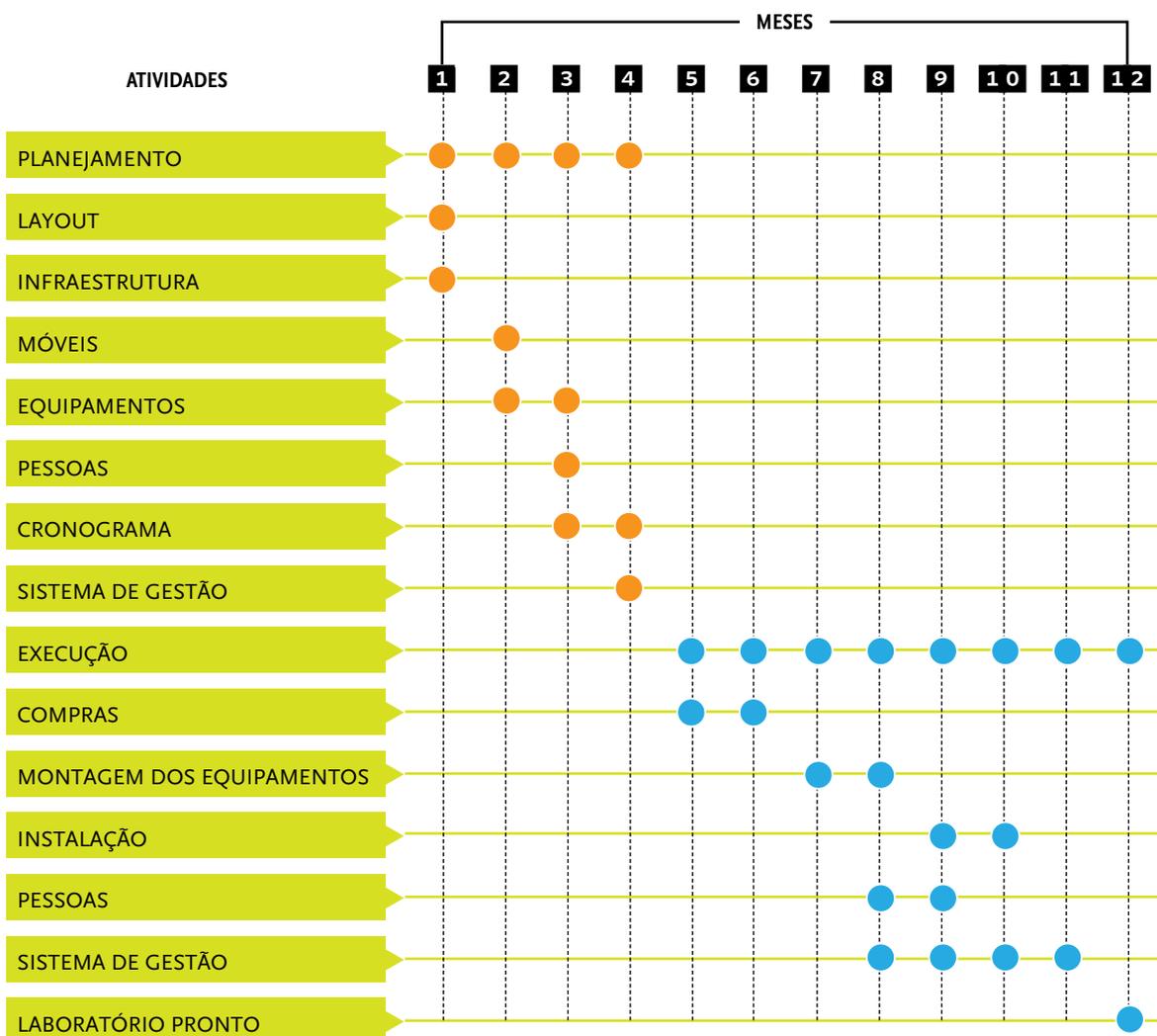
FIGURA 3 - Principais atividades para a fase de execução do projeto  
Fonte: Primária, (2016)

### DISCUSSÃO

Observou-se neste projeto que a implantação de laboratórios e do seu SGL exige integração entre diversas áreas da empresa, (compras, recursos humanos, qualidade, etc) e a formação de uma equipe multidisciplinar, com conhecimentos técnicos e de gestão. Dentro dessa realidade, o planejamento e o uso das ferramentas de gestão se torna essencial para o sucesso da implantação.

Através desta pesquisa, foi possível definir que o prazo ideal para planejamento e implantação de laboratórios seria de um ano. O cronograma apresentado na tabela 3 é considerado modelo para projetos futuros.

**PROPOSTA DE CRONOGRAMA PARA PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DE LABORATÓRIOS**



**TABELA 3 - Proposta de cronograma para planejamento e implantação de laboratórios**  
 Fonte: Primária, (2016)

### INVESTIMENTO MENSAL DO PROJETO

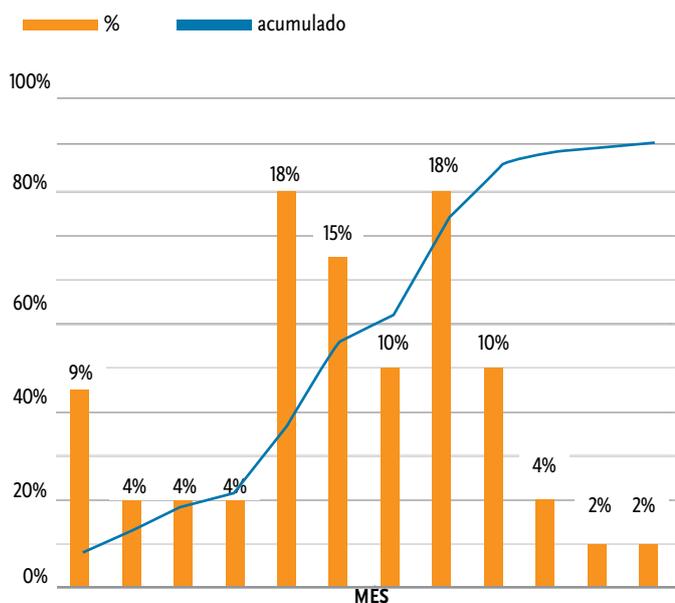


FIGURA 4 - Investimento mensal do projeto  
Fonte: Primária, (2016).

### NÃO CONFORMIDADES

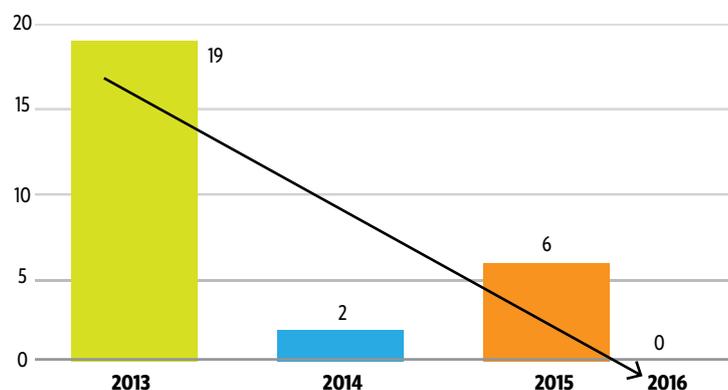


FIGURA 5 - Histórico das não conformidades de produtos na planta matriz da empresa  
Fonte: Primária, (2016).

Outro resultado alcançado foi a estimativa de valores para implantação dos laboratórios. Utilizando as especificações de infraestrutura, móveis, equipamentos e pessoas elaboradas durante o projeto, a gerência pôde obter facilmente uma estimativa de custos para realização do projeto. A figura 4 apresenta a porcentagem do valor orçado, a ser aplicado a cada mês, durante a execução do projeto.

Mudanças de estratégia dentro da organização impossibilitaram a implantação de uma nova planta de laboratórios durante o período da pesquisa, resultando numa lacuna para apresentação de mais resultados práticos, a serem obtidos com a utilização da metodologia.

A implantação do SGL em laboratórios já existentes, utilizando o método apresentado, comprovou-se eficiente, com a aprovação de dois laboratórios em auditoria de OCP – na qual não foi constatada nenhuma não conformidade.

O gráfico da figura 4 demonstra o histórico de auditoria de OCP na planta matriz. O resultado positivo incentivou a empresa a solicitar, no próximo ano, a acreditação do laboratório diretamente à CGCRE – Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro.

Segundo Arencibia (2005, p. 56), os principais resultados da implantação da NBR ISO/IEC 17025 são:

- aceitação de resultados de ensaios e calibração entre países;

- aumento da confiabilidade metrológica dos resultados;
- aumento significativo da produtividade da equipe do laboratório;
- cooperação entre laboratórios e outros organismos, auxiliando na troca de informação e de experiência e na harmonização de normas e procedimentos;
- melhoria da imagem do laboratório perante seus clientes;
- melhoria na organização interna.

Segundo Olivares e Lopes (2012), esta norma tem sido aplicada em diferentes tipos de laboratórios, como uma ferramenta de garantia da qualidade.

O autor salienta que a acreditação na ABNT NBR ISO/IEC 17025 é requerida e reconhecida internacionalmente para aplicação em diferentes laboratórios de rotina, sendo que, em laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento, a implantação da norma também pode ser importante ferramenta para assegurar a qualidade dos resultados, o que confere confiabilidade às pesquisas.

**Outros pontos de vital importância para o laboratório, que irá solicitar a acreditação à CG-CRE e que devem constar no planejamento:**

Calibração dos equipamentos rastreada à Rede Brasileira de Calibração: Para atender ao requisito referente à rastreabilidade metrológica, todo equipamento utilizado no ensaio – e que tenha efeito significativo

sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio – deve ser calibrado antes de entrar em serviço (NBR ISO/IEC 17025, 2005).

**Ensaio de Proficiência:**

Para receber a acreditação, o laboratório deve participar de Ensaio de Proficiência (EP). Albano e Caten (2016) definem que os EP são programas de comparação de resultados de medição, que visam identificar se as empresas envolvidas são tecnicamente competentes nos ensaios que realizam. Auditoria Interna: A NBR ISO/IEC 17025 (2005) cita que o laboratório deve, periodicamente, realizar auditorias internas, para verificar se suas operações continuam a atender aos requisitos do Sistema de Gestão e da norma.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido teve como objetivo apresentar metodologia de planejamento para implantação de laboratórios de ensaio e pesquisa. Utilizando a ferramenta de gestão de projetos EAP, foi estruturado o planejamento para implantação de um laboratório, desde o seu layout até a implantação do SGL.

A utilização de gestão de projetos auxiliou na criação de uma base de dados para futuros projetos e permitiu à gerência fácil acesso à informação para elaboração de uma estimativa de custo e prazo de implantação. A base de dados criada para o projeto serve como guia para facilitar o planejamento de novas plantas de laboratórios, atendendo às neces-

sidades da empresa. O uso de ferramentas de gestão de projetos também incentiva a empresa a manter históricos e registros dos seus projetos, o que pode auxiliar em futuras implantações.

Conforme Candido (2012), a manutenção dos registros dos projetos permite elaborar um histórico, que contribui para ampliar o know-how da organização.

Para implantação do SGL, baseado nos requisitos da NBR 17025, o trabalho apresentou uma proposta de estrutura de documentos e registros a serem elaborados, implantada em dois laboratórios da organização. O alcance dos objetivos propostos garantiu a aprovação dos laboratórios nas auditorias.

Durante a pesquisa, constatou-se que a utilização da gestão de projetos facilita a implantação de um SGL, e os resultados positivos obtidos podem incentivar o uso da ferramenta em diferentes laboratórios, auxiliando no planejamento para implantação de um SGL para fins de acreditação perante o Inmetro. Para os próximos estudos, sugere-se uma análise da utilização de gestão de projetos na fase de execução de um projeto de laboratórios, utilizando ferramentas para controle de prazo, custos e qualidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005. *Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Calibração e de Ensaios*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ALBANO, Filipe de Medeiros; CATEN, Carla Schwengber ten. *Gestão de Projetos e ensaios de proficiência por comparação interlaboratorial*. Banas Metrologia. Janeiro de 2016. Disponível em: <http://bit.ly/2dykgEZ>

ARENCIBIA, Rosenda Valdés. NBR ISO/IEC 17025 “*Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração*”. 3º seminário de metrologia, 2005.

BARCAUI, André B. *O Desafio do Sucesso em Projetos de Tecnologia da Informação*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Programa de Engenharia de Produção, 2004. Disponível em: <http://bit.ly/2diDteu>

CANDIDO, Roberto et. al. *Gerenciamento de Projetos*. 1ª ed. Curitiba: Aymar, 2012.

FAVARO, Suellen Cristina; SILVA, Ovídio Felipe Pereira da. *A importância do escritório de projetos na gestão pública*. 2014. Disponível em: <http://bit.ly/2clcp62> Acesso em: 04 de julho de 2016.

HELDMAN, Kim. *Gerência de projetos: fundamentos: um guia prático para quem quer ter certificação em gerência de projetos*. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *Estrutura Hierárquica de Rastreabilidade*. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em 15 de julho de 2016.

OLIVARES, Igor Renato Bertoni, LOPES Fernando Antunes. *Essential steps to providing reliable results using the Analytical Quality Assurance Cycle*. Trends in Analytical Chemistry, vol.35, 2012.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 5ª ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.

SQUIRRELL, A. *Conformity Assessment: providing confidence in testing and calibration*. *Accreditation and Quality Assurance Journal for Quality Comparability and Reliability in Chemical Measurements*. Volume 13. Nº 9. Páginas 543-546, 2008.

# 10

**DESENVOLVIMENTO DE  
PROCESSO PARA O AUMENTO DE  
PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA  
DA CONSTRUÇÃO CIVIL**



---

## JANINE GINELI SERAFIM

—  
*Graduada em Engenharia Civil*  
CESMAC, Maceió-AL

—  
*Pós-graduanda em MBA*  
*Gerenciamento de Projetos*  
FGV, Maceió-AL

A autora iniciou sua experiência profissional como estagiária na Cerutti engenharia. Após a formação tornou-se bolsista do Programa Inova Talentos e passou a atuar na em empresa como Engenheira Civil, responsável pelo Sistema de Gestão da Qualidade e pelo controle de produtividade de obras.

! O autor gostaria de agradecer a todos da equipe Cerutti Engenharia, que ajudaram a desenvolver esse projeto, em especial ao diretor-presidente Gelson Luiz Cerutti, e ao mestre Lucas Sorgato, pela revisão e formatação desse artigo.



**CERUTTI**  
ENGENHARIA

---

✉ [janine\\_gineli@hotmail.com](mailto:janine_gineli@hotmail.com)



Av. Dr. Antônio Gouveia, 817,  
Edf. Palazzo Venezia, apt. 1002  
Pajuçara, Maceió – AL  
CEP: 57030-170



(82) 99993-1801  
(82) 3022-2575

## RESUMO

---

# PALAVRAS CHAVE | produtividade; processos; competitividade

---

A produtividade está intimamente ligada à melhor ou pior utilização dos recursos produtivos disponíveis em uma empresa, tais como: espaço físico, ferramentas, mão de obra, insumos, técnicas de gerenciamento, meios de transporte interno e externo, informatização, horário de trabalho, etc. Diante desses múltiplos fatores, o fato de produzir “mais com menos” acabou por atrair os gestores e diretores da Cerutti Engenharia. Conhecendo os baixos indicadores de produtividade do trabalhador brasileiro – quando comparados, por exemplo, com os indicadores do trabalhador norte-americano – surgiu o interesse da empresa em enfrentar os novos desafios impostos pela globalização. Daí o surgimento desse projeto, que teve por objetivo aumentar a produtividade dos profissionais no canteiro de obras, de modo a trazer mais eficiência à Cerutti, além de inspirar outros empresários, no sentido de empreender esforços para aumentar a média nacional brasileira em suas empresas. Para tanto, a produtividade de cada trabalhador foi acompanhada diariamente, para cada serviço em execução. Paralelamente, foram realizados treinamentos semanais, visando identificar os gargalos nos processos produtivos, o que deu margem à pesquisa de novas ideias e tecnologias, adaptáveis à realidade da empresa, posteriormente testadas, medidas e quantificadas. Como resultante desse processo, houve aumento significativo na produtividade em geral, consubstanciada na qualidade dos serviços, cumprimento de cronogramas, satisfação dos clientes e aumento da competitividade mercadológica.

## ABSTRACT

# KEYWORDS | productivity; processes; competitiveness

*Productivity is closely linked to better or worse use of available productive resources in an enterprise, including: physical space, tools, labor, inputs, management techniques, through internal and external transport, computerization, working hours, etc. . Thus, the fact produce “more with less” has increasingly attracted to the idea of managers and directors of Cerutti Engineering. Knowing the current situation of the country on the productivity levels of the Brazilian worker compared to the American worker and the company’s interest in face with excellence the new challenges posed by globalization of the economy, the project aims to increase productivity of professionals in the construction site through studies, records, research, development with new techniques, materials and equipment, and from that, bring more efficiency to the company as well as inspire other entrepreneurs and engineers in the country, in order to increase the national average Brazilian. As the project methodology was followed daily productivity of each worker in each service running as well, conducted weekly training of the workforce, where we identify bottlenecks in production processes and with this study and research new ideas and technologies (adaptive the reality of the company), test them, measure them and quantify the gains acquired. The result is a significant increase in productivity as a whole, as well as the quality of services, schedule compliance and customer satisfaction.*

## INTRODUÇÃO

### AO PROBLEMA: PRODUTIVIDADE, INOVAÇÃO E COMPETITIVIDADE

Segundo estudos da Ernst & Young (2014)<sup>1</sup>, a contribuição do ramo da construção civil para a economia vem aumentando. Afinal, quanto maior a solidez do mercado da construção civil no país, maiores serão os resultados positivos para a economia nacional.

Exatamente por isso, cresce a necessidade das empresas brasileiras – com cronogramas e orçamentos apertados e créditos escassos – imprimirem maior produtividade no canteiro de obras, de modo a responder assertivamente a esses novos desafios, impostos pelo crescimento.

Pesquisa publicada no jornal “Folha de São Paulo”, no primeiro semestre de 2015, relata que são necessários quatro brasileiros para atingir a mesma produtividade de um trabalhador norte-americano, como reflexo do baixo nível educacional, da falta de qualificação da mão de obra, dos gargalos da infraestrutura e dos poucos investimentos em inovação e tecnologia no país. Nesse sentido, a competitividade empresarial como um todo é fortemente afetada. Conforme o trabalho da Ernst & Young<sup>2</sup>, no ano de 2014,

os *gaps* de produtividade na construção civil podem ser atribuídos à baixa qualificação da mão de obra, seguida da falta de métodos de gestão apropriados e lacunas no planejamento de empreendimentos.

Grande parte das empresas do ramo apenas se preocupa com treinamentos para gestores e engenheiros, esquecendo-se dos mestres, encarregados, técnicos e trabalhadores operacionais, que são os verdadeiros executores do serviço. Além disso, a pressão pela redução de custos no setor vem crescendo cada vez mais, diante do aumento de custos *versus* diminuição das receitas, o que resulta em menor margem de lucro nos negócios.

Com o intuito de aumentar a produtividade dentro dos canteiros de obras, o projeto tem como base a inovação de processos, segundo o Manual de Oslo<sup>3</sup>, que propõe mudanças significativas nos métodos de produção e de distribuição.

*“As inovações de processo podem visar reduzir custos de produção ou de distribuição, melhorar a qualidade, ou ainda produzir ou distribuir produtos novos ou significativamente melhorados.”*

Contudo, segundo Porter<sup>4</sup>, a estratégia competitiva, instrumento usado para a prosperidade empresarial, é também onerosa,

<sup>1</sup> ERNST & YOUNG. Estudos sobre produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil.

<sup>2</sup> Disponível em: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAs-sets/EY\\_Estudo\\_Produtividade\\_na\\_Construcao\\_Civil](http://www.ey.com/Publication/vwLUAs-sets/EY_Estudo_Produtividade_na_Construcao_Civil)

<sup>3</sup> OCDE. Manual de Oslo: diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. Finep. 3ª ed, 2006.

<sup>4</sup> PORTER, Michael E., Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior. Rio de Janeiro: Campus. Tradução de: Competitive advantage. 1990.

quando se realiza sua implantação, utilizando-se simultaneamente seus três conceitos genéricos: a) liderança de custo; b) diferenciação; c) enfoque. Para Porter, “A estratégia competitiva visa estabelecer uma posição lucrativa e sustentável contra as forças que determinam a competição industrial”. Ademais, conforme Berto Luiz Freitas Peixoto e Maria de Lourdes Barreto Gomes<sup>5</sup> (2007.)

*"[...] Although not every innovation has a high degree of scientific knowledge, the technological innovations is equally important when it comes to competitiveness, once, if it is true that there is a close connection between cutting edge technology and science, it is also true that implied knowledge, which is common in productive environments, company culture, which is not easily passed on, also engenders technology. He also reminds us that technology comes from the ability of the companies to innovate."*

O desenvolvimento desse processo tem relevância mercadológica fundamental para preparação das empresas, no intuito de enfrentar os novos desafios impostos pela globalização da economia. Segundo Alexander Ferreira Lavell para SEBRAE-SP<sup>6</sup> “É preciso diferenciar-se no mercado e essa diferenciação é parte integrante das vantagens competitivas que a empresa tem, frente aos seus competidores e o caminho certo para a diferenciação é a Inovação”. Logo, as inovações advindas de estudos e pesquisas visam guiar

<sup>5</sup> PEIXOTO; BARRETO, *Innovation and Productivity: A Study in Civil Construction Building Sub-Sector*, 2007, p. 2).

<sup>6</sup> LAVELLI, Alexander Ferreira. *Inovação e competitividade: uma estreita relação de sucesso*.

e mostrar, através de treinamentos, registros e acompanhamento, onde se pode melhorar, objetivando o aumento da produtividade e da qualidade dos serviços.

O processo do presente trabalho foi aplicado e validado no período de nov/14 a out/15, com excelentes resultados em uma empresa certificada pelo Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001 e PBQP-H nível A (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat), com cultura inovadora enraizada em seu sistema organizacional. Por ser situada em Alagoas, estado carente de uma estrutura educacional satisfatória – e com o maior índice de analfabetismo do país (IBGE, 2010) – o desafio se tornou ainda maior.

Há vários estudos e pesquisas sobre formas de aumento da produtividade na construção civil, tais como: “Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios” (MINGIONE Caio. 2016); “Produtividade na mão de obra no assentamento de revestimento cerâmico interno de parede” (LIBRAIS, Carlos; SOUZA, Ubiraci. 2002), além de “Construção civil – coletânea de inovações tecnológicas” (PINNAT, Jéssica; ALMEIDA, Nicolas; MORI, Luci. 2013) e “Sistema de informação gerencial para previsão de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação” (MORI, Luci. 2008). Porém, o diferencial deste projeto advém da medição diária e individual de cada colaborador.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Desenvolver processo de aumento da produtividade dos profissionais no canteiro de obras, por intermédio de estudos, registros, pesquisas, desenvolvimento de novas técnicas, materiais e equipamentos, ou seja, da evolução e inovação nos processos empresariais. Com isso, busca-se trazer mais eficiência às empresas, não somente no que se refere a tempo, custo e satisfação do cliente, como também servir de inspiração para que empresários, engenheiros e gestores das empresas brasileiras possam também explorar este estudo sobre a produtividade, a fim de aumentar a média nacional brasileira.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear os principais processos produtivos da empresa;
- Identificar os gargalos nos processos produtivos;
- Pesquisar novas tecnologias, adaptáveis à realidade da empresa;
- Testar e incorporar as novas tecnologias identificadas;
- Medir e quantificar os ganhos adquiridos com os estudos e testes realizados;
- Propor a construção de um manual operacional.

### METODOLOGIA

#### MAPEAMENTO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS CONSTRUTIVOS ATUAIS NA OBRA:

Registrar e identificar os principais serviços, que a obra executa e vai executar, pagos por empreitada e medidos individualmente em m<sup>2</sup> por trabalhador. Esses trabalhos apresentam grande demanda de execução, razão pela qual pode haver grandes chances de atrasos no cronograma executivo.

#### LEVANTAMENTO DOS GARGALOS MAIS FREQUENTES:

Identificar os gargalos encontrados com mais frequência no dia a dia da obra, desde o início até o fim da execução dos serviços, através de: a) reuniões com os diretores; b) reuniões com engenheiros e toda a equipe administrativa da obra; c) reuniões com a mão de obra operacional; e d) observações *in loco* dos processos construtivos mapeados.

#### AÇÕES DE COMBATE AOS GARGALOS:

Pesquisar maneiras para mitigar os gargalos rotineiros da obra, através de: a) reuniões de *brainstorm* com toda a equipe administrativa da empresa, b) estudo e análise das novas tecnologias de equipamentos, ferramentas e métodos de gestão introduzidos ao mercado; c) visitas técnicas a outras construtoras do estado, para realização de entrevistas sobre novos métodos construtivos e de gestão; e d) realização de treinamentos práticos semanais da mão de obra nos processos construtivos.

#### ACOMPANHAMENTO E VALIDAÇÃO DO PROCESSO:

Coletar e registrar diariamente a produtividade de cada colaborador em cada processo construtivo mapeado, do início ao fim, através de planilhas eletrônicas, desenvolvidas pela própria equipe administrativa da obra, a fim de se comparar a produtividade inicial e final do projeto.

## DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, foram mapeados os principais processos construtivos da Cerutti Engenharia, executados na obra piloto “Empreendimento Imobiliário IbGatto Falcão”.

Em sequência, foi criado pelo diretor-presidente, juntamente com a equipe administrativa da obra (engenheiros, mestre e encarregados), um manual operacional denominado “Cartilha Ilustrativa de Procedimentos de Execução de Serviços Resumidos”<sup>7</sup>, no qual foram descritos os principais procedimentos de cada atividade, visando garantir mais qualidade e produtividade e menos retrabalho.

Visto que a cartilha seria usada por todos

os colaboradores da obra, incluindo os próprios profissionais operacionais, utilizou-se linguagem simples e clara, para que todos pudessem entendê-la facilmente.

Nas obras, a maneira e a ordem correta dos serviços não era cumprida corretamente devido à correria do dia a dia e, às vezes, até mesmo pela falta de fiscalização dos serviços.

A cartilha foi então elaborada pontuando os principais requisitos de cada serviço, a ordem das atividades a serem executadas e as boas práticas, capazes de melhorar o ambiente de trabalho, aumentando a produtividade e a qualidade dos serviços.

Antes, os colaboradores tinham a cultura de sair do seu local de trabalho e já começar outro, antes mesmo da verificação pela parte

<sup>7</sup> <https://docs.google.com/uc?export=download&id=0B2kwzdWi3uUmdHI2NnVJdld2WEk>

## PROCESSOS CONSTRUTIVOS

	PRINCIPAIS GARGALOS	PRINCIPAIS AÇÕES DE COMBATE
<p><b>ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL</b></p> <hr/> <p><b>REVESTIMENTO INTERNO</b></p> <hr/> <p><b>CERÂMICA PISO</b></p> <hr/> <p><b>CERÂMICA PAREDE</b></p> <hr/> <p><b>CERÂMICA PISO BWC</b></p>	<p><b>1</b> Baixa qualificação da mão de obra;</p> <p><b>2</b> Logística de abastecimento de material insatisfatória;</p> <p><b>3</b> Necessidade de modernização de equipamentos;</p> <p><b>4</b> Sem registro algum da produtividade diária por colaborador;</p> <p><b>5</b> Trabalhadores desmotivados;</p> <p><b>6</b> Funcionário deixando serviços incompletos e local de trabalho sujo;</p> <p><b>7</b> Falta de uma sequência lógica das etapas dos serviços, que focasse na redução de futuro retrabalho.</p>	<p><b>1</b> Início do controle e acompanhamento diário de cada colaborador por serviço executado, através de planilha eletrônica;</p> <p><b>2</b> Construção de manual operacional “Cartilha Ilustrativa de Procedimentos de Execução de Serviços Resumidos” que objetiva a redução do futuro retrabalho, relatando as sequências lógicas dos serviços, o que exige maior fiscalização da equipe administrativa da obra perante a finalização e qualidade do serviço e limpeza do local;</p> <p><b>3</b> Introdução de novos equipamentos e ferramentas,</p> <p>que assegurassem mais qualidade e produtividade aos serviços: a) substituição da colher de pedreiro pela palheta no uso de alvenaria; b) máquinas de reboco projetado; c) máquina trituradora de entulho classe A e d) máquina esquadrejadeira; d) Melhoria na logística de abastecimento de material, através do sistema de fichas;</p> <p><b>4</b> Treinamentos práticos semanais da mão de obra;</p> <p><b>6</b> Identificação dos funcionários mais produtivos no mês, para realização de premiação.</p>
<p><b>CERÂMICA FACHADA</b></p>	<p><b>1</b> Baixa qualificação da mão de obra;</p> <p><b>2</b> Logística de abastecimento de material insatisfatória;</p> <p><b>3</b> Sem registro algum da produtividade diária por colaborador;</p> <p><b>4</b> Trabalhadores desmotivados.</p>	<p><b>1</b> Início do controle e acompanhamento diário de cada colaborador, através de planilha eletrônica;</p> <p><b>2</b> Melhoria na logística de abastecimento de material, através do sistema de fichas;</p> <p><b>3</b> Treinamentos práticos semanais da mão de obra;</p> <p><b>4</b> Identificação dos funcionários mais produtivos no mês, para realização de premiação.</p>
<p><b>PINTURA</b></p>	<p><b>1</b> Baixa qualificação da mão de obra;</p> <p><b>2</b> Sem registro algum da produtividade diária por colaborador;</p> <p><b>3</b> Falta de uma sequência lógica das etapas dos serviços, que focasse na redução de futuro retrabalho.</p> <p><b>4</b> Trabalhadores desmotivados.</p>	<p><b>1</b> Início do controle e acompanhamento diário de cada colaborador, através de planilha eletrônica;</p> <p><b>2</b> Construção de um manual operacional “Cartilha Ilustrativa de Procedimentos de Execução de Serviços Resumidos, que objetiva a redução do futuro retrabalho relatando as sequências lógicas dos serviços, o que exige maior fiscalização da equipe administrativa da obra perante a finalização e qualidade do serviço e limpeza do local;</p> <p><b>3</b> Treinamentos práticos semanais da mão de obra;</p> <p><b>4</b> Identificação dos funcionários mais produtivos no mês, para realização de premiação.</p>

**ACOMPANHAMENTO E VALIDAÇÃO DO PROCESSO** O acompanhamento da produtividade no decorrer de todo o processo foi feito diariamente, por colaborador e serviço executado, através de uma planilha eletrônica, permitindo assim realizar a comparação inicial x final e com isso validar o processo.

administrativa da obra. Dessa forma, muitas vezes o serviço ficava inacabado, com erros e sujeira no local. O processo gerava o indesejável “Efeito Dominó”: o próximo serviço a ser executado não podia ser concluído, devido ao serviço anterior se encontrar incompleto e assim por diante, o que gerava retrabalho.

Após a introdução da cartilha, toda a equipe da obra, agora ciente do passo a passo a ser seguido, só poderia sair de seu local de trabalho e iniciar nova empreitada após a liberação da equipe administrativa da obra. O diretor de obras e engenheira RD (Representante da Direção) da empresa passou a fiscalizar se a execução das obras estava sendo realizada de forma desejável, sendo o resultado encontrado levado à alta direção, por meio de relatórios técnicos.

Vale ressaltar que retrabalho é o grande motivo para estouros de orçamento. Segundo Ricardo André Fiorotti Peixoto (2013), “Se fizer bem, e bem feito, custa dez unidades de moeda; executar um retrabalho custa 100 unidades da mesma moeda”.

Importante destacar que retrabalho não significa simplesmente refazer o trabalho. Isso implica em paralisar várias frentes de serviço em andamento, a partir daquela etapa. Por exemplo, se surge um problema de piso, isso implica parar a turma da pintura, da eletricidade e do revestimento. Na construção civil, diferentemente da indústria em série, é necessário que tenhamos uma tarefa pronta, para que a próxima possa ocorrer. Por isso, o custo do retrabalho é tão alto.

Posteriormente, depois de realizada pes-

quisa de mercado, a fim de se verificar a utilidade de novas máquinas, equipamentos e processos produtivos, foram feitas aquisições de novos equipamentos e ferramentas, com grandes chances de aumentar a produtividade dos trabalhadores e a qualidade dos serviços. São eles:

- Uso da palheta no assentamento de alvenaria não estrutural;
- Máquinas de reboco projeto;
- Máquina trituradora;
- Máquina esquadrejadeira.

Realizaram-se então treinamentos semanais práticos da mão de obra nos serviços em execução, por meio dos quais os líderes explicaram detalhadamente todas as etapas do processo, bem como ouviram os trabalhadores sobre pontos específicos em que tinham mais dúvidas.

Além disso, ideias sobre como os profissionais operacionais poderiam aumentar sua produtividade diária foram estimuladas nesses treinamentos. Com isso, foi criado um livro com todas as sugestões fornecidas pelos colaboradores, cuja viabilidade foi analisada pelos gestores e engenheiros. Dessa forma, tornou-se possível identificar a média da produtividade dos serviços em execução. A partir daí, foram estipuladas metas de produção, desafiadoras porém alcançáveis, para cada tipo de serviço executado.

O acompanhamento da produtividade de cada trabalhador em produção começou a ser realizado diariamente e de forma contínua, ge-

rando a identificação dos gargalos encontrados, com foco nos principais serviços executados. Com base nesses dados, passou a ser calculada tanto a produtividade média mensal da equipe em cada serviço, como a produtividade média mensal de cada colaborador. Graças aos dados analisados, construíram-se relatórios técnicos mensais, descrevendo o acompanhamento realizado e revelando o atingimento ou não das metas estipuladas. Os gargalos encontrados foram subdivididos em: a) fato b) causa e c) ação.

Por meio desses relatórios, foram estudadas e pesquisadas formas para sanar ou diminuir tais gargalos, visando sempre a maior produtividade e a melhoria da qualidade dos serviços.

Através da coleta diária de dados, permitiu-se a identificação dos funcionários que atingiram a meta estipulada. Como proposta de motivação, foram realizados eventos de premiação, onde todos os trabalhadores em produção puderam conhecer suas respectivas médias de produtividade. A premiação foi dividida da seguinte maneira:

- . atingiu a meta: R\$ 150,00
- . mais produtivo (acima da meta):  
R\$ 200,00
- . mais produtivo (abaixo da meta):  
R\$ 100,00

Vale ressaltar que o maior intuito das pre-

miações foi o de motivar cada vez mais os operários. Assim, mesmo que nenhum deles atingisse a meta estipulada, foi realizada, da mesma forma, a premiação.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As planilhas de coleta de dados continham as seguintes variáveis: tipo de serviço, nome dos colaboradores trabalhando naquele determinado serviço, data, ocorrências diárias, produtividade diária e semanal por colaborador, bem como produtividade diária e semanal de toda a equipe.

Em sequência, desenvolveu-se mensalmente outra planilha, com o resumo de todos os dados coletados durante o mês, a qual fornecia a média final mensal de cada colaborador, bem como a média final mensal da equipe. Por fim, produziu-se o relatório técnico de evolução mensal da produtividade, direcionado à diretoria, com o objetivo de discutir, minuciosamente, formas de melhorar continuamente os processos produtivos da empresa.

**ACOMPANHAMENTO DIÁRIO  
DA PRODUTIVIDADE**

■ acima da meta     ■ outro serviço  
■ não produziu nada     ■ abaixo da meta

PEDREIROS BL A E B	27 DE JULHO		26 DE JULHO		29 DE JULHO		30 DE JULHO		31 DE JULHO		TOTAL MÉDIA
	OCORRÊNCIAS DIÁRIAS		OCORRÊNCIAS DIÁRIAS		OCORRÊNCIAS DIÁRIAS		OCORRÊNCIAS DIÁRIAS		OCORRÊNCIAS DIÁRIAS		
COLABORADOR 1	outro serviço	férias	outro serviço	férias	férias						
COLABORADOR 2	12,55		13,68		16,51		16,14		13,42		14,46
COLABORADOR 3	12,55		13,68		16,51		16,14		13,42		14,46
COLABORADOR 4	10,59		13,14		11,56		9,24		0,00	faltou	8,91
COLABORADOR 5	12,90		8,43		13,39		13,39		10,95		11,81
COLABORADOR 6	10,73		10,73		8,93		8,93		8,93		9,65
COLABORADOR 7	6,78	func. muito lento	6,73	func. muito lento	6,78	func. muito lento	6,78	func. muito lento	0,00	faltou	5,42
COLABORADOR 8	outro serviço	reparo 4 PAV	outro serviço	reparo 4 PAV	outros serviços						
COLABORADOR 9	outro serviço	reparo 4 PAV	outro serviço	reparo 4 PAV	outros serviços						
<b>MÉDIA DIÁRIA</b>	<b>11,02</b>		<b>11,07</b>		<b>12,28</b>		<b>11,77</b>		<b>7,79</b>		<b>10,79</b>

PLANILHA 1 – Acompanhamento diário da produtividade.  
Fonte: o autor, 2015.

**ACOMPANHAMENTO DAS AÇÕES PREVISTAS PARA O MÊS DE MAIO:**

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	PREVISTO (META)	REALIZADO	(%)
01. REBOCO INTERNO	25 m <sup>2</sup> /dia	18,44 m <sup>2</sup> /dia	74%
02. PISO CERÂMICO	22 m <sup>2</sup> /dia	14,17 m <sup>2</sup> /dia	65%
03. PISO CERÂMICO BWC	7 m <sup>2</sup> /dia	4,01 m <sup>2</sup> /dia	57%
04. CERÂMICA FACHADA	15 m <sup>2</sup> /dia	14,95 m <sup>2</sup> /dia	99%
05. CERÂMICA PAREDE	15 m <sup>2</sup> /dia	9,77 m <sup>2</sup> /dia	65%
06. MASSA CORRIDA	110 m <sup>2</sup> /dia	102,57 m <sup>2</sup> /dia	93%

DESCRIÇÃO – FATO	CAUSA	AÇÃO
<b>REBOCO INTERNO</b> ABAIXO DA META ESTIPULADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Como o reboco interno dos apartamentos foi finalizado, foi executado, no mesmo mês, o reboco dos halls e escadas, onde existe uma grande quantidade de capiaço, o que diminui a produtividade, por ser um serviço detalhado e demorado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Específico da fase da obra.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Não estava usando a máquina de reboco projetado, porque estava quebrada.</li> <li>■ A Máquina foi levada para conserto e chegou à obra no dia 29/05.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Obs.: Vai começar a ser usada no pilotis, quando começar a executar o serviço. (uma máquina se encontra no Saint Louis)</li> </ul>
<b>PISO CERÂMICO</b> ABAIXO DA META ESTIPULADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Na execução de cerâmica de piso dos halls, os pedreiros tinham que realizar a limpeza do local primeiramente para depois poder iniciar o assentamento das pedras, com consequente redução de produtividade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Executar um planejamento, por meio do qual os serventes realizem a limpeza do local antes de os pedreiros chegarem.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pedreiros gastam tempo significativo fazendo cortes com a serra-mármore, o que seria mitigado com o uso da esquadrejadeira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Providenciar equipamento.</li> </ul>

Ao mesmo tempo, elaboraram-se gráficos por serviço<sup>8</sup>, apresentando os resultados das médias mensais da produtividade diária dos colaboradores no decorrer do ano estudado, cujos resultados estão descritos na planilha a seguir:

### MÉDIAS MENSAIS DA PRODUTIVIDADE DIÁRIA DOS COLABORADORES POR SERVIÇO

SERVIÇOS (mês)	REBOCO INTERNO (m <sup>2</sup> )	PISO CERÂMICO (m <sup>2</sup> )	CERÂMICA FACHADA (m <sup>2</sup> )	CERÂMICA PAREDE (m <sup>2</sup> )	CERÂMICA PISO BWC (m <sup>2</sup> )	PINTURA (m <sup>2</sup> )
NOV/14	18,03	16,77	-	-	-	-
DEZ/14	17,92	17,89	10,71	6,62	-	-
JAN/15	23,32	22,22	18,46	8,76	-	-
FEV/15	18,49	21,95	25,26	8,64	-	-
MAR/15	17,40	19,14	28,05	8,94	-	-
ABR/15	15,01	18,45	14,58	9,96	-	-
MAI/15	18,44	-	14,95	9,77	4,01	-
JUN/15	18,00	-	-	10,71	4,64	-
JUL/15	-	-	-	10,85	4,46	-
AGO/15	-	-	-	10,22	5,29	75,52
SET/15	-	-	-	-	7,35	82,52
OUT/15	-	-	-	-	7,57	84,16

PLANILHA 3 - Médias mensais da produtividade diária dos colaboradores por serviço.

Fonte: o autor, 2015.

<sup>8</sup> Demais gráficos disponíveis para download no link:

<https://docs.google.com/uc?export=download&id=0B2kwzdWizUumdHI2NnVJdld2WEk>

## MÉDIAS MENSAIS DE PRODUTIVIDADE NO SERVIÇO CERÂMICA BWC.

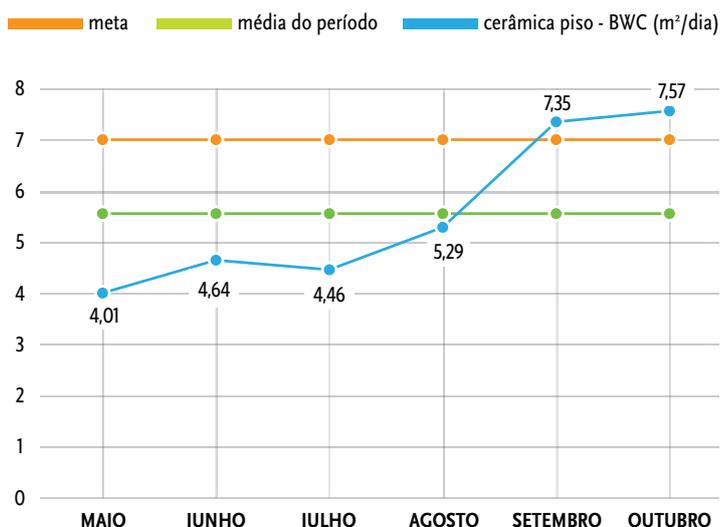


GRÁFICO 1 - Médias mensais de produtividade no serviço Cerâmica BWC. Fonte: o autor, 2015.

## MÉDIAS MENSAIS DE PRODUTIVIDADE DIÁRIA DOS COLABORADORES NO SERVIÇO CERÂMICA PAREDE

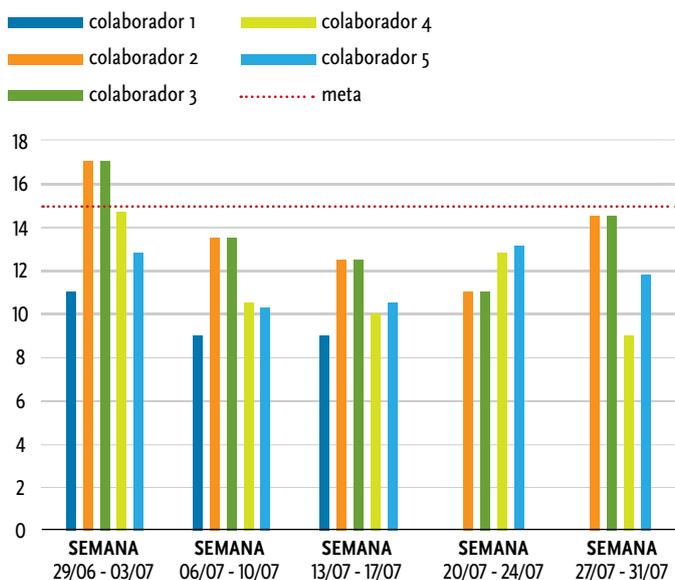


GRÁFICO 2 - Médias mensais de produtividade diária dos colaboradores no serviço Cerâmica Parede. Fonte: o autor, 2015.

Além dos gráficos obtidos, foram realizadas observações acerca dos aumentos e reduções de produtividade, identificados em cada serviço:

Como pode ser visto, o item intensificação dos treinamentos aparece em todos os serviços. Esses treinamentos, além de resultar em maior ganho na produtividade da obra, permitiram explicar tecnicamente os processos produtivos da empresa, ouvir melhor a opinião dos trabalhadores e agregar mais valor ao projeto, tendo em vista que todos participaram – desde a alta direção até os trabalhadores operacionais.

Com os dados coletados, foram desenvolvidos também gráficos com médias mensais de produtividade dos colaboradores por serviço executado, inseridos nos relatórios técnicos direcionados à diretoria, com o intuito de visualizar melhor qual colaborador não estava agregando positivamente ao serviço e, conseqüentemente, atrapalhando a média final da equipe.

Após essa análise, caso o problema continuasse, procurava-se deslocar o trabalhador para outro serviço onde conseguisse render melhor, o que traria retorno positivo tanto para a empresa como para o empregado.

Além disso, foram desenvolvidos gráficos individuais (por colaborador e serviço executado):

## RESUMO DAS OBSERVAÇÕES DOS AUMENTOS E REDUÇÕES DA PRODUTIVIDADE NOS SERVIÇOS.

SERVIÇO	ATORES DE AUMENTO	FATORES DE REDUÇÃO
REBOCO INTERNO	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uso da máquina do reboco projetado;</li> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Melhoria na logística de abastecimento de material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Etapa da obra com locais mais difíceis de executar (halls, escadas, paredes poentes, etc).</li> </ul>
PISO CERÂMICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uso da máquina esquadrejadeira;</li> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Melhoria na logística de abastecimento de material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Retrabalho, com a quebra do contrapiso executado incorretamente pela terceirizada;</li> <li>■ Etapa da obra com locais mais difíceis de executar o serviço (halls, etc.)</li> </ul>
CERÂMICA FACHADA	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Melhoria na logística de abastecimento de material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pequenas áreas com mais detalhes e trabalhosas (lajes splits, jardineiras etc).</li> </ul>
CERÂMICA PAREDE	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uso da máquina esquadrejadeira;</li> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Melhoria na logística de abastecimento de material.</li> </ul>	-
CERÂMICA PISO BWC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Equipe iniciando o serviço já com o local limpo;</li> <li>■ Melhoria na logística de abastecimento de material.</li> </ul>	-
PINTURA	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Intensificação dos treinamentos;</li> <li>■ Local de serviço com etapas anteriores cumpridas, facilitando o serviço de pintura.</li> </ul>	-

PLANILHA 4 –Resumo das observações dos aumentos e reduções da produtividade nos serviços.

Fonte: o autor, 2015.

### MÉDIAS MENSAIS DE PRODUTIVIDADE DO COLABORADOR 2 NO SERVIÇO CERÂMICA PAREDE

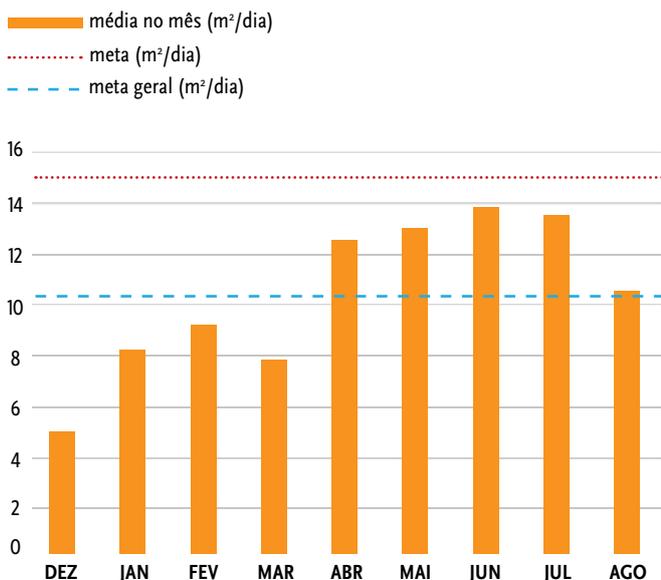


GRÁFICO 3 - Médias mensais de produtividade do colaborador 2 no serviço Cerâmica Parede. Fonte: o autor, 2015.

### MÉDIAS MENSAIS DE PRODUTIVIDADE DO COLABORADOR 3 NO SERVIÇO CERÂMICA PAREDE

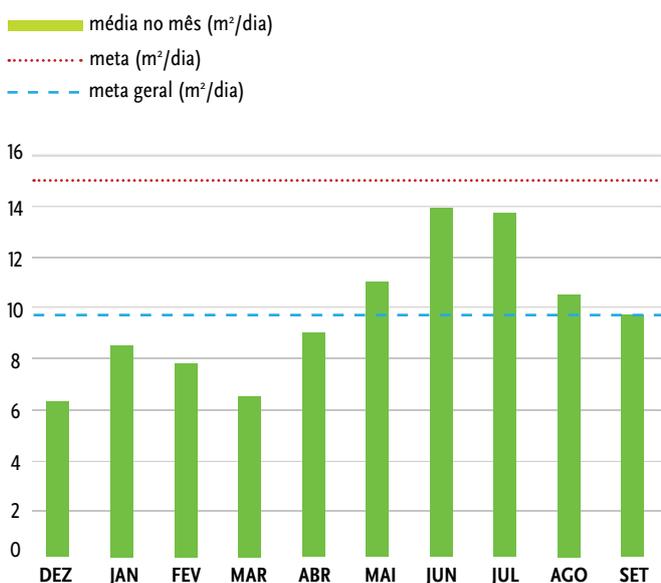


GRÁFICO 4 - Médias mensais de produtividade do colaborador 3 no serviço Cerâmica Parede. Fonte: o autor, 2015.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo os estudos, pesquisas, introdução de novas tecnologias, treinamentos e testes realizados, pôde-se observar o significativo aumento da média de produtividade na obra.

Além da conscientização das equipes de que a produtividade pode ser aprimorada, a inovação de processos desenvolvida destaca a produtividade por indivíduo, sendo o uso de premiações para motivá-lo fator gerador de competitividade saudável e positiva no grupo.

Vale ressaltar que esses trabalhadores pertencem a um estado com grande carência educacional e que apresenta o maior índice de analfabetismo do país (IBGE, 2010), refletindo um desafio ainda maior, se comparado a processos aplicados e validados em outros estados.

Segundo Edwards Deming “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, não há sucesso no que não se gerencia.”

Destarte, tal processo, além de gerar registros que auxiliam na melhoria contínua em cada canteiro de obra da Cerutti Engenharia, pode ser replicado em outras empresas do ramo, com resultados ainda melhores. Vale ressaltar que, embora introduzir a inovação seja importante, se a empresa não se planejar e se preparar para sua melhor utilização, não terá ganhos reais, advindos desse processo.

É possível perceber que não somente as novas tecnologias adquiridas, mas também a importância dada aos treinamentos realizados semanalmente e à logística de abastecimento

de material, desencadearam ações que mitigaram os maiores gargalos do setor: falta de qualificação da mão de obra e ociosidade no início do dia de trabalho, o que proporcionou o aumento da produtividade das equipes como um todo.

A título de exemplo, pode-se citar o serviço Reboco Interno, cuja média de  $17,92\text{m}^2/\text{func}$  ao dia, subiu para  $23,32\text{m}^2/\text{func}$  ao dia, após a introdução da máquina de reboco projetado, juntamente com treinamentos e uma melhor logística no abastecimento de material. Como a produtividade ideal de  $25\text{m}^2/\text{func}$  ao dia ainda não foi alcançada, possíveis soluções para o problema estão sendo estudadas.

Outro exemplo foi o serviço de Piso Cerâmico, que saiu da média  $16,77\text{m}^2/\text{func}$  ao dia para a média  $22,22\text{m}^2/\text{func}$  ao dia, conseguindo ultrapassar a meta estipulada de  $22\text{m}^2/\text{func}$  ao dia, devido à introdução da máquina esquadrejadeira, juntamente com os treinamentos práticos.

O melhor resultado alcançado foi no serviço de Cerâmica Fachada, cuja produtividade passou de  $10,71\text{m}^2/\text{func}$  ao dia para  $28,05\text{m}^2/\text{func}$  ao dia, quase dobrando a meta estipulada de  $15\text{m}^2/\text{func}$  ao dia. Analisando-se os gráficos, pode-se perceber que há oscilações nas produtividades mensais nos serviços, o que pode ser atribuído à particularidade que alguns serviços possuem, devido à etapa em que o serviço se encontra.

Graças aos resultados obtidos, a empresa obtém cada vez mais a excelência na execução de suas obras e a motivação para con-

tinuar investindo em inovações no setor da construção civil.

Ademais, são palpáveis os benefícios para os colaboradores, que relatam estar mais satisfeitos e felizes com os resultados atuais, haja vista que, a cada treinamento, a cada conhecimento adquirido, qualificam-se e se capacitam, tanto para a empresa como para o mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALMANOVICI, Carlos Eduardo.

**A inovação, a competitividade e a projeção mundial das empresas brasileiras.** Disponível em: [http://rusp.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-99892011000200013&lng=pt&nrm=iso](http://rusp.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-99892011000200013&lng=pt&nrm=iso). 2011. Acessado em: 14/09/15.

ERNST & YOUNG. **Estudos sobre produtividade na construção civil: desafios e tendências no Brasil.** Disponível em: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY\\_Estudo\\_Produtividade\\_na\\_Construcao\\_Civi/\\$FILE/Estudo\\_Real\\_Estate.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY_Estudo_Produtividade_na_Construcao_Civi/$FILE/Estudo_Real_Estate.pdf). 2014. Acessado em: 17/08/15.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010). Tabela 8.2 - **Taxa de analfabetismo das pessoas de 10 anos ou mais de idade, por cor ou raça, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Regiões Metropolitanas** – 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P6&uf=00>. Acessado em: 20/10/15.

LAVELLI, Alexander Ferreira. **Inovação e competitividade: uma estreita relação de sucesso.** Disponível em: <http://www.sebraesp.com.br/index.php/162-produtos-online/inovacao/publicacoes/artigos/8476-inovacao-e-competitividade-uma-estreita-relacao-de-sucesso>. 2013. Acessado em: 17/06/15.

LIBRAIS, Carlos; SOUZA, Ubiraci. **Produtividade na mão-de-obra no assentamento de revestimento cerâmico interno de parede.** Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00316.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00316.pdf). 2002. Acessado em: 30/05/16.

MINGIONE, Caio. **Produtividade na montagem de estruturas de aço para edifícios.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP. São Paulo, 2016.

MORI, Luci. **Sistema de informação gerencial para previsão de produtividade do trabalho na alvenaria de elevação.** Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91739>. 2008. Acessado em: 30/05/16.

OCDE. **Manual de Oslo:** diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. FINEP. 3 ed, 2006. Acessado em: 16/07/15.

PALANCIO. **Como funciona o reboco projetado e suas vantagens.** Disponível em: <http://www.vaicom-tudo.com/reboco-projetado-como-funciona.html>. 2014. Acessado em: 17/12/14.

PEIXOTO, Berto Luiz Freitas; GOMES, Maria de Lourdes Barreto. **Innovation and productivity: a study in civil construction building sub-sector.** 19th International Conference on Production Research, 2007.

PINNAT, Jéssica; ALMEIDA, Nicolas; MORI, Luci. **Construção civil – coletânea de inovações tecnológicas.** III Seminário de Engenharia Civil da UEM. Maringá, 2013.

PORTER, Michael E., **Vantagem Competitiva: Criando e Sustentando um Desempenho Superior.** Rio de Janeiro: Campus. Tradução de: Competitive advantage. 1990.

ROLLI, Cláudia; FAGUNDES, Álvaro. **Um trabalhador americano produz como quatro brasileiros.** Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/05/1635927-1-trabalhador-americano-produz-como-4-brasileiros.shtml>. (31/05/2015). Acessado em: 18/06/15.

SANTOS, Altair. **Retrabalho é patologia do processo de construção.** Disponível em: <http://www.cimentoitambem.com.br/retrabalho-e-patologia-do-processo-de-construcao/>. 2013. Acessado em: 20/10/15.

IEL/NC

DIRETORIA DE INOVAÇÃO - DI

**GIANNA SAGAZIO**  
*Diretora de Inovação*

GERÊNCIA DE INOVAÇÃO

**SUELY LIMA PEREIRA**  
*Gerente de Inovação*  
*Coordenação Geral*

**PAULA BOSSO SCHNOR**  
*Coordenadora Técnica*  
*Organização do Conteúdo*

**AMANDA MENDONÇA (IEL/RS)**  
**CIMEI BORGES TEIXEIRA (CNPQ)**  
**ELIANA MARIA DE OLIVEIRA SÁ (IEL/AL)**  
**LARISSA ALMEIDA (IEL/NC)**  
**LOURENÇO SALLES (IEL/SC)**  
**MARIA EDVÂNIA MELO (IEL/AL)**  
**MARIA REBELLO (IEL/PI)**  
**MARTINA BRUMANO (IEL/SP)**  
**PAULA BOSSO SCHNOR (IEL/NC)**  
**WELBERT LUIZ SILVA (IEL/MG)**  
**WILLIAM DE FREITAS LIMA (IEL/DF)**  
*Equipe Técnica*

INSTITUTO EUVALDO LODI NÚCLEO REGIONAL RIO GRANDE DO SUL - IEL/RS

**THAISE GRAZIADIO**  
*Gerente de Operações*

INSTITUTO EUVALDO LODI NÚCLEO REGIONAL SANTA CATARINA - IEL/SC

**NATALINO UGGIONI**  
*Gerente-Executivo*

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

**FERNANDO AUGUSTO TRIVELLATO**  
*Diretor de Serviços Corporativos*

ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO, DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO – ADINF

**MAURÍCIO VASCONCELOS DE CARVALHO**  
*Gerente-Executivo de Administração, Documentação e Informação*

GERÊNCIA DE DOCUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO – GEDIN

**MARA LUCIA GOMES**  
*Gerente de Documentação e Informação*

**ALBERTO NEMOTO YAMAGUTI**  
*Pré e Pós-Textual*

---

2 PONTOS: DESIGN

**JULIANA VIDIGAL**  
[www.juvidigal.com](http://www.juvidigal.com)  
*Projeto Gráfico, Edição de Arte e Capa*

**CARLO GIOVANI**  
[www.carlogiovani.com](http://www.carlogiovani.com)  
*Capa*

CUBY SERVIÇOS DIGITAIS

**CRISTIAN GIORDANI**  
[www.cuby.com.br](http://www.cuby.com.br)  
*Programação e-book*

**JOSÉ PAULO OLIVEIRA**  
*Revisão Ortográfica*

REALIZAÇÃO



*Iniciativa da CNI - Confederação  
Nacional da Indústria*