

Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo

BT/47

São Paulo - Junho/2019

CEETEPS

Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”
Governo do Estado de São Paulo

Conselho Editorial

Diretor da FATEC-SP

Prof. Me. Décio Moreira

Vice-Diretor da FATEC-SP

Prof. Me. Hamilton Martins Viana

Editor Presidente

Profª. Drª. Regina Maria Ricotta

Corpo Editorial

Prof. Dr. Eduardo Acedo Barbosa

Profª. Me. Elizabeth Neves Cardoso

Prof. Dr. Marcelo Bariatto Andrade Fontes

Prof. Dr. Milton Silva da Rocha

Prof. Dr. Silvio do Lago Pereira

Prof. Dr. Francisco Tadeu Degasperi

Edição WEB: ASI – Área de Sistemas de Informação – FATEC-SP

O Boletim Técnico é uma publicação da FATEC-SP para divulgação de trabalhos científicos e tecnológicos realizados por docentes e discentes das FATECs nas áreas dos cursos: Análise e Desenvolvimento de Sistemas; Automação de Escritórios e Secretariado; Edifícios; Eletrônica Industrial; Gestão de Turismo; Gestão Empresarial EAD; Hidráulica e Saneamento Ambiental; Instalações Elétricas; Materiais; Microeletrônica; Mecânica de Precisão; Movimento de Terra e Pavimentação; Processos de Produção; Projetos e Soldagem.

Regras, normas, e submissão *on-line* encontram-se no endereço: <http://bt.fatecsp.br>

Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP

Praça Coronel Fernando Prestes, 30

01124-060 São Paulo, SP

Contato: boletimtecnico@fatecsp.br

Capa e Contra Capa: Segmento da Obra "A Pluralidade dos Mundos Ia - Série A" da Artista Visual e Prof. Me. Cleusa Maria Rossetto

BOLETIM TÉCNICO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

VOLUME 47 – JUNHO/2019

SUMÁRIO

ARDUINO 101 EM MOVIMENTO ACELERADO <i>Gustavo Henrique Bastos da Silva, Cezar Soares Martins, Milton Silva da Rocha.....</i>	1
COMO AUMENTAR A ACEITABILIDADE DE USUÁRIOS DE DISPOSITIVOS DOMÉSTICOS INTELIGENTES USANDO TÉCNICAS DE TESTES DE USABILIDADE <i>Luna Kam Ticeu, Marília Macorin de Azevedo.....</i>	6
DESEMPENHO ACÚSTICO DO CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE POLIETILENO <i>Rafael de Brito Moraes, Douglas Casagrande.....</i>	11
DESENVOLVIMENTO DE UM MICROSENSOR DE PRESSÃO MICROELETROMECHANICAL <i>Kaique Figueiredo Sanches, Hebert Dan Shingaki Tabiku, Luis da Silva Zambom, Marcelo Bariatto Andrade Fontes.....</i>	17
ECOSSISTEMA INDUSTRIAL INTERNO DO ELEMENTO Pb NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BATERIAS <i>Juliano de Almeida Souza, Sílvia Pierre Irazusta</i>	23
INFLUÊNCIA DA NITRETAÇÃO A PLASMA NA RESISTÊNCIA AO MICRODESGASTE ABRASIVO E NA CORROSÃO CÍCLICA DO AISI 304 <i>Luan Augusto da Silva Soares, Larissa Solano de Almeida, Rafael Roberto Pavani, Luciana Sgarbi Rossino, Marcos Dorigão Manfrinato.....</i>	27
PARALELIZAÇÃO DO QUICKSORT USANDO C++/OPENMP <i>Silvio do Lago Pereira, Luiz Tsutomu Akamine, Lucio Nunes de Lira.....</i>	33
SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO EM MATRIZES DE INJEÇÃO PLÁSTICA DE AÇO INOX MARTENSÍTICO <i>Bruno de Souza Alves, Leandro Bruno, Luciana Sgarbi Rosino, Marcos Dorigão Manfrinato.....</i>	39
UM ESTUDO SOBRE VOCABULÁRIO ESPECIALIZADO NA ÁREA DE SOLDAGEM <i>José Roberto Lourenço.....</i>	45

ARDUINO 101 EM MOVIMENTO ACELERADO

Gustavo Henrique Bastos da Silva¹, Cezar Soares Martins², Milton Silva da Rocha³

^{1,2,3}FATEC-SP – Faculdade de Tecnologia de São Paulo

gustavobastos1996@gmail.com, mrocha@fatecsp.br

Resumo

Dispositivos *MEMS* (*Microelectromechanical systems*) [1], têm grande aplicação em IoT (Internet of Things) – Internet das Coisas). Por serem produzidos em larga escala, há interesse em analisar suas características operacionais e respostas aos fins que são destinados. Como exemplos de dispositivos MEMS têm-se os acelerômetros de larga aplicação em celulares para a orientação e para o posicionamento de imagens. A plataforma Arduino 101 [2], com unidade de acelerômetro integrada, foi anteriormente aplicada na avaliação de um sistema em equilíbrio estático [3].

Neste trabalho são estudados dados obtidos através da plataforma Arduino 101 para sistemas acelerados de um sistema massa preso a uma mola. Os resultados obtidos foram comparados com modelos teóricos de um corpo em movimento oscilatório sem amortecimento e também com o amortecimento em um fluido.

1. Introdução

Este trabalho dá continuidade à análise de dados experimentais de aceleração de uma plataforma Arduino 101 em equilíbrio estático e fixa em um plano inclinado. Os experimentos foram realizados para várias inclinações do plano e os dados obtidos mostraram boa concordância com previsões teóricas, seguindo aproximadamente as equações de equilíbrio estático, mostrando, porém, discrepâncias para inclinações próximas a 90°.

Estão analisados dados de aceleração obtidos da plataforma Arduino 101 em um sistema acelerado. Foi utilizado um sistema massa preso a uma mola em movimento oscilatório. O Arduino 101 foi fixado à massa (esfera de aço) estando conectado a um computador pessoal por um cabo serial para transmissão de dados em tempo real. A unidade Arduino 101 possui um acelerômetro integrado que produz valores de tensões elétricas relacionadas às acelerações nos eixos x, y, z. Uma unidade de conversão analógico-digital, própria do Arduino 101, transforma valores analógicos de tensão em valores digitais que são transmitidos via cabo.

2. Base experimental

O trabalho consiste em receber e analisar valores experimentais de aceleração obtidos através da placa Arduino 101 presa em um sistema em oscilação (massa presa a uma mola). Os valores foram comparados com modelos teóricos para o movimento oscilatório de uma massa esférica sem atrito e também considerando o atrito de uma esfera em um fluido.

2.1 Medidas iniciais.

O conjunto da massa presa à mola foi caracterizado para movimento harmônico simples pelos parâmetros: constante elástica da mola (k) e frequência de oscilação (f). A mola foi fixada em uma extremidade e uma massa foi presa à extremidade livre para oscilar verticalmente. A massa foi solta e foi medido o deslocamento em relação à posição de equilíbrio. A constante (k) pôde ser obtida pela lei de Hooke [4], equação 1.

$$F = m \cdot g = k \cdot x \quad (1)$$

Onde:

m é a massa da esfera;

$g = 9,78 \text{ m/s}^2$ é a aceleração da gravidade;

k é a constante elástica da mola;

x o deslocamento da massa.

Isolando a variável k , é obtida a equação 2.

$$k = mg/x \quad (2)$$

Sendo $m = 0,51 \text{ kg}$, e $x = 0,185 \text{ m}$, tem-se $k = mg/x = 26,96 \text{ N/m}$.

Ainda sem o acelerômetro, o conjunto foi colocado em oscilação. Com um relógio digital foram contadas 40 oscilações em 35,80s. Estes valores fornecem o período de oscilação $T = (35,80/40) \text{ s} = 0,90 \text{ s}$, valor usado para comparação com a medida da constante da mola através da equação 3:

$$2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T = (k/m)^{1/2} \quad (3)$$

Onde f é a frequência de oscilação.

Sendo $f = 1/T = (1/2\pi) \cdot (k/m)^{1/2} = 1,16 \text{ Hz}$ se obtêm $T = 1/f = 0,86 \text{ s}$, que apresenta uma diferença da ordem de 4,4% (0,04/0,90) em relação à medida cronometrada.

2.2 Medidas de aceleração.

Nesta etapa, o Arduino 101 foi preso à esfera de aço (diâmetro $\approx 5 \text{ cm}$) e o conjunto foi posto para oscilar na direção vertical em relação ao plano terrestre, Figura 1. Pelo fato de existir um cabo serial ligando o Arduino ao computador pessoal, o movimento se tornou fortemente amortecido.

O Arduino 101 foi programado para receber, em tempo real, os dados de aceleração em três eixos e transmitir via comunicação serial. Uma aplicação em planilha Excel – *PLX – DAQ* [5] recebe e armazena os dados, Figura 2.

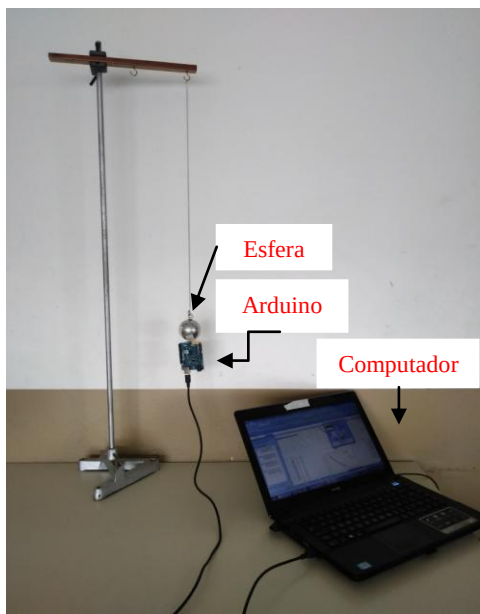


Figura 1 – Plataforma Arduino 101 em oscilação.

Na Figura 1 o Arduino 101 está fixo à esfera, e conectado via cabo, com um computador pessoal.



Figura 2 – Interface PLX-DAQ e funcionalidades.

Na Figura 2, o processo de comunicação serial entre Arduino 101 e o computador pessoal é controlado pela interface do programa PLX-DAQ, mostrado no ícone *Data Acquisition for Excel*. Este controle inicia e finaliza a comunicação, assim como recebe, armazena e limpa dados da planilha.

Com o Arduino (e o acelerômetro) preso à esfera, conectado ao computador pessoal via cabo serial, Figura 1, e carregado com o programa de leitura e transmissão de dados de aceleração, o conjunto foi colocado em oscilação. A Figura 3 apresenta o programa básico para obtenção de dados de aceleração.

O programa tem duas funções principais: *void setup()* e *void loop()*.

A função *setup()* inicializa o sistema definindo ações como: configurar a velocidade de comunicação e definir a faixa de atuação do acelerômetro.

A segunda função é executada periodicamente e em tempo real. Suas principais tarefas são ler os dados

De aceleração e a seguir realizar a transmissão serial para ser recebida pelo o computador pessoal.

A instrução `float ts = (currentMillis/100.0)`, define a medida de tempo em décimo de segundo.

A instrução `CurieIMU.readAccelerometerScaled(ax, ay, az)` é uma função para obtenção dos valores de aceleração nos três eixos.

O comando `delay(50)`, causa uma parada de processamento de 50 milissegundos entre cada ciclo de execução da função *void loop()*.

Antes de iniciar qualquer uma das funções, é utilizada a diretiva `#include "CurieIMU.h"` que coloca à disposição de uso as bibliotecas onde estão os códigos para leitura de aceleração. Antes da execução das funções, são definidas as variáveis globais do programa.

Ainda na Figura 3, o código apresentado pode ser ajustado para outras funcionalidades do Arduino.

```
#include "CurieIMU.h" //Biblioteca para o
acelerômetro
int x = 0; int linha = 0; //Variáveis do programa
void setup() { Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("Initializing IMU device...");
  Serial.println("CLEARDATA");
  CurieIMU.begin();
  CurieIMU.setAccelerometerRange(2); }
void loop() {
  float ax, ay, az; //variáveis com aceleração x, y, z.
  unsigned long currentMillis = millis();
  // unidade de medida em décimo de segundo
  float ts=(currentMillis/100.0);
  //Função para leitura da aceleração
  CurieIMU.readAccelerometerScaled(ax, ay,
  az);
  //Transmissão serial dos dados
  Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
  Serial.print(ts); Serial.print(",");
  Serial.print(ax); Serial.print(",");
  Serial.print(ay); Serial.print(",");
  Serial.println(ax);
  // Código para protocolo com PLX-DAQ
  linha++; x++;
  if (linha > 3600) { linha = 0;
    Serial.println("ROW,SET,2"); }
  // Intervalo de tempo que pode ser ajustado
  delay(50); }
```

Figura 3 – Código para leitura de aceleração

3. Resultados e Discussões

Foram efetuadas medidas em intervalo de tempo que dependem da duração da execução das instruções e do intervalo de tempo “*delay*” definido entre cada medida.

Inicialmente, foram ativados o programa no Arduino e o software *PLX-DAQ* no computador pessoal. Assim, em primeiro lugar é iniciada a gravação dos dados do sistema massa-mola, com o Arduino preso à massa e o conjunto estando deslocado da posição de equilíbrio. Alguns momentos depois o conjunto foi solto entrando em oscilação. A Tabela I apresenta em quatro colunas uma amostra das medidas efetuadas.

Tabela 1 - Dados parciais para as acelerações.

Tempo 101 (em 0,1s)	ax (g)	ay (g)	az (g)
	ax	ay	az
323,1	1,26	-0,03	-0,08
324,0	1,23	-0,08	-0,04
324,9	1,20	-0,09	-0,02
325,8	1,19	-0,08	0,02
326,8	1,17	-0,05	-0,09
327,7	1,16	-0,06	-0,03
328,6	1,14	-0,07	0,01
329,4	1,13	-0,06	-0,02
330,4	1,12	-0,06	-0,03
331,3	1,11	-0,07	0,01
332,2	1,10	-0,07	0,02
333,0	1,09	-0,06	0,00
334,0	1,08	-0,06	0,01

A primeira coluna mostra o tempo absoluto fornecido pelo Arduino 101, em décimos de segundos.

As demais colunas mostram valores de aceleração nos eixos x, y e z. O eixo x tem a direção perpendicular ao plano horizontal terrestre.

Os valores de aceleração são normalizados em relação ao valor $g=9,8 \text{ m/s}^2$ e a referência para os eixos dependem da orientação do Arduino em relação à superfície terrestre. Os gráficos das acelerações estão na figura 4.

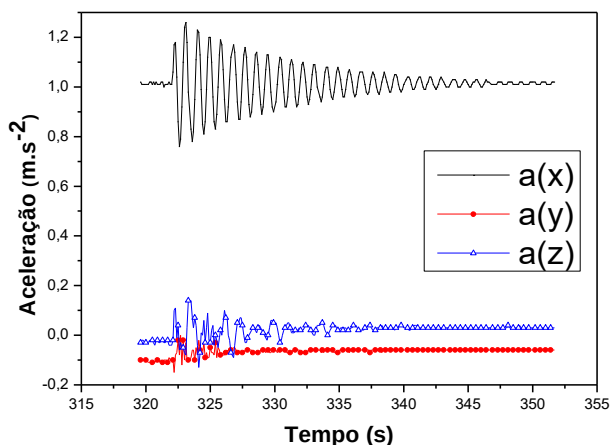


Figura 4 – Movimento oscilatório amortecido.

A Figura 4 mostra a maior amplitude na orientação a_x , visto pelo gráfico que representa a aceleração no eixo vertical, normalizado em relação à gravidade. Notar que a aceleração no eixo vertical se apresenta em torno do valor 1 ($g = 9,78 \text{ m/s}^2$) e tem a maior amplitude de oscilação. Os outros eixos oscilam em torno de zero porque tem a direção normal ao eixo vertical.

As acelerações a_y e a_z mostram pequenas oscilações devidas a um movimento lateral da esfera.

4. Análises dos Resultados

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do Arduino 101 na obtenção de dados em um sistema em movimento para orientar experimentos e aplicações para esse dispositivo. Para isto, foi analisado o gráfico da figura 4, e observado que é similar ao de uma esfera presa à uma mola movendo-se em um fluido. No modelo que será aplicado a seguir, não se considera efeitos devidos ao cabo conectado ao Arduino 101 e também do atrito ocasionado pela placa presa ao Arduino. Estes efeitos poderiam ser minimizados por transmissão de dados via rádio frequência ou qualquer mecanismo de transmissão remota. Com base na figura 4, uma equação simplificada para a aceleração é [6]:

$$a_x(t) = a \cdot \exp(-t/\tau) \cdot \cos(\omega t) \quad (4)$$

O modelo aplicado não considera o arraste do cabo que liga o Arduino ao computador pessoal. Este efeito pode ser minimizado usando-se um cabo leve e flexível.

A partir dos dados experimentais, parcialmente mostrados na Tabela 1, foi retirada uma sequência de valores de máximo de aceleração em a_x . A Tabela 2 mostra os dados obtidos.

Tabela 2 – Máximo de valores amortecidos.

t(s)	ax(g)	$\Delta t(s)$
2,9	1,26	
3,8	1,23	0,90
4,7	1,2	0,90
0,56	1,19	0,90
0,66	1,17	1,00
0,75	1,16	0,90
0,84	1,14	0,90
0,92	1,13	0,80
1,02	1,12	1,00
Média=		=0,91

A coluna t(s) apresenta, em segundos, o tempo decorrido para o primeiro máximo da aceleração no eixo a_x . A coluna $a_x(g)$ mostra a aceleração normalizada em relação à aceleração da gravidade. A coluna $\Delta t(s)$ representa intervalos de tempo entre valores máximos de aceleração a_x , obtidos a partir da primeira coluna.

Com base na equação 4, cada ponto de máximo ocorre em $\cos(\omega t) = 1$. Assim, os dados da Tabela 2 representam somente a dependência exponencial no tempo, como representa a equação 5:

$$a_x(t) = a \cdot \exp(-t/\tau) \quad (5)$$

Tomando o logaritmo natural de ambos os lados da equação (5), obtém-se:

$$\ln[a_x(t)] = \ln[a] - t/\tau \quad (6)$$

O próximo passo foi obter a constante de amortecimento, τ . A metodologia aplicada consiste em obter a constante τ por regressão linear da equação (6), através de métodos gráficos de ajuste de curva do software Origin®.

A Figura 5 mostra o gráfico da função $y = A + B t$, onde $y = \ln[a_x(t)]$, $A = \ln[a]$ e $Bt = -t/\tau$.

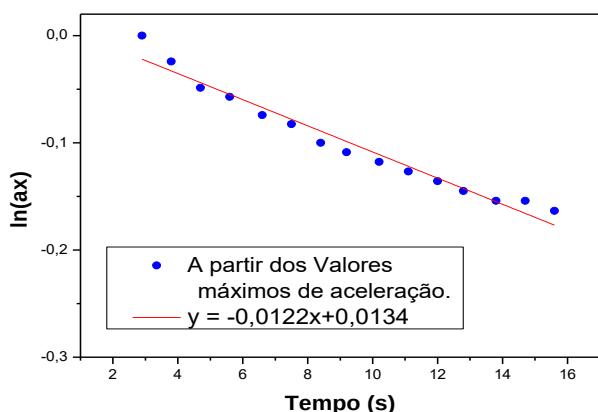


Figura 5 – Obtenção constante de amortecimento.

O gráfico da Figura 5 considera apenas valores máximos de aceleração, mostrados na Figura 4. Não se considera a dependência cíclica, sendo mostrada somente a dependência exponencial (amortecimento).

A expressão da regressão linear obtida por recursos de planilha do Excel apresentada na figura 5 é:

$$y = -0,0122x + 0,0134 \quad (7)$$

Comparando (6) e (7): $B = 1/\tau$; $\tau = (1/0,0122)s = 81,9s$.

A partir da constante de amortecimento $\tau = 81,9s$, pode-se estimar a duração do movimento considerando-se cinco vezes a constante de amortecimento. Neste caso estima-se em $5\tau = 409,3s$, como o tempo necessário para cessar o movimento oscilatório amortecido.

O período de oscilação medido experimentalmente, $T = 0,90s$, obtido com a contagem de oscilações sem amortecimento do cabo é usado como referência para comparar com o valor que pode ser obtido através de medidas com o acelerômetro. A tabela 2 mostra que o valor médio dos valores da coluna $\Delta t(s)$ é igual a $0,91s$, que é da ordem de grandeza com o valor obtido por medida direta.

5. Conclusões

Neste trabalho, foram aplicadas diversas áreas de conhecimento relacionadas às áreas de ciências e de tecnologia: programação de microcontroladores, sensores, ferramentas matemáticas e gráficas e o uso de modelos teóricos para testar dados experimentais. Embora não se tenha modelado efeitos não lineares como o atrito, os dados obtidos mostraram que o fator de amortecimento na oscilação do sistema massa-mola,

poderia orientar aplicações automatizadas em sistemas onde houvesse amortecimento. Como por exemplo, a determinação de viscosidade de líquidos.

Ainda nesses experimentos, os efeitos do atrito podem ser minimizados por arranjos físicos nos experimentos e por transmissão remota de dados do Arduino para o computador pessoal por ondas de rádio, como WIFI, Bluetooth, entre outras. Estas serão propostas para futuras aplicações. No entanto, estes aspectos, não inviabilizam o enfoque dado ao trabalho que é o de analisar os dados experimentais de aceleração obtidos por acelerômetros para aplicações que possam fazer uso destes recursos. Pode ser salientado que os dados obtidos pelo Arduino 101 não dependem da natureza do experimento ou da aplicação. Talvez haja algum erro nos dados fornecidos pelo dispositivo Arduino 101 devido ao seu aquecimento natural.

Medidas de aceleração podem ser direcionadas para situações que envolvam a caracterização de movimento de corpos. Um caso típico é a área de educação onde se aplicaria métodos numéricos para se calcular a velocidade de um corpo em movimento a partir de dados experimentais de aceleração. A seguir, o deslocamento poderia ser determinado a partir da velocidade obtida previamente.

Existem diversas possíveis aplicações quando o movimento de um corpo pode ser caracterizado pela determinação de sua velocidade e deslocamento no tempo. Exemplos.

Na área de saúde, para se acompanhamento da evolução de tratamento de pacientes com dificuldades motoras. Neste caso, poderia se montar um banco de dados com deslocamento do acelerômetro ao longo de um período;

Na área de educação, no teste de metodologias de solução de equações diferenciais para testes de modelos teóricos que melhor se apliquem aos problemas reais e o grau de confiabilidade nos experimentos.

Quanto à realização dos experimentos, existem dificuldades inerentes ao dispositivo e material utilizado.

Com referência ao dispositivo acelerômetro, pode-se citar que são produzidos em larga escala, assim como a dificuldade inerente à fabricação de dispositivos MEMS. Como exemplo de dificuldade: o valor fornecido pelo acelerômetro em repouso sempre mostra ruídos. O eixo montado na vertical deveria ter valor fixo e igual a 1. Este valor nunca é fixo na unidade e nem em um valor próximo da unidade. Há sempre variações em torno da unidade. Há necessidade de mecanismos para atenuação destes desvios. O mesmo efeito ocorre para os eixos transversais ao eixo normal que deveriam ter valores próximos a zero. A figura 4 mostra esses efeitos.

O modelo para oscilação de uma mola sem amortecimento mostra restrições por questões operacionais e de material. Além da própria geometria da esfera que oferece efeito de atrito viscoso com o ar, há também, a deformação da mola e não é considerado o efeito do cabo. No entanto, estes fatores não fogem ao objetivo do trabalho que é o de avaliar os dados do acelerômetro em movimento.

Um recurso importante usado neste trabalho é a interface PLX-DAQ que possui recursos para receber dados seriais e armazenamento em formato de planilhas. Este mecanismo permite realização e análise de aplicações em tempo real de experimentos que envolvam a aquisição de dados analógicos.

Os resultados obtidos indicam a possibilidade de uso do Arduino 101 em aplicações que usem medidas de aceleração desde que se considerem suas restrições de ruído, entre outras.

Agradecimentos

Ao auxiliar docente Julio Francisco Rodrigues de Souza (DTI-Fatec-SP).

Referências Bibliográficas

- [1] **An Introduction To MEMS.** In: http://www.lboro.ac.uk/microsites/mechman/research/ipm-ktn/pdf/Technology_review/an-introduction-to-mems.pdf. Acesso em: 03 mar 2018.
- [2] **Arduino-101-Primeiro-Circuito-Eletronico-Com O-Modulo-Intel Curie.** In: <https://www.tecmundo.com.br/intel/88142-arduino-101-primeiro-circuito-eletronico-o-modulo-intel-curie.html>. Acesso em: 09 mar 2018.
- [3] NADEO, E. C. et. al.; **Metodologia Para Estudo E Análise De Dados De Aceleração Em Um Plano Inclinado Obtidos Através Da Plataforma Arduino 101.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC-SP, Boletim técnico da FATEC 1034, São Paulo, 2017.
- [4] TELLES, D. MONGELLI, J.; **Física com Aplicação Tecnológica. Vol. 2 – Oscilações, Ondas, Fluidos e Termodinâmica.** São Paulo: Edgard Blucher, 2013.
- [5] PLX-DAQ. In: <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>. Acesso em: 02 mar 2018.
- [6] KITTEL, C. et. al. **Curso de Física de Berkeley – volume 1 – Mecânica.** Editora Edgar Blucher. Brasília, pag. 203, 1973.

COMO AUMENTAR A ACEITABILIDADE DE USUÁRIOS DE DISPOSITIVOS DOMÉSTICOS INTELIGENTES USANDO TÉCNICAS DE TESTES DE USABILIDADE

Luna Kam Ticeu¹, Marília Macorin de Azevedo²

¹Aluno do curso Análise e Desenvolvimento de Sistemas da FATEC-SP

²Profa. Dra. do curso Análise e Desenvolvimento de Sistemas da FATEC-SP

Docente e Pesquisadora da Unidade de Pós-graduação, Extensão e Pesquisa do Centro Paula Souza

lunakticeu@hotmail.com

marilia.azevedo@fatec.sp.gov.br

Resumo

Partindo do pressuposto de que as tecnologias de objetos físicos conectados à internet são capazes de se comunicar entre si, são parte da próxima revolução industrial e irão mudar o modo como empresas, governos e consumidores interagem com o mundo físico, este projeto tem o objetivo de analisar quais são as aplicações que usam tais objetos, onde podem ser incorporados, identificar as principais hesitações que os usuários estão tendo para adotá-los e propor, com o uso de técnicas de testes de usabilidade, meios para aumentar a quantidade de usuários usando a tecnologia de dispositivos inteligentes em suas casas. Este projeto trata de uma pesquisa de campo com abordagem qualitativa, na qual os dados do embasamento teórico foram obtidos a partir de levantamento bibliográfico e documental, fornecidos por sites, artigos e livros escritos por especialistas na área de tecnologia e usabilidade. A pesquisa de campo foi divulgada para pessoas especialistas na área de usabilidade e constatou-se que, na visão dos respondentes, os usuários têm receios de implementar dispositivos inteligentes em suas casas; os especialistas acreditam ainda que há uma carência de testes de usabilidade em dispositivos inteligentes domésticos e que com o uso de tais testes a quantidade de novos usuários adquirindo a tecnologia poderia aumentar consideravelmente.

1. Introdução

Objetos inteligentes são objetos físicos com sensores e atuadores eletrônicos incorporados com a capacidade de enviar, receber e processar dados adquiridos por uma rede sem fio por meio de sensores incorporados, processadores e *hardware* de comunicação sem qualquer interação humana.

Esta rede de objetos inteligentes que comunicam-se com outros objetos conectados à internet é chamada de Internet das Coisas (IoT)[1].

Objetos inteligentes são equipados com um sensor ou atuador, microprocessador, memória de baixa capacidade, um transceptor para comunicações de baixo alcance e uma fonte de energia.

O sensor ou atuador permite ao objeto interagir com a esfera física. As informações coletadas do meio externo são adquiridas com o uso de sensores e afetam a esfera física com o uso de atuadores.

O microprocessador permite ao objeto processar os dados obtidos, o transceptor expõe as informações geradas para o mundo exterior e recebe informações enviadas por outros objetos inteligentes.

A fonte de energia garante que o dispositivo terá a energia elétrica necessária para que o dispositivo possa realizar a tarefa ou função para qual ele foi desenvolvido.

O primeiro dispositivo conectado à internet [2] foi uma máquina de Coca-Cola na Universidade Carnegie Mellon, Pensilvânia, no ano de 1982, e desde então pesquisas e estudos na área têm sido realizados com o intuito de automatizar processos.

Segundo Mitchell [3], os dispositivos conectados à internet existem há anos, mas teriam sido desconhecidos por outras pessoas além das pessoas de alta tecnologia até recentemente.

A inovação dos tipos de dispositivos e formas de conexão tornou possível a disseminação de seu uso para todos os públicos e empresas.

No ano de 2008 foi estimado que havia mais dispositivos conectados à internet do que pessoas no mundo; esse evento é conhecido como o nascimento da IoT [4].

O alastramento dos dispositivos IoT foi impulsionado principalmente pela fabricação de dispositivos que podem ser usados em fábricas, transportes, escritórios, casa, carros e pessoas e pela sua aceitação pelo público.

Consumidores não serão os únicos a usar dispositivos IoT. Transportes e fábricas sempre tentam tornar-se mais eficiente e economizar recursos, tempo e dinheiro.

Os locais como casas e escritórios serão capazes de automatizar, administrar remotamente e coletar dados com o uso de identificadores biométricos, sistemas de vigilância de câmeras de vídeo e histórico de preferências dos usuários.

Os mercados mundiais de IoT estão preparados para alcançar um crescimento significativo com o uso de sensores, câmeras e plataformas sem fio que serão utilizados para coletar dados sobre os usuários, aprimorar o funcionamento de dispositivos IoT e gerenciar de dispositivos e máquinas IoT remotamente.

Quanto mais dados os dispositivos conseguem coletar, mais complexas são as decisões que precisam ser feitas. Sensores e implementadores externos de coleta de dados estão se tornando um catalisador essencial para o crescimento da indústria de IoT.

Por meio da combinação de diversas tecnologias, a IoT reduziu a distância de monitoramento e

gerenciamento de processos de maneira crescente nos últimos anos, possibilitando que bilhões de dispositivos estejam conectados.

No total, aproximadamente 28 bilhões de dispositivos conectados estão previstos até 2021, e aproximadamente 16 bilhões serão relacionados à IoT [5].

A era de objetos inteligentes conectados será o futuro do modo como empresas, governos e consumidores interagem com o mundo físico [6].

Este processo criou a oportunidade de uma integração mais direta de dados entre a esfera física e os sistemas informáticos, viabilizando meios para aumentar o controle do mundo ao redor das pessoas e facilitar o seu dia a dia.

Em 2015 a companhia de analistas Gartner divulgou um estudo intitulado "A Internet das Coisas: Mapeando o valor além do Hype"[7] e previa que até 2020 haverá mais de 26 bilhões de dispositivos conectados e o impacto econômico destes dispositivos IoT será US\$ 11,1 trilhões por ano em 2025.

Ainda de acordo com o estudo, o impacto real dos dispositivos dependerá de uma série de fatores, incluindo o declínio do custo de aquisição da tecnologia e o nível de aceitação por parte dos consumidores.

A categoria que os consumidores têm mais contato direto é a de dispositivos presentes em casas, o mercado global de casas inteligentes foi avaliado em US\$ 24,10 bilhões em 2016 e deverá alcançar cerca de US\$ 53,45 bilhões até 2022 e o terá impacto econômico de US\$ 200 bilhões a US\$ 350 bilhões por ano em 2025.

Segundo Angle [8], dispositivos domésticos inteligentes tiveram uma grande proliferação e o mundo está experimentando como encaixá-los, mas esses dispositivos por si só não são necessariamente suficientes para o sucesso.

Casas inteligentes devem ser projetadas com sensores, controladores de iluminação, aquecimento, abertura de persianas, etc.

De acordo com o Relatório Mundial de Qualidade de 2017 da Capgemini [9], os principais desafios relacionados a testes de dispositivos inteligentes são não ter o processo correto para realizar os testes e não ter especialistas em testes para conduzir e executar tais testes.

A pesquisa ainda identificou que a área de foco de testes de dispositivos inteligentes é a usabilidade.

2. Principais Conceitos

Uma residência com dispositivos eletrodomésticos, de aquecimento e ventilação, de iluminação, de entretenimento, computadores e televisões, segurança e sistemas de câmeras capazes de se comunicar entre si é chamada de casa inteligente [10].

O controle dos vários dispositivos presentes em uma casa inteligente é feito remotamente por um *smartphone* ou *tablet*. Esta moradia proporciona ao proprietário conforto, segurança, eficiência de energia, conveniência e bem-estar para criar uma experiência única para o usuário.

A segurança é considerada tanto no aspecto físico

quanto virtual, travas biométricas eliminam a possibilidade de o usuário não conseguir entrar na sua casa por esquecimento de chave e evita que pessoas desconhecidas entrem em sua propriedade.

As câmeras de segurança espalhadas pela propriedade fazem o reconhecimento facial e monitoramento de movimento das pessoas e animais aos arredores.

Já a segurança virtual são protocolos de segurança que impedem desconhecidos a acessar e controlar os dispositivos, resguardando a privacidade dos moradores.

Assistente virtual é um serviço inteligente de reconhecimento de voz e compreensão da linguagem natural que permite habilitar e configurar por voz qualquer dispositivo conectado à internet

O uso desta tecnologia torna mais conveniente aos moradores controlar os dispositivos presentes na casa.

Os desafios de teste de dispositivos IoT vão além de sensores e atuadores; o enorme volume, velocidade e variedade de dados torna o processo de testes complexo e vital para garantir que as funções de cada dispositivo funcionem conforme o esperado.

O *time to market* para alguns dispositivos inteligentes é essencial, as organizações se esforçam para reduzir a funcionalidade da solução, pulando etapas do processo de desenvolvimento e comprometendo a qualidade do produto, pelo menos na primeira versão.

As organizações têm dificuldades para encontrar tempo para testar os dispositivos inteligentes; o Relatório Mundial de Qualidade de 2017 da Capgemini informa que no ano de 2015, 36% das organizações tinham esta dificuldade; já em 2017 este número aumentou para 52%.

Ainda de acordo com o relatório, 97% das organizações monitoram e rastreiam a experiência do usuário final.

O monitoramento é realizado usando vários métodos de fontes de informação, como monitoramento de feedback direto de usuários, acompanhamento de comentários em mídias sociais e monitoramento por meio de bots integrados em aplicativos digitais.

Devido à complexidade dos dados obtidos pelos dispositivos inteligentes, testar a experiência de usuário do cliente em vários dispositivos e interfaces é complicado.

O nível de detalhe dos dados obtidos possibilita a criação de padrões de comportamento do consumidor, esses dados podem ser extraídos para feedback em uma variedade de iniciativas de negócios, desde o desenvolvimento de produtos até campanhas de marketing.

Dentre os tipos de testes realizados dentro de organizações os testes de usabilidade são um dos principais tipos de testes que recebem investimentos de tempo e recursos.

Testes de usabilidade é uma técnica usada no *design* centrado no usuário para avaliar a capacidade do produto atender os requisitos que foram definidos na sua concepção são medidos.

Exemplos de produtos que normalmente se beneficiam de testes de usabilidade são produtos de consumo, dispositivos, sites, aplicativos, interfaces e documentos.

Com base em dados obtidos, o profissional

responsável pelos testes de usabilidade determina a extensão de até onde o produto de *software* é entendido, de fácil aprendizado, fácil operação e atraente para os usuários.

O papel do teste é crítico porque envolve o teste de *hardware*, *software* e transmissão de grandes quantidades de dados em tempo real [11].

Do ponto de vista de teste, existem diferentes técnicas de testes a serem executadas para garantir que os usuários tenham uma boa experiência ao utilizar os dispositivos e para garantir que não tenham falhas no sistema.

Volpato [12] realizou um estudo sobre quais tipos de testes de usabilidade são os mais comuns e montou a figura abaixo.

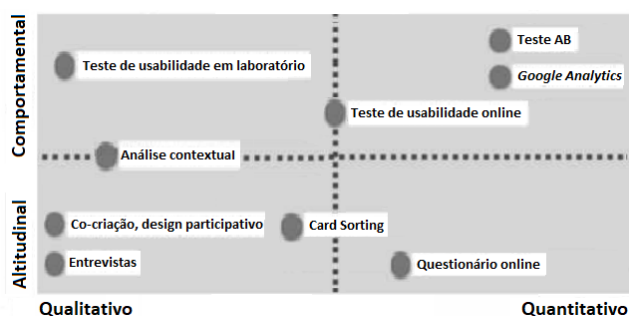


Figura 1 – Diagrama de técnicas de testes de usabilidade

A estrutura tridimensional possui os seguintes eixos: atitudinal e comportamental, qualitativo e quantitativo e contexto de uso.

Pesquisas atitudinais são focadas na opinião dos participantes sobre um produto ou sistema específico enquanto as pesquisas comportamentais analisam as ações dos participantes enquanto usam o produto.

Todos os estudos de teste de usabilidade envolvem um participante executando algumas tarefas atribuídas em um ou mais projetos. Existem, no entanto, dois tipos de dados que podem ser coletados em um estudo de teste do usuário: dados qualitativos e quantitativos [13].

Os dados qualitativos oferecem uma avaliação direta da usabilidade de um sistema, já os dados quantitativos oferecem uma avaliação indireta da usabilidade de um sistema.

O Conselho Internacional de Qualidade de Testes de *Software* (ISTQB) cita alguns motivos pelos quais os testes de aplicações e dispositivos são importantes: identificar os defeitos e erros que foram cometidos durante as fases de desenvolvimento, garantir a confiabilidade e a satisfação do cliente no aplicativo, garantir a qualidade do produto, garantir a entrega de produtos de alta qualidade ou aplicativos de *software* que exigem menor custo de manutenção e resultam em resultados mais precisos, consistentes e confiáveis.

3. Pesquisa

Esta pesquisa faz a utilização de algumas perguntas chaves relacionadas aos tipos de testes de usabilidade

realizados e recomendados por especialistas na área de usabilidade para dispositivos domésticos inteligentes.

E as opiniões dos mesmos sobre o uso de testes de usabilidade para aumentar a aceitabilidade de usuários usando a tecnologia baseado no diagrama de testes de usabilidade de Volpato.

A finalidade desta pesquisa é realizar a análise, com base nos dados obtidos com estas perguntas, sob a visão de especialistas em usabilidade, quais são os tipos de testes de usabilidade mais indicados para dispositivos presentes em casas inteligentes e se com a aplicação de tais testes a quantidade de usuários usando a tecnologia aumentaria.

Para a coleta de dados, foi utilizado um questionário composto por 19 questões a respeito da opinião de especialistas em usabilidade para saber a sua opinião sobre testes de usabilidade em dispositivos inteligentes presentes em Casas Inteligentes.

Foi recebido um total de 136 respostas para o formulário em português e 44 para o formulário em inglês, totalizando em 180 respostas para uma população de 900 pessoas a quem a pesquisa foi divulgada.

No geral, as respostas demonstravam estar concisas e coerentes, sem uma questão contradizer outra. Foi dado um prazo de 100 dias para a coleta de respostas dos interessados.

A maior atividade no questionário ocorreu durante os 35 primeiros dias, sendo que nos outros ocorreu atividade mínima ou nenhuma.

O questionário foi criado utilizando a ferramenta Google Forms da Empresa Google. Esta ferramenta permite a criação e hospedagem online de formulários de forma gratuita, também fornece o armazenamento dos resultados e outros recursos para a análise dos resultados, como criação de gráficos.

Para abranger mais profissionais com experiência no assunto, o questionário foi traduzido para o inglês e enviado para profissionais que não atuam no Brasil, como Estados Unidos, China e Índia.

Para a formação de dados, foi considerado o questionário em português e inglês.

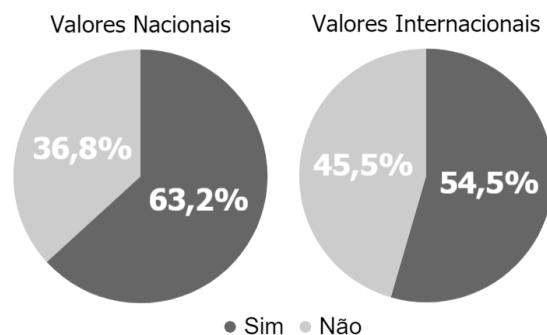


Figura 2 – Utilização de testes de usabilidade em dispositivos domésticos inteligentes

A adoção de dispositivos domésticos inteligentes ainda não foi adotada por muitos usuários; observou-se que somente 54,5% e 63,2% dos especialistas internacionais e nacionais respectivamente tenham aplicado testes de usabilidade em tais dispositivos.



Figura 3 – Técnicas de testes de usabilidade recomendadas para dispositivos domésticos inteligentes

Observa-se que os respondentes internacionais como nacionais recomendam que a combinação de técnicas altitudinais e qualitativas (32,9% e 26,8% respectivamente). É possível perceber que a opinião dos usuários e como eles operam os dispositivos são essenciais para a aceitação dos mesmos.

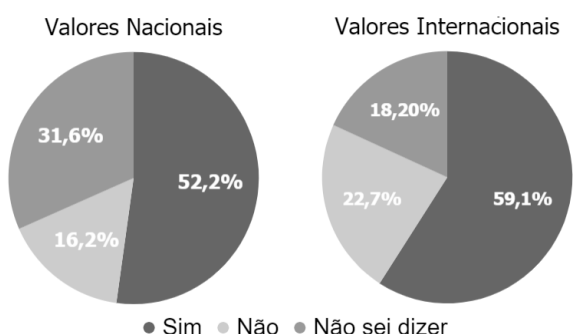


Figura 4 – Resistência em adotar dispositivos domésticos inteligentes

Apesar de a adoção de tecnologias de dispositivos conectados à internet estar crescendo exponencialmente, os respondentes internacionais e nacionais, acreditam que existe uma resistência por parte dos usuários em adotar dispositivos domésticos inteligentes com 59,1% e 52,2% respectivamente.

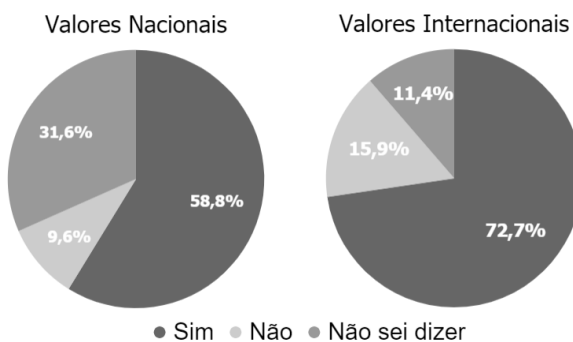


Figura 5 – Utilização de testes de usabilidade em dispositivos domésticos inteligentes

Técnicas de testes de usabilidade são importantes

para entender quais são as necessidades dos usuários e como eles utilizarão as novas tecnologias; os especialistas tanto internacionais como nacionais acreditam que com o uso de técnicas de testes de usabilidade a quantidade de usuários usando dispositivos domésticos inteligentes pode aumentar (72,7% e 58,8% respectivamente).

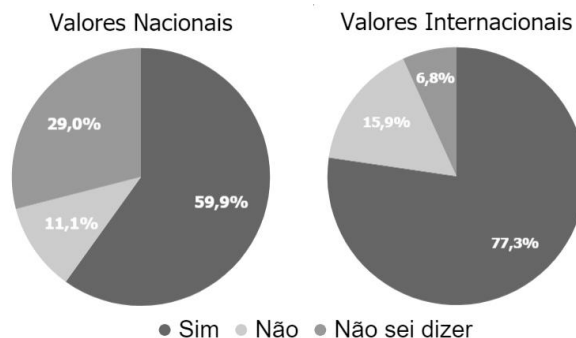


Figura 6 – Carência de testes de usabilidade em dispositivos de casas inteligentes

Compreender porque os usuários estão adotando tecnologias de dispositivos inteligentes e quais são suas dificuldades ao usá-los é muito importante para o desenvolvimento da área; era de se esperar que os profissionais internacionais e nacionais acreditassem que existe uma carência de aplicações de testes de usabilidade em dispositivos domésticos inteligentes (77,3% e 52,9%), como foi comprovado.

4. Conclusões

Com base na pesquisa realizada para o desenvolvimento deste projeto, é possível notar que poucas organizações realizam testes de usabilidade em dispositivos domésticos inteligentes.

Com relação à aceitação por parte da população, os especialistas em usabilidade acreditam que os usuários têm receios de implementar dispositivos inteligentes em suas casas; poderá vir a ser necessário alterar o método pelo qual o processo de testes está sendo priorizado e executado.

A aceitabilidade por parte dos usuários que utilizarão a tecnologia é algo que precisa ser considerado a todos os instantes.

Um último dado a ser destacado é que os especialistas acreditam que há uma carência de testes de usabilidade em dispositivos domésticos e que com o uso de tais testes a quantidade de novos usuários adquirindo a tecnologia poderia aumentar consideravelmente.

À medida que mais pessoas forem utilizando dispositivos domésticos inteligentes, os testes ganharão mais foco pois as companhias perceberão os benefícios trazidos com o uso de testes de usabilidade e estes, possivelmente, passarão a se popularizar.

Referências Bibliográficas

- [1] ASHTON, K. **That 'Internet of Things' Thing.** **RDIF Journal**, artigo 4986, p.1, junho 2009.
- [2] TEICHER, J. **How some techies tinkered with a soda machine and casually made history.** Disponível em <<https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/>>. Acessado em 04/02/2018.
- [3] MITCHELL, A. **The Internet of Things: past, present and future.** Disponível em <<https://www.itproportal.com/features/the-internet-of-things-past-present-and-future/>>. Acessado em 06/02/2018.
- [4] POSLAD, S. **Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions.** 1. ed. Londres: Wiley, 2009.
- [5] ERICSSON, **On the pulse of the networked society.** Ericsson Mobility Report, Estocolmo, p.8 -11, junho 2016.
- [6] CISCO IBSG. **The Internet of Things - How the Next Evolution of the internet is changing everything.** Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), p.2-6, abril 2011.
- [7] MANYIKA, J. et al. **The Internet of Things: Mapping The value beyond the hype.** McKinsey Global Institute Report, Estados Unidos, junho 2015.
- [8] ANGLE, C. **Still making the cool stuff.** The New York Times, Nova Yorke, Today's Paper, p.BU8, maio, 2011.
- [9] HILL, L. **Capgemini's World Quality Report 2017: Quality Assurance must shift to smarter solutions as the complexity of applications and need for speed increase.** Disponível em <<https://www.pcworld.idg.com.au/mediareleases/30354/capgemini-world-quality-report-2017-quality/>>. Acessado em 10/04/2018.
- [10] NABIL, K; SULTAN, M. **Smart to Smarter: Smart Home Systems - History, Future and Challenges.** Human institute of Université de Fribourg, White Paper, p.2-4, Suldão 2016.
- [11] COGNIZANT. **Helping clients navigate the shift to the digital era.** Cognizant Annual Report, Estados Unidos, 2015.
- [12] VOLPATO, E. **Pesquisa com usuários: como escolher a técnica certa?.** Disponível em <<https://brasil.uxdesign.cc/pesquisa-com-usu%C3%A1rios-como-escolher-a-t%C3%A9cnica-certa-bdd09ee0f302/>>. Acessado em 20/05/2018.
- [13] BUDIUI, R. **Quantitative vs. Qualitative Usability Testing.** Disponível em <<https://www.nngroup.com/articles/quant-vs-qual/>>. Acessado em 23/05/2018.

DESEMPENHO ACÚSTICO DO CONTRAPISO FLUTUANTE COM MANTA DE POLIETILENO

Rafael de Brito Moraes¹, Douglas Casagrande^{2,3}

¹ Aluno do curso de Mestrado Strictu Sensu em Engenharia Civil da USJT

² Prof. Doutor do curso de Mestrado Strictu Sensu em Engenharia Civil da USJT

³ Prof. Doutor do curso de Edifícios da Fatec-SP

rafaeldebritomoraes@gmail.com , prof.doug@fatecsp.br, prof.doug@usjt.br

Resumo

Muitas construtoras utilizam uma manta de polietileno expandido de baixa densidade entre o piso e o contrapiso dos apartamentos. Este arranjo constitui um sistema de contrapiso flutuante para o isolamento acústico. A norma brasileira NBR 15.575 estabelece critérios de desempenho para a construção civil e seus sistemas construtivos, porém, há dúvidas sobre a manutenção do desempenho acústico da manta de polietileno ao longo da vida útil da edificação. Neste trabalho, as mantas de polietileno expandido de baixa densidade de 5mm e 10mm de espessura foram avaliadas em sua condição original e posteriormente submetidas a um processo de compressão para atingirem grande deformação na espessura. Após este processo as mantas foram inseridas no sistema construtivo e suas propriedades de isolamento acústico foram avaliadas *in situ*. Mesmo após a deformação das mantas o sistema de contrapiso flutuante apresentou um desempenho acústico dentro do requerido pela norma.

Palavras-chave: desempenho acústico, acústica dos edifícios, manta de polietileno.

1. Introdução

A poluição sonora tem crescido em extensão, frequência e gravidade como resultado do crescimento populacional urbano e do desenvolvimento tecnológico tornando-se um sério problema. O aumento da poluição sonora tem despertado o interesse das pesquisas em todo o mundo [1-4]. A exposição das pessoas ao ruído constante promove uma perda da qualidade de vida e do bem estar podendo causar problemas de saúde relacionados aos distúrbios do sono e outras perturbações que aumentam o nível de *stress* diário [5–9]. As pesquisas também apontam que o ruído produz um estímulo ao sistema nervoso central que aumenta o risco de hipertensão e de outras doenças cardiovasculares [10]. A poluição sonora é sem dúvida uma poluição ambiental quase tão grave quanto a poluição atmosférica e que vem exigindo muita atenção em todos os ecossistemas pois produz efeitos nocivos também aos animais terrestres e marinhos [6,8,11,12].

As pesquisas ambientais têm se preocupado em identificar o problema da poluição sonora e seus efeitos realizando medições e testes *in situ*. Nesta linha de pesquisa, busca-se caracterizar o ambiente já habitado, afetado pelo excesso de ruído e desconforto acústico

[4,13,14]. Algumas pesquisas buscam fazer medições *in situ* para realizar uma comparação entre os materiais utilizados no isolamento acústico do local, porém, esta linha de pesquisa trata a investigação do problema não como um problema do material apenas mas como um problema do isolamento acústico geral estando correlacionado com o entorno e tornando-se difícil realizar comparações e oferecer soluções pontuais [15]. No Brasil, a norma que trata do desempenho em edificações habitacionais incluindo o desempenho acústico é a norma NBR 15.575 [16]. Esta norma apresenta requisitos mínimos de desempenho acústico para as edificações e desde então as construtoras têm se mobilizado para atender os requisitos da norma.

Como as edificações possuem um longo período de vida e o crescimento urbano junto ao desenvolvimento tecnológico vêm causando acelerado aumento no nível de ruídos antropogênicos, faz-se muito necessária a verificação dos processos construtivos atuais em relação ao seu desempenho ao longo do tempo de vida útil da edificação. Para o isolamento acústico dos pisos entre as unidades de apartamento, as construtoras têm utilizado com frequência uma manta de polietileno expandido de baixa densidade sob um contra piso de concreto. O contra piso não encosta nas paredes dos cômodos do apartamento para que o ruído de impacto não se propague através da estrutura para as unidades inferiores e nem superiores. Desta forma, entre o contrapiso e as paredes há um espaço preenchido pela manta de polietileno formando um sistema onde o contrapiso praticamente flutua sobre a manta levando o nome de contrapiso flutuante. A manta de polietileno de baixa densidade repousa sobre a laje e recebe sobre si o contrapiso, sendo instalada durante a construção da edificação e permanecendo durante todo o tempo de vida do edifício. Há um grande questionamento sobre a manutenção das características desta manta e de seu desempenho acústico ao longo dos anos de uso da edificação. Desta forma, realizamos uma avaliação do desempenho acústico da manta de polietileno após um processo experimental de sobrecarga com grande deformação da manta por compressão, diminuindo a sua espessura para realizar a comparação de seu desempenho acústico com o desempenho em seu estado original e principalmente se os níveis de isolamento acústico exigidos pela norma são mantidos.

2. Materiais e Método

O objeto de estudo foi o desempenho acústico do sistema de contrapiso flutuante construído sobre uma

manta de polietileno expandido de baixa densidade. As mantas usualmente utilizadas na construção civil para esta finalidade possuem espessuras de 5 mm e 10mm. Buscamos verificar a manutenção das características acústicas destas mantas por meio de ensaios de deformação por sobrecarga, seguidos por ensaios de desempenho acústico. A deformação por sobrecarga foi realizada passando sobre a manta um rolo de compressão de 12 toneladas oferecendo uma força perpendicularmente à superfície da manta equivalente a $1,196 \times 10^5$ N.

Durante o seu processo de fabricação a manta sofre uma expansão sendo formada por longas cadeias poliméricas de polietileno. O processo produz uma manta de material macio porém muito resiliente, semelhante a uma esponja a qual leva o nome de *polietileno expandido de baixa densidade (EPE foam)*.

A diminuição da espessura da manta por sobrecarga de compressão, diminui o volume ocupado pela manta promovendo um aumento da densidade ρ . A densidade é uma propriedade de todos os materiais, porém, ela é uma função da temperatura e da pressão $\rho(T,P)$ as quais alteram o volume do material e por conseguinte, a sua densidade. A diminuição da espessura da manta com concomitante aumento da sua densidade podem ocorrer durante o seu longo tempo de vida útil no sistema construtivo, por pressão excessiva ou prolongada devido ao seu uso. Estas alterações estruturais podem afetar o seu desempenho em relação ao isolamento acústico. A variação deste desempenho foi avaliada por ensaios acústicos conforme recomenda as Normas ISO 16.283-1:2014 *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation*, ISO 16.283-2:2018 *Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation*.

A norma que apresenta o método de avaliação do isolamento acústico para o ruído de impacto utilizando uma máquina de ruído de impacto padrão é a norma ISO 140-7. De acordo com a norma ISO 140-7, o ruído de impacto deve ser gerado em pelo menos 4 posições diferentes e aleatoriamente distribuídas no piso a ser avaliado. A distância mínima entre a máquina de ruído em relação às paredes do cômodo deve ser de 0,5m. Para os microfones situados no pavimento inferior deve-se respeitar a distância mínima de 0,7 m entre cada microfone. Também devem ser respeitadas as distâncias mínimas de 0,5 m entre os microfones e as paredes do cômodo e de 1 m entre as posição dos microfones e o piso superior. Com isso, uma configuração de pelo menos quatro posições de microfones e pelo menos quatro posições da máquina de ruído de impacto devem ser utilizadas segundo a norma.

Os ensaios foram realizados *in situ*, em colaboração com a construtora **Silvercon** em duas unidades de apartamentos com dormitórios sobrepostos. Foram utilizados os apartamentos do 12º e 13º andares do edifício localizado no bairro da Vila Augusta, no município de Guarulhos/SP.

O piso do andar superior, situado no 13º andar do edifício, possui área de 7,68 m². Neste piso foram colocados quatro pontos para a excitação de ruído de impacto produzidos por uma máquina padronizada. A Figura 1 fornece a vista do andar superior onde estão localizados os pontos de excitação de impacto descritos na figura por *Tapping Machine* P₁, P₂, P₃ e P₄.

O nível de pressão sonora de impacto normalizado L_n é calculado levando-se em conta o nível de pressão sonora de impacto L_i medido no ambiente e a relação entre a área da superfície do ambiente com uma área de superfície padronizada. Neste cálculo de normalização não se leva em conta o tempo de reverberação do som na superfície interna do ambiente receptor. A Equação 1 fornece o nível de pressão sonora de impacto normalizado L_n :

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ (dB)} \quad (1)$$

onde:

L_n = Nível de pressão sonora de impacto normalizado (dB)

L_i = Nível de pressão sonora de impacto (dB)

A = Área de absorção acústica da sala receptora (m²)

A_0 = Área de absorção acústica de referência cujo valor é 10 m².

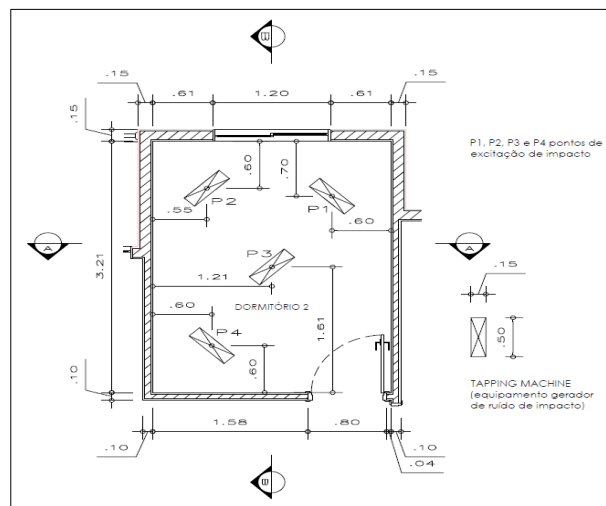


Figura 1 – Pontos de excitação de ruídos de impacto no andar superior (13º andar).

Quando é possível medir o tempo de reverberação sonora nas paredes internas do ambiente receptor usa-se essa medida para calcular o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} . A Equação 2 fornece o nível de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} como:

$$L_{nt} = L_i - 10 \log \frac{t}{t_0} \text{ (dB)} \quad (2)$$

onde:

L_{nt} = Nível de pressão sonora de impacto padronizado (dB)

L_i = Nível de pressão sonora de Impacto (dB)

t = Tempo de reverberação do ambiente receptor (s)

t_0 = Tempo de reverberação de referência = 0,5 s

Realizamos medidas de absorção sonora no piso inferior para quantificar a influência do ruído reverberante neste piso e aferir os níveis de pressão sonora de impacto padronizado L_{nt} por este método.

Foram gerados ruídos aéreos no piso inferior para medir o tempo de reverberação do som neste ambiente e realizar a correção do nível de pressão sonora de impacto conforme a Equação 2. Essas medições foram realizadas conforme a norma ISO 354 empregando-se uma fonte de ruído omnidirecional como fonte de ruído impulsivo. Após o impulso acústico seguiu-se a medição do decaimento sonoro durante 15 segundos.

Os valores dos tempos de reverberação foram efetuados em terças de oitava no piso inferior com a fonte de ruído omnidirecional no mesmo ambiente posicionada sobre um tripé a 1,5m de altura do piso.

Foram realizadas medições do impulso sonoro seguido do decaimento sonoro em 20 registros de resposta de reverberação.

Para avaliações de isolamento acústico *in situ* é necessário fazer uma correção do ruído de fundo em alguns casos. O nível do ruído de fundo deve encontrar-se a pelo menos 6dB abaixo do ruído emitido pela fonte. Caso a diferença esteja entre 6dB e 10dB deve-se realizar a correção de acordo com a Equação 3:

$$L = 10 \log(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10})(dB) \quad (3)$$

onde:

L = Nível do sinal ajustado (dB)

L_{sb} = Nível da combinação do sinal com o ruído de fundo (dB)

L_b = Nível de ruído de fundo (dB)

Caso a diferença seja menor ou igual a 6dB em qualquer banda de frequência, utiliza-se a correção de 1,3dB.

Durante os ensaios, para a redução do nível de ruído de fundo, foram realizados procedimentos de isolamento acústico revestindo-se a porta e a janela do cômodo do piso inferior com chapas de madeira compensada de 15mm de espessura e manta geotêxtil para garantir um nível baixo de ruído de fundo.

A medição da pressão sonora no piso inferior foi realizada utilizando-se cinco microfones no dormitório adjacente ao apartamento superior, no cômodo diretamente abaixo. Este ambiente também possui identicamente 7,68 m² de área de piso, 19,52 m³ de volume, 43,81 m² de área de superfície interna e 2,54 m de pé-direito.

O contrapiso foi executado seccionado para que fosse possível montar e desmontar, sem demolição. As placas de contrapiso foram pré fabricadas nas dimensões de 44 cm x 57 cm x 5 cm com concreto de traço 1:2:2 reforçado com tela. Estas placas foram justapostas sobre a manta no piso superior.

O ruído padronizado sobre a superfície foi produzido por impacto vertical. Com isso, a onda sonora propaga-se preferencialmente na direção perpendicular à superfície do contrapiso até atingir a laje. As ondas sofrem um espalhamento na laje e retornam às placas de contra piso sofrendo nova colisão e espalhamento.

O seccionamento do contra piso em placas não contribuiu significativamente para a redução da propagação do som para o ambiente receptor pois a espessura de 5 cm da placa de contrapiso é cerca de 10 vezes menor do que as dimensões laterais e com isso, a propagação é favorecida na direção normal à superfície devido à baixa dimensionalidade nesta direção e sobretudo ao impacto vertical sobre a superfície pois a onda sonora é uma onda longitudinal. Por outro lado, o seccionamento do contra piso poderia favorecer a dissipação de energia sonora devido à formação de ondas estacionárias nas superfícies das placas. Porém, as frequências sonoras avaliadas neste trabalho possuem seus comprimentos de onda muito superiores às dimensões laterais das placas utilizadas. A frequência do primeiro harmônico possui a maior probabilidade de ocorrência por ser a frequência natural de vibração da placa em um processo de percussão por impacto. Para este harmônico forma-se uma onda estacionária de comprimento igual ao dobro da dimensão lateral da placa, apresentando um nó em cada borda. Com isso, para que haja a formação de ondas estacionárias no primeiro harmônico, o comprimento de onda deverá estar entre 0,88 m e 1,14m dada as dimensões laterais das placas. Uma vez que para o concreto, a velocidade média de propagação do som é cerca de 3500 m/s, o comprimento de onda na frequência de 100 Hz será 35 m e na frequência de 3150 Hz será 1,11 m. Este último comprimento de onda está no limite da frequência superior analisada. Assim, o seccionamento do contra piso em placas previamente dimensionadas, não reduz significativamente a propagação sonora na direção normal à superfície pois não há formação de ondas estacionárias superficiais na faixa de frequências analisadas.

A norma ISO 717-2 apresenta o método para a obtenção do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$. Segundo a norma ISO 717-2, obtém-se o gráfico com as medidas do nível de pressão sonora de impacto normalizado L_n ou padronizado L_{nt} em bandas de terças de oitava entre 100 Hz a 3150 Hz. Os dados obtidos são comparados com uma curva de referência de pressão sonora de impacto em função da frequência. Para determinar o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$, move-se verticalmente para cima a curva de referência até que a somatória dos valores entre a curva de ensaio e a curva de referência não exceda 32dB. Quando a curva estiver posicionada seguindo este critério, o nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$ será a imagem do ponto na frequência de 500 Hz da curva de referência. Este procedimento foi realizado de forma automatizada pelo conjunto de equipamentos padronizados e certificados utilizados nestes ensaios e relacionados na Tabela I.

Os equipamentos possuem certificados de calibração com prazos de validade em vigor, emitidos pela empresa FALCÃO BAUER, a qual está integrada à Rede Brasileira de Calibração e devidamente credenciada pelo INMETRO.

A norma brasileira NBR 15.575 estabelece critérios para os níveis de pressão sonora padronizada e ponderada $L_{nt,w}$ medidos em campo e os níveis de desempenho acústico do sistema conforme apresentados na Tabela II.

Tabela I – Marcas e modelos dos equipamentos utilizados nos ensaios acústicos.

Equipamento	Função
1 - Medidor de nível de pressão sonora portátil da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2270.	Medir a pressão sonora em dB.
2 - Amplificador de potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 2734.	Amplificar o som para o alto-falante.
3 - Alto-falante omnidirecional de alta potência da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 4292-L.	Emitir o som para a medida do tempo de reverberação.
4 - Gerador de ruído de impacto padrão (<i>Tapping Machine</i>) da marca BRÜEL & KJAER, modelo TYPE 3207.	Gerar um ruído por impacto no contrapiso.

Tabela II – Critérios - Níveis de pressão sonora de impacto padronizado ponderado $L_{nt,w}$ e o nível de desempenho acústico para os ensaios de campo.

Elemento	$L_{nt,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Laje ou outro elemento portante com ou sem contrapiso e sem tratamento acústico.	>80*	M (Mínimo)
Laje ou outro elemento portante com ou sem contrapiso e com tratamento acústico.	55 a 65	I (Intermediário)
	<55	S (Superior)

*O valor mínimo exigido corresponde a valores representativos de ensaios realizados em pisos de concreto maciço, com espessura de 10 cm a 12 cm, sem acabamento.

O valor de $L_{nt,w}$ é apropriado para caracterizar o ruído de impacto proveniente do caminhar de pessoas sobre pisos de madeira ou concreto com acabamento em carpete ou contra piso flutuante, porém, o valor de $L_{nt,w}$ não considera os picos dos níveis de ruído nas baixas frequências. Para realizar uma correção considerando este efeito, um termo de adaptação C_i foi criado substituindo a regra de 8 dB utilizado na primeira edição da norma ISO 717-2. O termo C_i é calculado pela Equação 4:

$$C_i = 10 \log \sum_{i=1}^k 10^{L_i/10} - 15 - L_{nt,w} \quad (4)$$

3. Resultados

Os resultados foram condensados em dois gráficos de pressão sonora padronizada L_{nt} (dB) para o ruído de

impacto em função da frequência em Hz juntamente com o cálculo dos valores de pressão sonora padronizada e ponderada $L_{nt,w}$.

O gráfico para a manta de 5 mm de espessura pode ser visto na Figura 2. Os valores medidos para a manta na forma original são dados pela linha cheia com círculos cheios. A linha tracejada com quadrados vazios representam as medidas para a manta de 5 mm deformada.

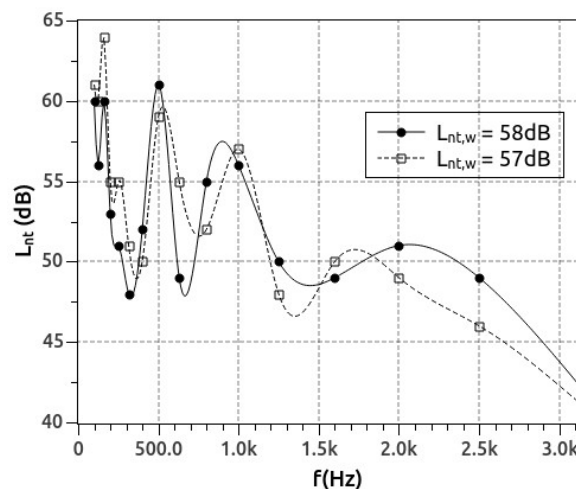


Figura 2 – Gráfico da pressão sonora padronizada L_{nt} (dB) X f (Hz) para a manta de 5 mm de espessura original (linha cheia) e com deformação (tracejada).

O nível de pressão sonora padronizado ponderado $L_{nt,w}$ para a manta de 5 mm foi obtido respectivamente em 58 dB para a manta de 5 mm original e 57 dB para a manta de 5 mm deformada mantendo o seu desempenho acústico no nível intermediário após a deformação da manta conforme os dados da Tabela II e seguindo os critérios da norma brasileira NBR 15.575.

O gráfico de pressão sonora padronizada do ruído de impacto em função da frequência para a manta de 10 mm de espessura na forma original e com deformação pode ser visto na Figura 3.

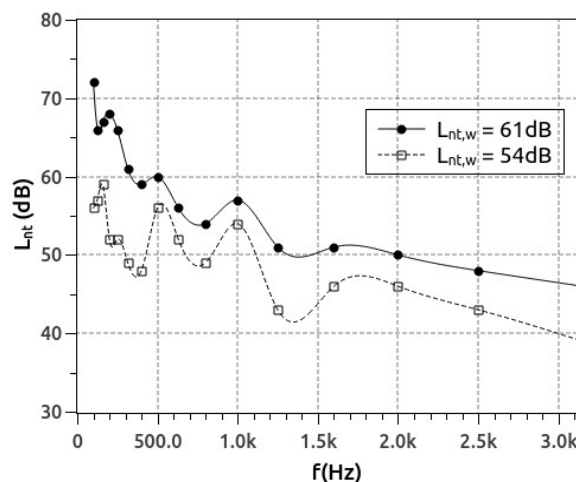


Figura 3 – Gráfico da pressão sonora padronizada L_{nt} (dB) X f (Hz) para a manta de 10 mm de espessura original (linha cheia) e com deformação (tracejada).

O nível de pressão sonora padronizado ponderado $L_{nt,w}$ para a manta de 10 mm foi obtido respectivamente em 61 dB para a manta de 10 mm original e 54 dB para a manta de 10 mm deformada. O nível de desempenho para este sistema segundo a norma brasileira NBR 15.575 melhorou de intermediário para superior após a deformação da manta de polietileno conforme pode ser visto pelos critérios de desempenho da norma apresentados na Tabela II.

Com os resultados obtidos pelos gráficos das Figuras 2 e 3, observa-se uma melhora no desempenho do sistema de contrapiso flutuante com a manta de polietileno expandido deformada por sobrecarga de compressão. Para a manta de 5 mm de espessura, o nível de pressão sonora padronizada e ponderada $L_{nt,w}$ caiu de 58 dB na manta original para 57 dB na manta comprimida. Houve uma pequena melhora do $L_{nt,w}$, porém, uma leve piora no desempenho acústico da manta comprimida na região de baixas frequências pode ser observada no gráfico da Figura 2. Neste gráfico, o nível de pressão sonora padronizado L_{nt} elevou-se levemente para a manta comprimida em relação à manta original na maioria das frequências abaixo de 700 Hz. Para as frequências acima de 800 Hz, o nível de pressão sonora padronizada L_{nt} diminuiu para a manta comprimida em relação à manta original na maioria das frequências desta faixa. Essa inversão de comportamento entre as baixas e altas frequências para a manta de 5 mm comprimida em relação à manta original é explicada considerando que a perda de energia sonora no interior da manta é função direta da densidade e da espessura do material. Porém, a diminuição da espessura da manta se torna um parâmetro crítico neste caso, especialmente na região de baixas frequências onde o comprimento da onda sonora é maior e a região do percurso da onda é menor. Com a deformação por compressão, a manta de 5 mm adquiriu uma espessura mais fina o que favoreceu a passagem de baixas frequência, enquanto o aumento da densidade da manta por compactação melhorou o seu desempenho ao isolamento acústico nas altas frequências.

Para a manta de 10 mm pôde-se observar claramente uma melhora do desempenho acústico pelo gráfico da Figura 3. A diferença de pressão sonora padronizada L_{nt} é bem visível para todas as frequências neste gráfico. A manta de polietileno expandido, a qual foi a única componente do sistema construtivo que sofreu alteração estrutural por compressão, manteve uma coerência em resposta ao ruído de impacto, diminuindo a sua pressão sonora padronizada L_{nt} em todas as frequências em relação à manta original. Neste caso, a deformação por compressão aumentou a densidade da manta de 10 mm por compactação, aumentando também a perda de energia sonora para todas as faixas de frequência. Apesar da compressão diminuir a espessura da manta, esta redução não foi suficiente para diminuir o desempenho na região de baixas frequências como no caso da manta de 5 mm. O nível padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ da pressão sonora do ruído de impacto diminuiu de 61 dB na manta de 10 mm original para o

valor de 54 dB na mesma manta com deformação por compressão.

Basicamente, dois fenômenos distintos contribuíram para o isolamento acústico do sistema. Um deles foi a reflexão da onda, a qual permanece em maior parte confinada na região da manta devido à relação entre as densidades dos dois materiais nas interfaces concreto/manta/concreto. O segundo fenômeno é a dissipação de energia acústica no interior da manta devido à densidade e à espessura da manta enquanto percurso amortecedor para a dissipação da energia sonora. O fenômeno de reflexão e transmissão da onda se dá na interface onde a reflexão da onda na laje para o interior da manta será tanto maior quanto maior for a diferença entre as densidades dos materiais, porém, a perda de energia será maior quanto maior for a densidade do material dissipador (a manta) e quanto maior for a sua espessura, ou seja, a distância a ser percorrida pela onda sonora neste material.

Mesmo com o aumento da densidade da manta devido à compactação, sua densidade ainda é bem menor do que a densidade do material compósito da laje e do contrapiso que são feitos de concreto. Esta grande diferença de densidade entre o concreto e a manta faz com que o som seja potencialmente refletido na laje. A onda sonora refletida nesta interface retorna através da manta em direção ao piso superior encontrando uma manta mais densa e consequentemente perdendo mais energia nesta propagação. Ao encontrar a superfície interna do contrapiso, reflete novamente em sua maior parte de volta para o interior da manta.

Para a manta de 10 mm, mesmo tendo a sua espessura diminuída por compressão, o seu desempenho ao isolamento em baixas frequências foi melhorado pois uma espessura suficiente foi mantida para o amortecimento da onda e dissipação de energia sonora no interior da manta devido às reflexões nas superfícies do concreto.

A relação entre as densidades dos materiais da interface concreto/manta/concreto e da densidade e espessura da manta como material dissipador de energia são parâmetros que combinados, jogam uma importante regra para melhorar o isolamento acústico do sistema.

Em ambos os casos, para as mantas de 5 mm e 10 mm que sofreram deformação por compressão, o desempenho acústico do sistema construtivo não diminuiu. Ele foi mantido e até mesmo otimizado com o aumento da densidade da manta devido à compactação por compressão.

4. Conclusões

Entre os resultados obtidos observou-se que o desempenho acústico para o contrapiso flutuante com manta de polietileno expandido de baixa densidade foi mantido devido à deformação da manta por sobrecarga de compressão. O nível de pressão sonora padronizado e ponderado $L_{nt,w}$ diminuiu para as duas espessuras das mantas utilizadas após a deformação. Para a manta de 5 mm houve uma diminuição de 58 dB para 57 dB mantendo o sistema no nível de desempenho

intermediário. Para a manta de 10 mm a diminuição foi mais significativa caindo de 61 dB para 54 dB elevando o nível de desempenho do sistema de intermediário para superior conforme a norma brasileira de desempenho NBR 15.575. A deformação por sobrecarga de compressão promoveu um aumento da densidade das mantas por compactação o que efetivamente melhorou o desempenho. Pôde-se perceber também que a diminuição da espessura da manta mais fina de 5 mm devido à deformação por compressão causou uma piora no isolamento acústico para as frequências mais baixas, possivelmente devido ao menor percurso para a propagação da onda sonora de maior comprimento de onda no interior da manta para estas frequências. Este fato não chegou a comprometer o desempenho do sistema construtivo como um todo mantendo-o dentro dos níveis exigidos pela norma brasileira de desempenho.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à construtora **Silvercon** e ao sr. Murilo de Lara Eugenio Junior pela colaboração cedendo as unidades dos apartamentos para a realização dos ensaios. Ao professor Maurício Marques Resende pelo empréstimo dos equipamentos de medida, pelo apoio e sugestões durante os ensaios. Ao professor Cláudio Oliveira Silva pelas sugestões.

Referências Bibliográficas

- [1] J.K. Ryu, J.Y. Jeon, **Influence of noise sensitivity on annoyance of indoor and outdoor noises in residential buildings**, Appl. Acoust. 72, p.336-340, Mai. 2011.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.12.005>
- [2] K.M. Paiva, M.R.A. Cardoso, et. al., **Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population**, Sci.Total Environ. 650, p.978-986, Fev. 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.041>
- [3] S. Secchi, A. Astolfi, et. al., **Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools**, Appl. Acoust. 126, p. 120-130, Nov. 2017.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.05.023>
- [4] G. Loupa, A. Katikaridis, et. al., **Mapping the noise in a Greek general hospital**, Sci. Total Environ. 646, p.923-929, Jan. 2019.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.315>
- [5] A.-M. Nassur, D. Léger, et. al., **The impact of aircraft noise exposure on objective parameters of sleep quality: results of the DEBATS study in France**, Sleep Med. 54, p.70-77, Fev. 2019.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2018.10.013>
- [6] J. Purser, R. Bruintjes, et. al., **Condition-dependent physiological and behavioural responses to anthropogenic noise**, Physiol. Behav. 155, p.157-161, Mar. 2016.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.010>
- [7] S.H. Park, P.J. Lee, et. al., **Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to building noise**, Build. Environ. 136, p.302-311, Mai. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.061>
- [8] Z. Jafari, M. Okuma, et. al., **Prenatal Noise Stress Aggravates Cognitive Decline and the Onset and Progression of β -amyloid Pathology in a Mouse Model of Alzheimer's Disease**, Neurobiol. Aging., p.66-68, Mai. 2019.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.01.019>
- [9] I.C. Eze, M. Foraster, et. al., **Transportation noise exposure, noise annoyance and respiratory health in adults: A repeated-measures study**, Environ. Int. 121, p. 741-750, Dez. 2018.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.006>
- [10] T. Münzel, F.P. Schmidt, et. al., **Environmental Noise and the Cardiovascular System**, J. Am. Coll. Cardiol. 71, p. 688-697, Fev. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>
- [11] H. Slabbekoorn, **Anthropogenic Noise: Impacts on Animals**, in: Ref. Modul. Life Sci., Elsevier, Out. 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01100-6>
- [12] H. Brumm, A.G. Horn, **Noise Pollution and Conservation**, in: J.C. Choe (Org.), Encycl. Anim. Behav., Second Ed., Academic Press, Oxford, p. 254-259, Fev. 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.90030-X>
- [13] P. Ricciardi, C. Buratti, **Environmental quality of university classrooms: Subjective and objective evaluation of the thermal, acoustic, and lighting comfort conditions**, Build. Environ. 127, p. 23-36, Jan. 2018.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.030>
- [14] C.-M. Chiang, C.-M. Lai, **Acoustical environment evaluation of Joint Classrooms for elementary schools in Taiwan**, Build. Environ. 43, p. 1619-1632, Out. 2008.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.014>
- [15] H.-S. Yang, H.-M. Cho, et. al., **On-site measurements for noise reduction through open windows of classrooms with different building dispositions**, Appl. Acoust. 139, p.165-173, Out. 2018.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.04.030>
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**, Rio de Janeiro, 71pp, 2013.

DESENVOLVIMENTO DE UM MICROSENSOR DE PRESSÃO MICROELETROMECHANICO

Kaique Figueiredo Sanches¹, Hebert Dan Shingaki Tabiku², Luis da Silva Zambom³ Marcelo Bariatto Andrade Fontes⁴

¹Aluno de mestrado do curso Microeletrônica da POLI/USP

²Aluno do curso de Microeletrônica da FATEC-São Paulo

^{3,4}Professores Doutores, dos cursos de Microeletrônica e Eletrônica Industrial da FATEC-São Paulo

kaique.sanches01@gmail.com¹, hdanyabiku@gmail.com², zambom@fatecsp.br³, bariatto@fatecsp.br

Resumo

Este trabalho consiste no projeto, simulação e fabricação de um microsensor de pressão desenvolvido utilizando a tecnologia MEMS (Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos). O microsensor de pressão é baseado em piezoresistores difundidos sobre uma membrana de silício, obtida pelo processo de corrosão anisotrópica do silício em KOH (hidróxido de potássio). Utilizou-se o simulador de processos SimMEMS para a definição das máscaras e visualização das etapas de fabricação do microsensor, incluindo a corrosão anisotrópica do silício e o simulador multifísico COMSOL®, para verificar a distribuição do estresse mecânico total e posicionamento dos piezoresistores, o deslocamento axial da membrana e a resposta elétrica do microsensor entre a pressão atmosférica (~100 kPa) e 160 kPa.

Verificou-se que a deformação da membrana em função da pressão aplicada, atinge valores máximos de 1,1 µm, em sua região central. Observou-se que a região próxima do início da membrana, na posição mediana de cada lado do quadrado que a define, representa os máximos de estresse mecânico, da ordem de $1,5 \cdot 10^7$ N/m², onde o piezoresistor deve ser localizado. Verificou-se que a resposta do sensor varia linearmente com a pressão, apresentando sensibilidade de 10 mV/Pa, coerente com o valor obtido experimentalmente e varia inversamente proporcional ao quadrado da espessura da membrana, aumentando em uma ordem de grandeza.

1. Introdução

A tecnologia empregada na construção de Sistemas Micro-Eleto-Mecânicos (MEMS) é de natureza multidisciplinar, uma combinação de conceitos da microeletrônica, engenharia mecânica, ciência dos materiais, física e química, reunidos para produzir sistemas integrados em um único chip, gerando dispositivos capazes de desempenhar funções de sensoramento, controle e atuação, possuindo vantagens de produção em larga escala, baixo custo de fabricação, elevada reprodutibilidade, confiabilidade e baixo tempo de resposta [1,2].

Desenvolvida a partir dos anos 80, esta tecnologia vem apresentando rápida evolução em virtude da vasta gama de possíveis aplicações, sendo considerada uma das tecnologias mais promissoras do século XXI [3,4].

Os microsensors de pressão possuem uma ampla gama de aplicações em diversas áreas, englobando desde a indústria automotiva e processos de produção e equipamentos médicos [5,6].

Existem diversos tipos de sensores que realizam a transdução mecânica necessária para a medição da pressão, baseadas nos efeitos de piezoresistividade, piezoelectricidade, capacitância variável, ópticos e ressonantes [7,8].

O microsensor desenvolvido neste trabalho [9,10] é baseado em 4 piezoresistores, com geometrias simétricas (R1 e R2), Figura 1, obtidos pela difusão de dopante tipo n em regiões específicas de uma membrana de silício tipo p, obtida pelo processo de corrosão anisotrópica em solução de KOH (hidróxido de potássio) [11]. A resposta elétrica do sensor é obtida por meio de um circuito em ponte de Wheatstone, no qual a diferença de potencial (ddp) é função da variação de resistência dos piezoresistores submetidos à pressão.

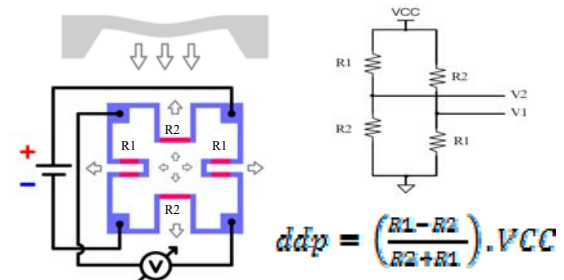


Figura 1. Desenho esquemático do funcionamento do microsensor de pressão e a resposta elétrica (ddp) dos piezoresistores em um circuito em ponte de Wheatstone.

2. Projeto e Fabricação do Microsensor

O projeto e fabricação do microsensor foi baseado na utilização de 4 piezoresistores de silício tipo n, difundidos sobre uma membrana de silício tipo p, possuindo dimensão quadrada de 15 mm de lado, contatos de alumínio de 5 mm e piezoresistores com largura de linha de 250 µm. Em uma lâmina de silício com 7,5 cm de diâmetro foram fabricados 12 microsensors. Utilizou-se o simulador de processos SimMEMS [12] para definição das máscaras, Figura 2, e visualização das etapas de fabricação do microsensor.

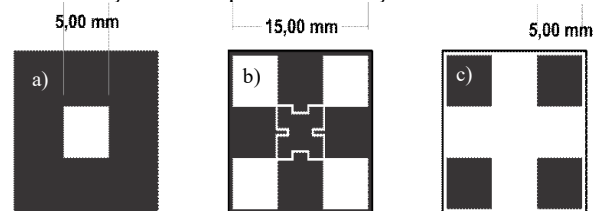


Figura 2. Máscaras utilizadas na fabricação do microsensor: a) área para corrosão anisotrópica do Si, b) regiões de difusão dos piezoresistores e c) contatos elétricos.

A definição da largura da membrana (w_b) é feita pela corrosão do substrato em KOH, levando em consideração a anisotropia do monocristal de Si, mostrada na Figura 3.

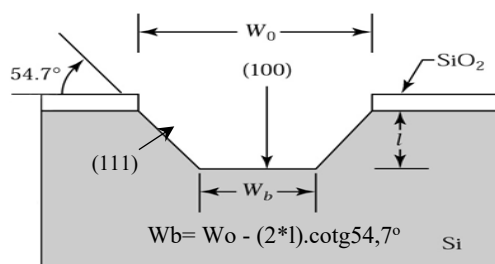


Figura 3. Representação da corrosão anisotrópica do Si em solução de KOH onde: w_0 = largura da máscara especificado 5 mm.; l = profundidade a ser corroída: para uma membrana de 50 μm de espessura em um substrato com 350 μm de espessura que resulta em 300 μm e w_b = largura da membrana: calculada em 4,7 mm.

A fabricação do micros sensor seguiu as seguintes etapas de processamento e representado pelo simulador SimMEMS:

- I. Limpeza padrão RCA da lâmina de silício (<100>, $\Phi = 7,5$ cm, tipo p, $\rho = 10 \Omega \cdot \text{cm}$ e espessura 345,9 μm) consiste em imersão por 10 minutos em solução de $1\text{H}_2\text{O}_2:4\text{H}_2\text{SO}_4$ a 115 $^\circ\text{C}$, 1 minuto em solução de $1\text{HF}:50 \text{H}_2\text{O}$ a temperatura ambiente, 15 minutos em solução de $5\text{H}_2\text{O}:1\text{NH}_4\text{OH}:1\text{H}_2\text{O}_2$ a 70 $^\circ\text{C}$ e 10 minutos em solução de $4\text{H}_2\text{O}:4\text{H}_2\text{O}_2:1\text{HCl}$ a 70 $^\circ\text{C}$ e 5 minutos de lavagem em água deionizada ($\rho = 18,2 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$) entre as etapas;
- II. Oxidação da lâmina de silício: foram realizadas em duas etapas: oxidação seca (O_2 , 99,999 %) por 1 hora, a 1150 $^\circ\text{C}$ e oxidação úmida (O_2 , 99,999 % saturado com vapor d'água) por 15 horas a 1150 $^\circ\text{C}$, com fluxo de 2 L/min nos dois casos, para obtenção de $\sim 2,78 \mu\text{m}$ de SiO_2 , Figura 4;

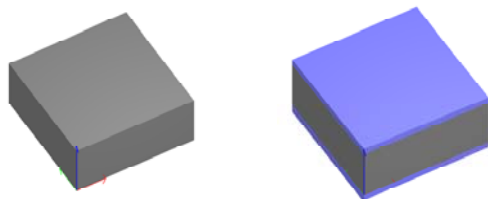


Figura 4. Representação da etapa I, lâmina de Si e II, sua oxidação

- III. Processo de transferência da imagem (fotolitografia) da máscara para o óxido de silício, na qual a imagem da máscara é replicada em um composto orgânico (fotorresiste positivo) sensível à luz ultravioleta. A região do fotorresiste positivo exposto à luz é removido deixando exposto o óxido de silício para corrosão em solução de $1\text{HF}:5\text{NH}_4\text{F}$, por 35 minutos. Após a corrosão do óxido de silício, tem-se a superfície de silício exposta que define as regiões dos piezoresistores para posterior difusão, como mostra a Figura 5. Esta corrosão foi realizada em um suporte de teflon que protege a face inferior da lâmina;

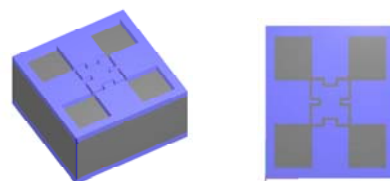


Figura 5. Representação da etapa III.

- IV. Difusão do dopante tipo n, fósforo, nas regiões dos piezoresistores e contatos, através da aplicação de cerca de 1 mL de solução líquida de óxido de silício contendo fósforo, utilizando-se um sistema (*spinner*) que permite o controle de rotação a 2000 rpm e tempo de 20 segundos. A difusão ocorreu a 1150 $^\circ\text{C}$ e 15 min, como mostra a Figura 6;

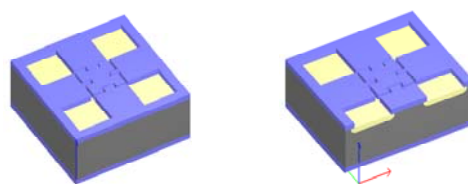


Figura 6. Representação da etapa IV

- V. Remoção do resíduo do filme dopante em solução de $1\text{HF}:50\text{H}_2\text{O}$ a temperatura ambiente por 6 minutos;
- VI. Deposição de 500 nm de alumínio pelo processo de evaporação térmica, seguida por processo de fotolitografia e corrosão em solução de $3\text{H}_2\text{O}:10\text{H}_3\text{PO}_4:1\text{HNO}_3$ para definição dos contatos elétricos, indicado na Figura 7;

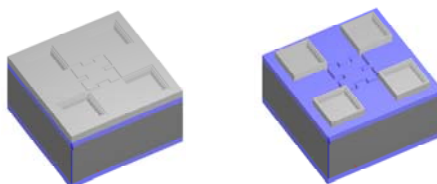


Figura 7. Representação da etapa VI.

- VII. Fotolitografia, nas costas da lâmina, para corrosão do óxido de silício, $1\text{HF}:5\text{NH}_4\text{F}$, por 35 minutos, utilizando novamente o suporte de teflon para proteção da face com os piezoresistores. Segue-se a corrosão do silício para a definição de 30 μm de membrana em solução 30% de KOH (30 g de KOH em 100 ml de H_2O) a 80 $^\circ\text{C}$ por 5h40min, como indicado na Figura 8;

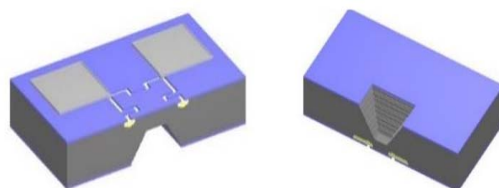


Figura 8 - Representação da etapa VII.

3. Simulação do Microssensor

A próxima etapa foi utilizar o simulador multifísico COMSOL®[13] para verificar as características mecânicas na região da membrana, tais como a distribuição do estresse mecânico total relativo ao posicionamento dos piezoresistores, seu deslocamento axial e a influência da espessura da membrana e da dopagem dos piezoresistores na resposta elétrica do microssensor [14]. A representação do microssensor simulado pelo COMSOL® está mostrada na Figura 9, onde utilizou-se as ferramentas de edição de figuras para a criação do modelo. Foram adotadas as seguintes condições:

- Geometrias em tamanho real, escala 1:1;
- Faixa de pressão aplicada à membrana: pressão atmosférica até 160 kPa;
- Espessura da membrana de 200 μm a 2 μm ;
- Dopagem tipo n utilizada no piezoresistor: 1.10^{20} átomos/ cm^3 a 5.10^{20} átomos/ cm^3 .

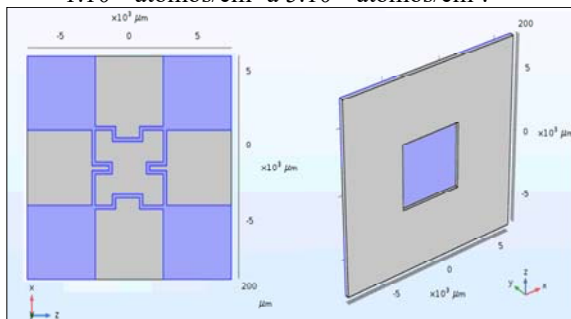


Figura 9. Sensor de pressão simulado no COMSOL®.

Conforme citado anteriormente, o objetivo final na caracterização do microssensor de pressão é obter a relação entre a variação de pressão com algum parâmetro do mesmo que sofre alteração, neste caso, os 4 piezoresistores, conectados em um circuito denominado ponte de Wheatstone. Foi utilizada uma tensão de alimentação de $V_{CC} = 5 \text{ V}$, idêntica à adotada experimentalmente.

4. Resultado e Discussão

Inicialmente são apresentados os resultados obtidos utilizando o simulador multifísico COMSOL®, para o valor de 200 μm para a espessura da membrana.

Foi analisada a distribuição do estresse mecânico na membrana do sensor, para poder identificar a região de maior estresse e assim, posicionar os piezoresistores. A Figura 10(a) representa o resultado da simulação da distribuição do estresse sobreposto à imagem do posicionamento dos piezoresistores. Nota-se que os valores máximos encontram-se posicionados na posição central da borda de cada lado do quadrado que define a membrana. Esta conclusão é mais evidente ao verificar a variação longitudinal, como indicada pela linha vermelha traçada na Figura 10(b). Nota-se que os picos máximos encontram-se nas bordas e aumenta com a pressão aplicada, como mostra na Figura 10(b), atingindo o valor de $1,5.10^7 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}$ para pressão de 160 kPa.

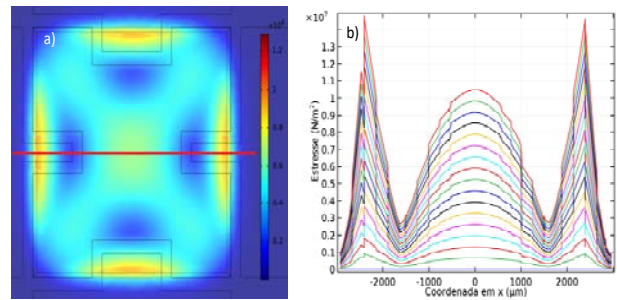


Figura 10. a) Distribuição do estresse mecânico no microssensor e b) gráfico do estresse total ao longo da membrana (linha vermelha).

Verificou-se também a distribuição do deslocamento axial proporcionado pela variação de pressão na membrana, indicada na Figura 11(a), como sua variação ao longo da membrana, na Figura 11(b). Nota-se claramente que a região central da membrana é onde ocorre o máximo de deflexão, atingindo o valor de 1,1 μm para pressão de 160 KPa.

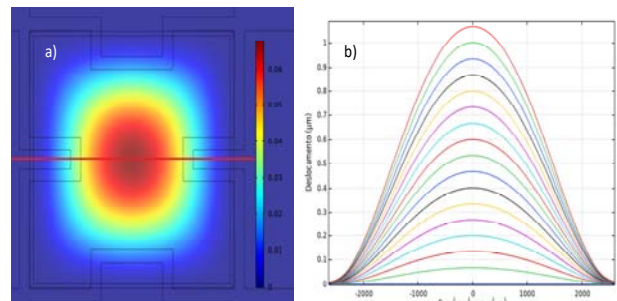


Figura 11. a) Distribuição do deslocamento axial e b) gráfico do deslocamento ao longo da membrana.

A Figura 12 apresenta o resultado da simulação da resposta do sensor em função da pressão aplicada em relação à pressão atmosférica. Nota-se a uma resposta linear, com sensibilidade de 10mV/Pa.

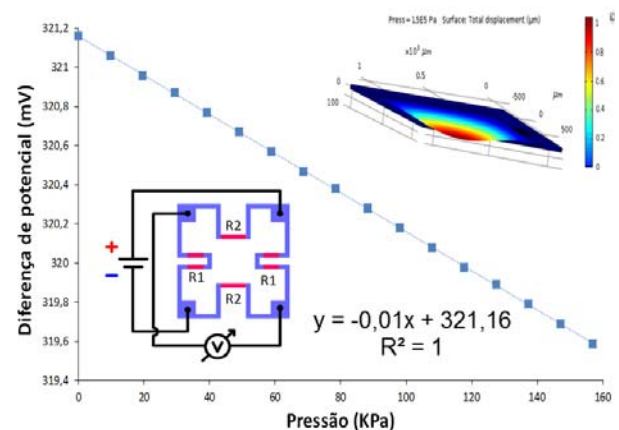


Figura 12. Resposta da variação do microssensor em função da pressão aplicada em relação à pressão atmosférica.

Com o objetivo de analisar o valor da resposta do microssensor no circuito em ponte de Wheatstone, na Figura 1, onde determina-se o valor dos potenciais V_1 e V_2 e a diferença de potencial $ddp = V_1 - V_2$, sendo:

$$V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_{CC}, \quad V_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_{CC} \quad (5)$$

$$ddp = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_2 + R_1} \right) \cdot V_{CC} \quad (6)$$

Considerando o valor dos piezoresistores na ausência de aplicação de pressão, isto é, seus valores iniciais, tem-se:

$$R1 = \rho 1 \cdot \frac{L1}{W1 \cdot T1} \text{ e } R2 = \rho 2 \cdot \frac{L2}{W2 \cdot T2} \quad (7)$$

Como as dopagens (ρ), larguras de linha (W) e profundidade de difusão (T), são iguais para os resistores, temos: $\rho 1 = \rho 2$, $W1 = W2$ e $T1 = T2$. Fazendo a relação entre eles tem-se:

$$k = \frac{R1}{R2} = \frac{L1}{L2} \quad (8)$$

Assim a diferença de potencial, na ausência de pressão dada pela relação entre as dimensões do comprimento da linha dos respectivos resistores é:

$$ddp = \left(\frac{k-1}{k+1} \right) \cdot VCC \quad (9)$$

Simulando o valor da resistência dos piezoresistores variando com a concentração de dopantes (n), sem aplicação de pressão, obteve-se idêntica dependência inversamente proporcional, coerente com o fato que a condutividade ser diretamente proporcional à dopagem, como mostra a Figura 13. Nota-se, também, valores distintos para $R1$ e $R2$, devido à diferença em suas geometrias. Sabendo-se que $L1 = 6,5 \text{ mm}$ e $L2 = 5,7 \text{ mm}$, ou seja, $k = 1,14$ e $VCC = 5V$, obtém-se a $ddp = 327 \text{ mV}$.

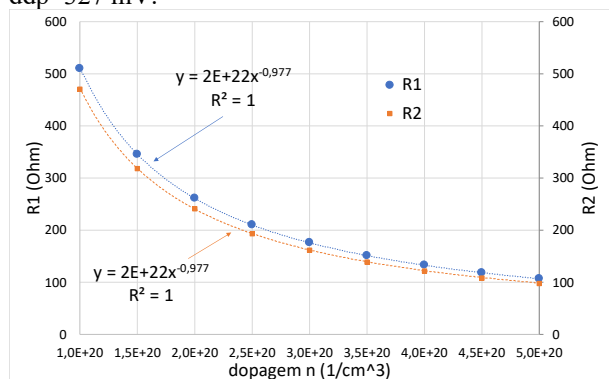


Figura 13. Variação da resistência dos piezoresistores $R1$ e $R2$ com a concentração de dopantes.

Simulou-se a diferença de potencial em função da dopagem dos piezoresistores, observa-se que não depende da mesma (Figura 14) como descrito na equação (9). Esta constatação é consequência da medida diferencial que o circuito em ponte de Wheatstone fornece, já que as variações em $R1$ e $R2$ são idênticas com a dopagem, dependendo somente da relação entre $L1$ e $L2$.

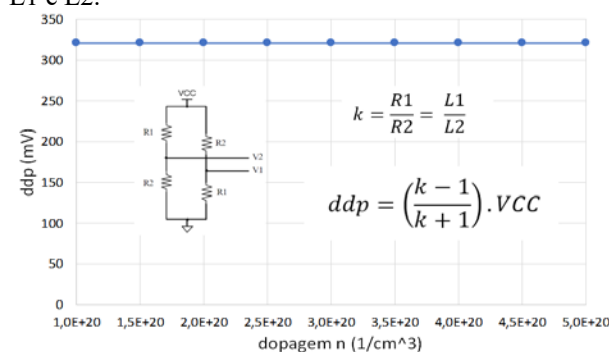


Figura 14. Variação da resposta do sensor com a concentração de dopantes dos piezoresistores.

Fazendo uma análise da variação da diferença de potencial do microssensor em relação a razão geométrica $k = R1/R2 = L1/L2$, verifica-se uma linearidade, aumentando em 221 mV a cada 10% de variação, como mostra a Figura 15. Como esperado, quando todos os resistores são idênticos, $k = 1$, o circuito em ponte de Wheatstone fornece valor nulo.

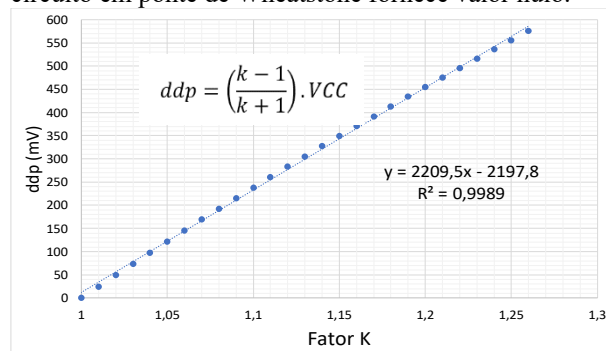


Figura 15. Variação da resposta do sensor com a razão geométrica k .

Finalmente verificou-se, por simulação, como a resposta do microssensor varia com a espessura da membrana. Observa-se que a diferença de potencial relativa é inversamente proporcional ao quadrado da espessura da membrana, aumentando em até uma ordem de grandeza para $2 \mu\text{m}$ em relação a $200 \mu\text{m}$, como indicado na Figura 16.

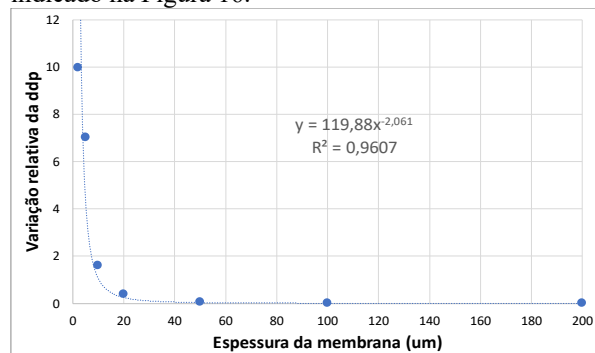


Figura 16. Variação da resposta relativa da ddp do sensor com a espessura da membrana.

Os resultados experimentais da fabricação e caracterização do microssensor são apresentados na sequência. A Figura 17 mostra a lâmina com 12 microssensores e definição dos contatos e piezoresistores, conforme simulados anteriormente. Na Figura 18(a) é mostrado o suporte de teflon utilizado para proteção nas diversas etapas de corrosão e a definição da membrana do microssensor, na Figura 18(b). Medida utilizando a técnica de perfilometria, revelou uma espessura da membrana de aproximadamente $200 \mu\text{m}$.

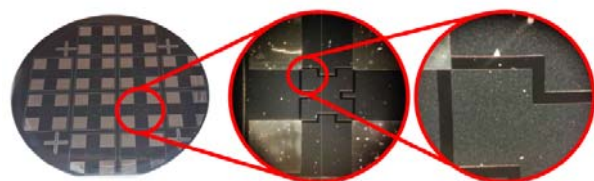


Figura 17. Imagens da lâmina de silício contendo microssensores fabricados.

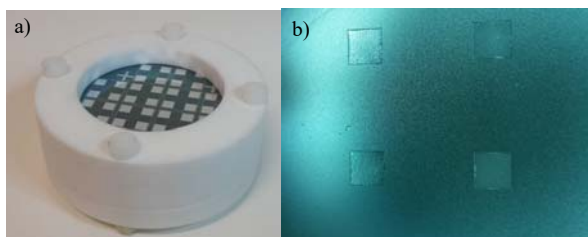


Figura 18. a) imagem do sistema de fixação para proteção de uma das faces da lâmina utilizada em várias etapas de fabricação e b) imagem da corrosão anisotrópica do silício na face inferior da lâmina, para definição da membrana.

A resposta do microsensor foi obtida através arranjo experimental apresentado na Figura 19. O posicionamento de pesos metálicos sobre uma base de acrílico exerce uma pressão diretamente na região da membrana de 25 mm² de área, fazendo como que ocorra a variação nos piezoresistores, consequentemente causando uma variação da tensão na ponte de Wheatstone, que é captada pelo multímetro.



Figura 19. Arranjo experimental para medição da ddp dos microsensors na ponte de Wheatstone.

A Figura 20 apresenta a comparação entre diferenças de potencial experimentais e simuladas, em função da pressão aplicada em relação à pressão atmosférica. Nota-se uma resposta linear, cujas inclinações foram semelhantes nos dois casos, com sensibilidade de 10mV/Pa. Observa-se também uma diferença de 60 mV entre seus valores iniciais ou uma variação no valor de $k=L1/L2$ (equação 8) de apenas 2,5%. Uma possível explicação para esta diferença está no fato dos piezoresistores serem obtidos pelo processo de difusão, ocasionando em dimensões diferentes da definida na máscara fotolitográfica.

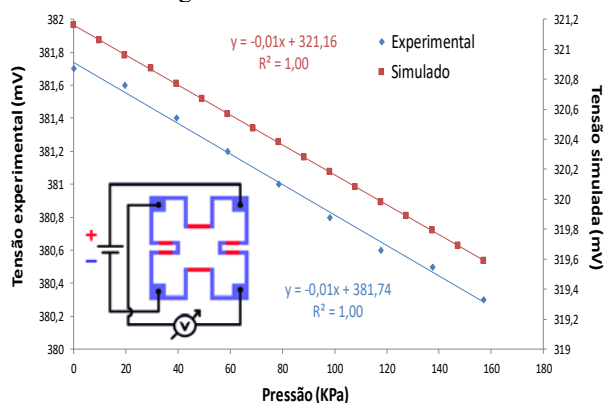


Figura 20. Comparação entre as tensões de saída do microsensor simulado e experimental em função da pressão aplicada em relação à pressão atmosférica.

5. Conclusões

Utilizou-se a tecnologia de Sistemas Microeletromecânicos (MEMS) para fabricar um microsensor de pressão baseado em 4 piezoresistores definidos em uma membrana de silício e conectados eletricamente em um circuito em ponte de Wheatstone.

Foram utilizados dois programas distintos, a saber: - o simulador de processos SimMEMS para a definição das máscaras e etapas de fabricação do microsensor, particularmente a de corrosão anisotrópica do silício e - o simulador multifísico COMSOL® que simula efeitos em um modelo tridimensional utilizando o método dos elementos finitos (MEF) - para verificar a distribuição do estresse mecânico total e posicionamento dos piezoresistores, o deslocamento axial da membrana e a resposta elétrica do microsensor entre a pressão atmosférica e 160 kPa.

Resultados obtidos pelo simulador SimMEMS mostraram uma visualização efetiva de todas as etapas de fabricação do microsensor, particularmente na corrosão anisotrópica do silício para a definição de uma membrana de silício.

Através do simulador COMSOL®, pode-se verificar a deformação da membrana em função da pressão aplicada até 160 kPa, atingindo valores máximos de 1,1 µm em sua região central. Observa-se que a região próxima do início da membrana, na posição mediana de cada lado do quadrado que a define, representa os máximos de estresse mecânico, onde o piezoresistor deve ser localizado, cujo valor máximo atingiu 1,5.10⁷ N/m².

Obteve-se a diferença de potencial em função da variação de pressão aplicada à membrana, sendo observada uma variação linear com sensibilidade de 10 mV/Pa e valores entorno de 320 mV. Observou-se que as resistências dos piezoresistores variam inversamente com a concentração de dopantes adotada, quintuplicando na faixa analisada. Já a resposta do sensor independe desta concentração, devido a medida diferencial dada pelo circuito em ponte de Wheatstone.

A geometria do sensor, particularmente seu comprimento, determina diretamente a diferença de potencial inicial, isto é, sem aplicação de pressão. Finalmente, observou-se que a resposta relativa do sensor tem uma variação inversamente proporcional ao quadrado da espessura da membrana, aumentando em até uma ordem de grandeza para 2 µm em relação à 200 µm.

Agradecimentos

À infraestrutura dos laboratórios LPD (Laboratório de Processos e Dispositivos) e LTV (Laboratório de Tecnologia de Vácuo) do Departamento de Sistemas Eletrônicos (DSE) da FATEC-SP. À pós-graduação do CPS, pelo uso do simulador COMSOL®. Ao CNPq pela bolsa PIBIC.

Referências Bibliográficas

1. Madou, M.; **Fundamentals of Microfabrication and Nanotechnology**, Third Edition, Volume One, Two and Three, CRC Press, 2011.
2. N. Maluf and K. Williams “**An Introduction to MEMS Engineering**”, Artech House, Inc. 2a Ed. 2004.
3. <https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/3254-o-que-sao-mems-.htm>, acessado em 17/1/2019.
4. <https://www.embarcados.com.br/mems/>, acessado em 15/2/2019.
5. Coraucci, G.O., “**Sensor de Pressão Microeletrônico Baseado no Efeito Piezoresistivo Transversal em Silício**” Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas, 2008.
6. Gardner, J. W. **Microsensors: Principles and Applications**. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
7. BENEDICT, R. P., **Fundamentals of Temperature, Pressure, and Flow Measurements**, 3ª ed., J. Wiley, New York, 1984.
8. BEEBY, S. P.; ENSEL, G.; KRAFT, M., **MEMS Mechanical Sensor**, Artech House Publishers, 2004.
9. Kaique, F. S. **Projeto e Construção De Microsensor de Pressão com Tecnologia MEMS para Fins Didáticos**, TCC, FATEC-SP, 2017.
10. https://people.rit.edu/lffeee/Fuller_Bulk_MEMS_Pressure_Sensor.pdf, acessado em 18/3/2018.
11. Seidel, H.; Csepregi, L.; Heuberger, A. & Baumgärtel, H. **Anisotropic etching of crystalline silicon in alkaline solutions**. Journal of Electrochemical Society, vol. 131, no. 1, Jan. 1984, pp. 126-130.
12. <http://nds.lme.usp.br/simmems/>, acessado em 15/02/2018.
13. <https://br.comsol.com/model/piezoresistive-pressure-sensor-shell-12629>, acessado em 01/04/2018.
14. BAO, M.; WANG, Y., **Analysis and Design of a Four-Terminal Silicon Pressure Sensor at the Centre of a Diaphragm**, Sensors and Actuators, vol. 12, pp. 49-56, 1987.

ECOSSISTEMA INDUSTRIAL INTERNO DO ELEMENTO Pb NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BATERIAS

Juliano de Almeida Souza¹; Silvia Pierre Irazusta²

¹ Aluno do curso de Processos Metalúrgicos da FATEC-José Crespo Gonzalez- Sorocaba-SP

² Profa Dra. do curso de Processos Metalúrgicos da FATEC-José Crespo Gonzalez- Sorocaba-SP

Silvia.pierre@hotmail.com

Resumo

O chumbo (Pb) constitui a principal matéria prima para a manufatura de baterias automotivas. A grade da bateria contém mais de noventa por cento de Pb metálico e pode ser prontamente fundida. Mais de setenta por cento da produção mundial de Pb é empregada na indústria de baterias de Pb-ácida. Estima-se que 99,3% do Pb comercializado no Brasil tem como finalidade a produção de acumuladores elétricos (baterias). No entanto, no Brasil não existem muitas jazidas de Pb suficientes para a demanda necessária, assim aumentando, as importações desse metal. O objetivo deste trabalho foi descrever o *Ecosistema industrial interno* relativo ao elemento Pb no processo de produção de baterias de motocicletas numa Empresa da Região de Sorocaba. Primeiramente foi feita uma pesquisa de campo numa indústria metalúrgica que é líder global em vendas de baterias automotivas, cuja principal matéria prima é o elemento Pb. A produção de 200.000 unidades resultou em 30.000 kg de rejeitos totais, que são destinados à empresas recicladoras. Os dados mostraram que 70 % do Pb de entrada retornam como matéria prima para a fabricação, o que significa que 30% do Pb contido no rejeito ainda será destinado a aterros, ou seja, estará disponível no ambiente. Os dados apontados aqui evidenciam que a presença de metais pesados, como chumbo, no ambiente não é desprezível e poder público na tomada de decisões, com relação à processos de produção mais amigáveis do ponto de vista ambiental.

Palavras chave: Bateria automotiva. Pb. Ciclo de vida.

1. Introdução

A contaminação por metais vem crescendo nos últimos anos, criando problemas à saúde humana, tais como: distúrbios psiquiátricos, cognitivos, cardíacos, renais e hematológicos [1,2].

Metais como, mercúrio, chumbo, cádmio e níquel são considerados não essenciais, ou tóxicos e não possuem funções biológicas conhecidas. A manifestação dos efeitos tóxicos está relacionada à dose, podendo afetar vários órgãos, alterando processos bioquímicos e membranas celulares. Estes metais tóxicos são uma importante causa de intoxicação humana e ambiental devido à exposição ao ar, solo e água contaminada, resultando em preocupantes agravos de saúde, incluindo danos hematológicos, renais, neurológicos e no sistema reprodutor [3,4,5,6]. Todavia, tanto os metais essenciais

como os não essenciais podem causar impactos à saúde humana e ambiental.

O chumbo (Pb) é um metal pesado e facilmente maleável, resistente à corrosão e com baixo ponto de fusão, ainda amplamente utilizado em muitas indústrias, tais como: automobilísticas, tintas e estabilizantes para plásticos, produção de cerâmicas, soldagem e petrolífera, o que o torna um dos poluentes ocupacionais e ambientais mais preocupantes [7,8,9]. Em adultos, é bem conhecido por causar toxicidade na medula óssea, fígado, rins e no SNC[9].

As principais vias de entrada do Pb são respiratórias e gastrointestinais, rotas fundamentais para intoxicação ocupacional[10].

A toxicidade deste metal pode acarretar sintomas inespecíficos, como: náuseas, vômitos, dor, abdominal, fadiga, irritabilidade, insônia, dor de cabeça e redução da libido, comprometendo diversos sistemas e órgãos. Em adultos, podem ocorrer de forma ocupacional ou acidental, ocasionando principalmente neuropatia periférica, nefropatia crônica e hipertensão[11].

A toxicidade aguda está relacionada à exposição ocupacional e/ou acidental e é bastante incomum. Já a toxicidade crônica, por outro lado, é mais comum e ocorre com níveis de chumbo sanguíneo (Pb-S) cerca de 40-60 µg/dL. Sendo que, o valor de 60 µg/dL é considerado o Índice Biológico Máximo Permitido (IBMP) de acordo com a Norma Regulamentadora de nº 7 (NR7)[12]. A intoxicação crônica pode ser muito mais grave se não tratada a tempo, e é caracterizada por vômitos persistentes, encefalopatia, letargia, delírio, convulsões e coma [13,14].

Sua presença no ambiente pode resultar em uma série de problemas aos ecossistemas, incluindo-se a redução no crescimento e até a extinção da vegetação, a contaminação das águas superficiais e dos aquíferos, além da toxicidade direta para os seres humanos, os animais e os microrganismos [15,16]. Atualmente, esse elemento é classificado como o segundo mais perigoso na lista de prioridade da Agência de Proteção Ambiental americana, atrás somente do Arsênio (As) (ATSDR, 2016)[17].

A toxicidade exercida pelo Pb no ar, nas águas e nos solos pode ser visível em plantas cultivadas, em seres humanos que se alimentam dos produtos originados delas, em peixes ou em pessoas que ingerem a água contaminada ou, simplesmente, respiram o ar com a sua presença[16].

Devido aos riscos apresentados e ao apelo de diversos cientistas, o Ministério do Meio Ambiente estabeleceu alguns limites para os níveis de contaminantes, tanto no solo quanto na água, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução 357/2005 [18].

Assim, mesmo existindo legislação que estipule limites - questionáveis -, o setor produtivo continua a contaminar o meio ambiente estando legalmente amparado, situação que constitui, portanto, um tema relevante.

Baterias de Pb-ácido são grupos de acumuladores elétricos recarregáveis, integrados favoravelmente, construídos e aproveitados para receber, conter e liberar energia elétrica através de reações químicas abrangendo Pb e ácido sulfúrico [19].

Grande parcela do Pb consumido no planeta tem como destino à produção de acumuladores elétricos para diversas finalidades. As baterias Pb-ácido são globalmente empregadas como fonte de energia em conduções automotores, em sistema de abastecimento de energia elétrica e em mercadorias de consumo em geral. Essas baterias ao fim de sua vida útil deveriam ser recolhidas e encaminhadas para unidades de recuperação e reciclagem. Esta operação, nem sempre rotineiramente empregada, asseguraria que seus itens perigosos como o metal Pb e o ácido sulfúrico não chegassem aos aterros e/ou incineradores de resíduo tóxico, ou pior, nas matrizes ambientais. Este material produzido como resíduo de produção, poderia tornar-se co-produto utilizável como matéria prima de novos bens de consumo. Todos os componentes de uma bateria Pb-ácido possuem potencial para reciclagem. Baterias descartadas de forma irregular significam um impacto negativo tanto de recursos econômicos, como ambientais e energéticos [19]. Baterias contêm Pb na massa positiva, massa negativa, nas grelhas e conexões e até na solução eletrolítica de ácido sulfúrico. Deste modo, cuidados precisam ser adotados para que não haja vazamentos de Pb e ácido sulfúrico que possam causar problemas de saúde aos usuários, bem como contaminação de solo, ar ou água, em todas as etapas do processo de produção, como também, no transporte, manutenção, armazenamento transitório e na disposição final das baterias [20].

Devido à relevância deste metal tanto pelo seu emprego industrial, como pelo seu impacto ambiental e ocupacional, o objetivo deste trabalho foi descrever o *Ecossistema industrial interno* relativo ao elemento Pb no processo de produção de baterias, determinando as entradas e saídas do processo produtivo de baterias, avaliando os aspectos e impactos dos materiais, produtos e resíduos.

2. Material e Método

O estudo foi realizado em uma indústria metalúrgica fabricante de baterias, cuja principal matéria prima é o elemento Pb.

Foi realizada uma pesquisa *in locu* acompanhando um ciclo de produção de baterias de motocicletas.

Partiu-se de uma massa de 505 toneladas de Pb para a produção de um lote de 220.000 baterias de motocicletas num mês. O processo de produção foi acompanhado em todas as etapas quantificando-se as entradas, as saídas e rejeitos. Em cada etapa do processo se mediu a massa de Pb de entrada, a massa incorporada no processo e a massa de saída na forma de co-produto ou de resíduo.

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma do processo de produção da massa de Pb na produção de baterias e o fluxo dos resíduos.

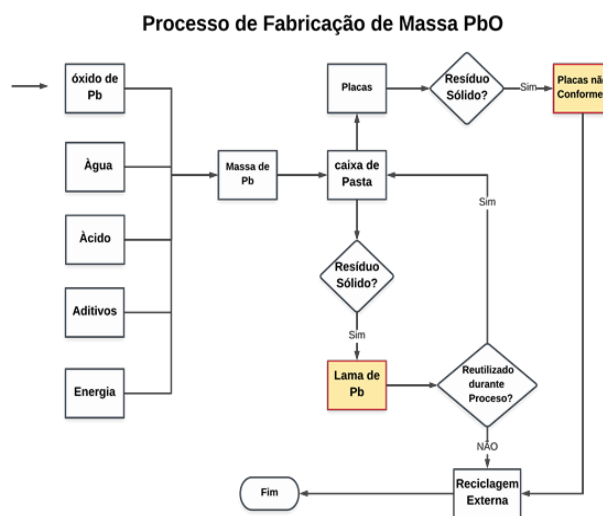


Figura 1. Fluxograma de processo de produção de Massa e Utilização.

Fonte: autor

As massas foram tomadas também na recicladora.

3. Resultados e Discussão

Estima-se que 99,3% do Pb comercializado no Brasil tem como finalidade a produção de acumuladores elétricos (baterias). No entanto, no Brasil não existem muitas jazidas de Pb suficientes para a demanda necessária, assim aumentando, as exportações ou importação desse metal. Esse fato, segundo a Battery Council International²⁰ leva o Brasil a reciclar e a recuperar cerca de 98% das baterias fabricadas, tornando o país um dos maiores recicladores desse produto. Atualmente as baterias Chumbo-Ácido possuem cerca de 60-80% de Pb reciclado. Outra vantagem da reciclagem é que a extração do metal contido na sucata requer menos energia do que o processamento a partir do minério [21].

A partir da quantificação das massas a cada etapa até o produto acabado, encontrou-se que: das 505 toneladas iniciais, 30 ton de Pb (14,06%) foram classificados como rejeitos de lama, placas, borra e baterias, como está demonstrado o gráfico da Figura 2 Este Gráfico mostra todos os resíduos de Pb gerados durante as etapas de produção de baterias.

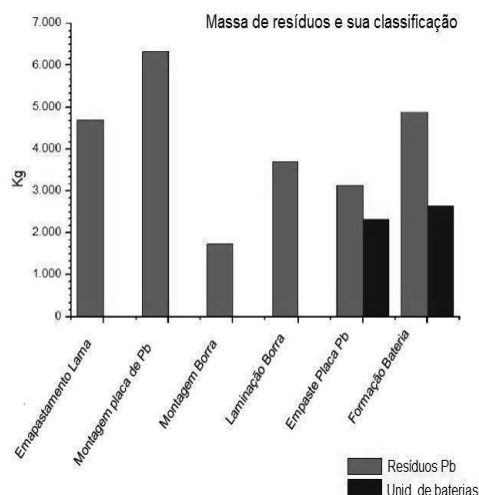


Figura 2. Incorporação do Pb na produção e a origem e destinação dos resíduos ou co-produtos .

Fonte: autor

Neste estudo, os dados mostraram que, da massa total de Pb na entrada do processo, calculado para uma produção de 221.000 baterias, que foi de 505 Ton. do metal, 474 Ton. foram incorporadas no produto final e 31 Ton. constituíram o resíduo, ou seja 6,13 % da massa inicial é destinado a reciclagem na forma de borra de Pb, lama de Pb, placas e unidades de baterias não conformes. Deste total, 21,819 Ton (70,38%) retornam ao processo de produção na forma de Pb secundário. O resíduo do resíduo reciclado correspondeu a 9,190 Ton (29,62%) do torta , volume que será finalmente destinado ao aterro certificado como resíduo classe I (Tabela 1).

Tabela1. Valores em massa dos resíduos e sua origem.

Quantidade de Pb utilizado para produção de baterias.	Resíduos Pb gerados na produção de baterias.	Quantidade kg de resíduo Pb gerado na produção de baterias.	Quantidade /kg de Pb Secundário	Quantidade de resíduos destinados a aterro de classe I
505 toneladas de Pb	Borra	5.416 Kg	4.062 Kg	1.354Kg
	Lama	4.684 Kg	3.513 Kg	1.171 Kg
	Placas	9.452 Kg	5.671 Kg	4.089 Kg
	Baterias	10.436 Kg	6.261 kg	2.340 Kg
Total de Pb.		30.000 Kg	21.819Kg	8.181 Kg

4. Conclusões

Foi apresentado aqui o ciclo de vida do elemento chumbo, principal matéria-prima das baterias para

motocicletas, considerando-se um único processo de produção.

Apontou-se de forma quantitativa as relações entre as entradas e saídas em todas as etapas do processo, considerando-se uma linha de produção correspondente à demanda de um mês.

Todos os números apontados referem-se à produção de 220.000 unidades, cuja produção resultou em 30.000 Kg de rejeitos totais, que são destinados à empresas recicladoras.

A literatura não apresenta muitas publicações com dados sobre o método e/ou o rendimento obtido no processo de reciclagem do Pb. Mesmo assim parece haver uma concordância [22,23] quanto ao seu rendimento, ou seja, 65 a 75 % do rejeito total da fabricação de baterias retornam à produção na forma de Pb secundário. O reaproveitamento do Pb secundário, reduz a utilização da matéria prima in natura.

No presente caso, estabeleceu-se como 70 % este rendimento, o que significa que aproximadamente 30% do Pb contido no rejeito ainda será destinado a aterros, ou seja, estará disponível no ambiente.

Estes resíduos contendo alto teor de Pb são encaminhados para os aterros, onde são depositados em valas fechadas revestidas com lona impermeável e paredes de cimento, de acordo com o que preconiza a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que se refere à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Os dados apontados aqui evidenciam notadamente que a presença de metais pesados, como chumbo, no ambiente não é desprezível e carece de maior atenção, tanto da fiscalização, quanto do poder público na tomada de decisões, com relação à processos de produção mais amigáveis do ponto de vista ambiental.

Referências

- [1]. Moreira, F.R.; Moreira JC. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. Ver Panam Salud Publ 15(2):119-129, 2004.
- [2]. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Chumbo. Brasília: Contaminantes químicos; 2014. [acessado 2016 out 01]. Disponível em: www.portalsaude.saude.gov.br.
- [3]. Valko, M.; Morris, H. Cronin MTD. Metals, toxicity and oxidative stress. Curr Med Chem 12(10):1161-1208, 2005.
- [4]. Tchounwou, P.B.; Yedjou, C.G.; Patlolla, A.K.; Sutton, D.J. Heavy metal toxicity and the environment. EXS 101:133-164, 2011.
- [5]. Park, J.D.; Zheng, W. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. J Prev Med Public Health 45(6):344-352, 2012.
- [6]. Mason, L.H.; Harp, J.P.; Han, D.Y. Pb neurotoxicity: neuropsychological effects of lead toxicity. BioMed Res Int. 2014:1-9, 2014.
- [7]. Wang, H.; Deyuan, L.; Zhongze, H.; Siming, Z.; Zhejun, Z.; Wei, L. Protective effects of green tea polyphenol against renal injury through ROS mediated JNK-MAPK pathway in lead exposed rates. Cells 39(6):508-513, 2016.

- [8]. Yue, W.; Jun-Ming G, Yun H.; Yan-Ying D, Rui-Xue H, Jian-An H. Dose response relationship between cumulative occupational lead exposure and the associated health damages: A 20-Year cohort study of a smelter in China International. *Int J Environ Res Public Health* 13(3):328, 2016.
- [9]. Wang, J.; Yang, Z.; Lin L.; Zhao, Z.; LIU, Z.; Liu, X. Protective effect of naringenin against lead-induced oxidative stress in rats. *Biol Trace Elem Res* 146(3):354- 359, 2012.
- [10]. Neves, E.B.; Junior, N.M.; Moreira, M.F.R. Avaliação da exposição a metais numa oficina de recuperação de armamento de uma organização militar. *Ciênc Saúde Colet.* 14(6):2269-2280, 2009.
- [11]. . Liu, J.; Goyer, R.A.; Waalkes, M.P. Efeitos tóxicos dos metais. In: KLAASSEN, C.D.; WATKINS, III JB. *Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull*. Porto Alegre: Artmed. 325-335, 2012.
- [12]. Brasil. Ministério do Trabalho . NR 7 – Norma Regulamentadora 7, Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional, Portaria 3.214: 1994.
- [13]. Flora, S.J.S.; Flora, G.; Saxena G. Environmental occurrence, health effects and management of lead poisoning. In: José SC, José S. *Lead*. Amsterdam: Elsevier Science BV 158-228, 2016.
- [14]. Pearce JMS. Burton's line in lead poisoning. *Europ. Neurol* 57(2):118-119, 2007.
- [15]. Alves, J.C.S., Pôrto, M.L., Arruda, J. A., Silva, U.B., Araujo, G.B., Santos Raunira da Costa; Santos, Djail. A. Absorção e distribuição de chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.1329-1336, 2008.
- [16]. Souza, L.A., Andrade, S. A.L., Souza, S.C.R., Schiavinato, M. A. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(4): 1441- 1451, 2011.
- [17]. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Addendum to the Toxicological Profile for Arsenic, 2016.
- [18]. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 357, Brasília, DF, 2005, 23p.
- [19]. Caetano, N. S. A.; Custodio, F. H. M.; Gimenes, R. D.; Franco, G. N.; Lopes, C. Reciclagem de Baterias de Pb ácido-Sua importância em nosso cotidiano. In: III Encontro Científico e Simpósio de Educação Unisalesiano. Anais... Unisaleno- SP, 17 a 21 de outubro de 2011.
- [20]. Battery Council International (BCI), 2016
- [21]. Smaniotto, L. Estudo de lixiviação e extração de Pb de escória de recicladoras de baterias. In: XII SBQ-Sul, Florianópolis, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº401. Diário Oficial da União, Brasília, n. 215, seção 1, p. 731-736, 4 de novembro de 2008.
- [22]. Pantaroto, H.L. Uma análise da utilização do chumbo na produção de baterias e suas implicações ambientais. 2016, 168p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.
- [23]. Kreusch, M.A. Avaliação com propostas de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escória gerada. 2005, 165p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos (PIPE).

INFLUÊNCIA DA NITRETAÇÃO A PLASMA NA RESISTÊNCIA AO MICRODESGASTE ABRASIVO E NA CORROSÃO CICLICA DO AISI 304

Luan Augusto da Silva Soares¹, Larissa Solano de Almeida², Rafael Roberto Pavani³, Luciana Sgarbi Rossino⁴, Marcos Dorigão Manfrinato⁵

^{1,2} Aluno do curso Processos Metalúrgicos da FATEC Sorocaba

³ Aluno do curso Polímeros da FATEC Sorocaba

⁴ Prof. Dra do curso Processos Metalúrgicos da FATEC Sorocaba

⁵ Prof. Msc. do curso Processos Metalúrgicos da FATEC Sorocaba

luan@gmail.com; marcos.manfrinato@fatec.sp.gov.br

Resumo

O aço inoxidável austenítico exibe boa resistência à corrosão, assim como boas propriedades mecânicas, porém possui baixa resistência ao desgaste. Para aumentar as propriedades tribológicas são empregados tratamentos termoquímicos; como nitretação a plasma, que produz um aumentando da dureza superficial do material. O presente estudo avaliou o desempenho tribológico do aço inoxidável AISI 304, com o objetivo de verificar a influência da nitretação a plasma na resistência ao microdesgaste e na resistência à corrosão por polarização cíclica. O aço inoxidável AISI 304 foi submetido ao tratamento termoquímico de nitretação a plasma. O tratamento de nitretação a plasma foi realizado em baixa pressão, 16 Torr, em uma mistura gasosa de 80% H_{2(g)} e 20% N_{2(g)}, com tensão média de 506 Volts a uma temperatura de 400°C. A caracterização da camada efetiva foi realizada partindo da análise metalográfica, dureza superficial, ensaio de microdesgaste e corrosão por polarização cíclica. A nitretação a plasma aumentou a dureza superficial e dessa forma, aumentou a resistência ao microdesgaste abrasivo. O aumento de dureza ocorreu devido à formação na camada de compostos austenita expandida “S” e nitreto de cromo (CrN). Porém a formação de nitreto de cromo diminui a resistência à corrosão por polarização cíclica.

1. Introdução

Os aços inoxidáveis austeníticos são materiais atrativos para serem utilizados em vários setores industriais que operam em meios corrosivos, como por exemplo nas indústrias química, alcooleira, petroquímica, na prospecção de petróleo e nas indústrias têxtil e farmacêutica [1]. São ligas compostas a base de ferro, cromo (16-30%) e níquel (8-35%), apresentando uma estrutura austenítica. Geralmente, o seu teor de carbono é inferior a 0,08%.

Esses aços inoxidáveis, no entanto, apresentam uma baixa resistência ao desgaste. Para aumentar a resistência ao desgaste alguns tratamentos de superfícies vêm sendo desenvolvidos para aumentar a dureza superficial, com isso, aumentando a resistência ao desgaste, a corrosão [2] e a resistência à fadiga [1] desses aços inoxidáveis. Dentre os vários métodos de

tratamentos superficiais para aumentar a dureza, o mais eficiente é a nitretação a plasma [3].

Existem variáveis que influenciam na espessura da camada nitretada, tipos de nitretos formados e custo operacional. Estas variáveis são [1]:

- Mistura gasosa de argônio, hidrogênio e nitrogênio;
- Pressão (vácuo) na câmara;
- Tempo;
- Temperatura.

A camada nitretada é constituída em camada de compostos e camada (ou zona) de difusão, como ilustrado na Figura 1(a). Na camada composta ocorre a formação de fases estáveis, no caso de aços inoxidáveis pode-se formar as fases da austenita expandida e/ou nitreto de cromo e a formação delas dependem em especial da temperatura de nitretação. Os aços inoxidáveis austeníticos quando nitretados a temperaturas inferiores à 425°C produzem na camada composta a austenita expandida, fase “S”. Esta fase da austenita expandida é a estrutura do Fe-γ (CFC) com os átomos de nitrogênio ocupando os interstícios. A fase “S” produz uma camada branca, dura e resistente à corrosão e ao desgaste [1, 2, 5], como pode ser ilustrado pela Figura 1(b). Ao nitretar os aços inoxidáveis austeníticos acima de 425°C, o cromo apresenta um coeficiente de difusão relativamente elevado, facilitando sua difusão e ligação com o nitrogênio, levando à formação do nitreto de cromo (Cr_xN_y – fase escura), como ilustra a Figura 1(c), esta fase apresenta alta dureza, boa resistência ao desgaste porém baixa resistência à corrosão, sendo inferior ao aço inoxidável austenítico sem tratamento de nitretação [6].

Nos últimos anos o ensaio de microabrasão vem sendo objeto de pesquisas, pois os resultados que são obtidos em laboratório podem ser transferidos para situações que se aproximam mais do trabalho que o material será submetido, e também o ensaio de desgaste de microabrasão é adequado para a avaliação da resistência ao desgaste de recobrimentos finos ou outros tipos de camadas produzidas pela engenharia de superfície [7].

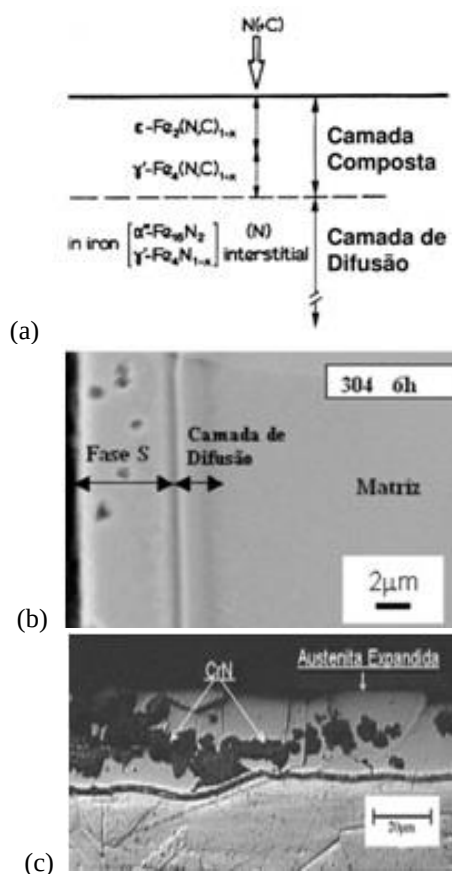


Figura 1 - Camada nitretada para o aço inoxidável austenítico AISI 304. (a) composição da camada nitretada [1]; (b) Fase “S” austenita expandida formada na camada de composto para nitretação a plasma realizada à 400°C [1]; (c) Nitreto de cromo e fase “S” formada na camada composta nitretada a 500°C [5].

O microdesgaste abrasivo baseia-se no contato entre uma esfera e uma amostra plana, não sendo necessária a presença de um abrasivo. Uma região em formato de calota é o resultado do contato da esfera que está girando em relação amostra, esta região desgastada mantém uma relação geométrica com a esfera. Portanto o diâmetro da calota pode ser relacionado com a quantidade de material removido da amostra [8, 9]. A liga metálica que constitui a esfera é de aço SAE 52100, é a mesma que se produz rolamentos, de alta resistência ao desgaste e elevada dureza [10], a esfera gira em relação a uma rotação designada e sob uma carga variável, a duração do ensaio é controlada, com o objetivo de medir a quantidade de material retirado na calota formada.

A resistência ao desgaste de material tratado superficialmente é maior do que a do não tratados [11], porém o tempo de tratamento deve ser controlado; longos períodos de tratamento, resulta na queda de resistência ao desgaste devido ao material sofrer grande elevação da dureza [12].

2. Materiais e Métodos

Para melhor entendimento dividiremos esse item em duas partes.

2.1 Câmara de Vácuo e Fonte de Tensão

A nitretação a plasma foi realizada no LabTES (Laboratório de Tecnologia e Engenharia de Superfície) da FATEC de Sorocaba em um reator de nitretação a plasma com sistema automático de controle de pulso de corrente elétrica e controle de vazão e mistura gasosa. O sistema é constituído por uma câmara, sistema de vácuo, unidade de distribuição de gás, fonte de alimentação e válvulas para controle eletrônico de pressão, conforme mostra esquema da Figura 2(a). O reator utilizado durante o processo de nitretação iônica a plasma está apresentado na Figura 2(b).

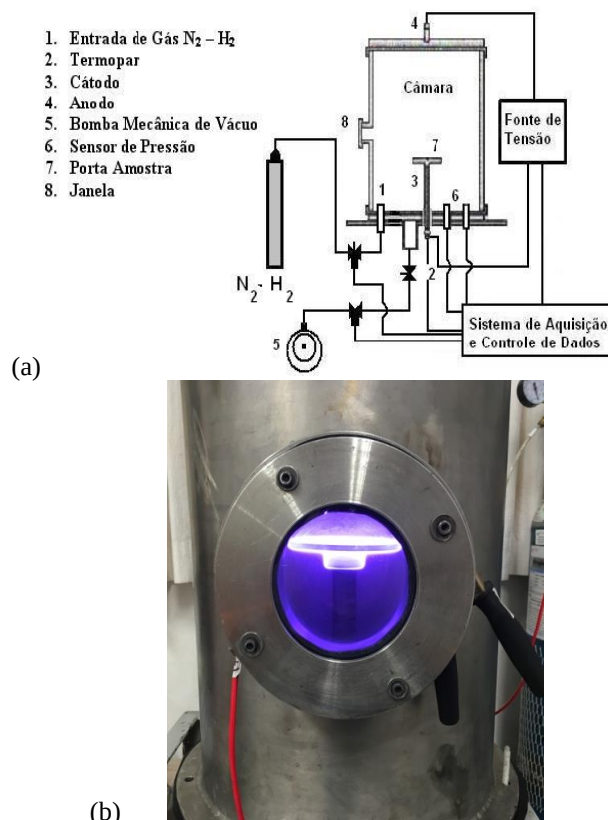


Figura 2 – Nitretação a plasma. (a) Esquema do sistema de nitretação à plasma [1]; (b) Equipamento usado para realizar a nitretação.

Utilizou-se neste trabalho o aço inoxidável austenítico AISI 304 nas dimensões retangular 25mm x 40mm e espessura 10mm. Para a realização do tratamento de nitretação foi realizado como um pré-tratamento o “Sputtering”, uma limpeza a plasma com 80%vol.Ar e 20%vol.H₂. A limpeza da superfície da amostra é possível devido ao bombardeamento de átomos de argônio. Os óxidos e impureza são retirados fisicamente pelo impacto dos átomos, e os átomos de hidrogênio também presentes na câmara se ligam quimicamente com os átomos de oxigênio retirados e são bombeados [13]. O “Sputtering” também promove o aquecimento das amostras pelo bombardeamento e pela tensão aplicada durante o pré-tratamento, com a duração de 1 hora de “Sputtering”. A nitretação a plasma foi realizada a uma temperatura de 400°C com uma mistura gasosa de 80%vol.H₂ e 20%vol.N₂ vazão de

120cm³/min, durante 6 horas. A fonte utilizada é DC pulsada de 20kHz.

2.2 Metodologia Experimental

A microestrutura do material de base e da camada nitretada foram preparadas conforme a norma ASTM E3-2015. Para revelar a microestrutura realizou-se o ataque químico com água régia (50% HCl e 50% HNO₃) para observação e análise no microscópio óptica. A análise microestrutural foi realizada com auxílio de um microscópio óptico da marca Leica modelo DMi8M com câmera Leica DFC365 Fx acoplada com resolução de 1,4MP e software de captura LAS com pacote Quantimet (Leica), pertencente ao Laboratório de Microscopia da Fatec Sorocaba.

Os ensaios de microdureza superficial Vickers foram realizados com uma carga de 0,1kgf aplicados por 10s. Foram realizadas 10 medidas distribuídas pela superfície.

Os ensaios de microdesgaste abrasivo foram realizados para o metal de base (sem tratamento) e nitretado. Os parâmetros utilizados foram: tempos de 180, 300, 480 e 600s; esfera de diâmetro 25,4mm; carga de 20N e rotação da esfera em 200RPM. Para cada tempo de ensaio foram realizados triplica para aferir confiabilidade nos resultados do volume removido durante o ensaio de desgaste. O contato entre a esfera e a superfície da amostra produz uma região desgastada com formato de uma calota esférica. Conhecendo-se o diâmetro da calota, pode-se determinar a quantidade de material removido durante o ensaio [8]. A Figura 3 ilustra a formação da calota no ensaio de microdesgaste. Para medir o diâmetro da calota impressa, foi usado um Estereoscópio Wireless Microscope – modelo Magnification 500x, com câmera de 8 megapixels e software para capturar as imagens capaz de medir calotas que apresentem diâmetro maior que 0,05mm.

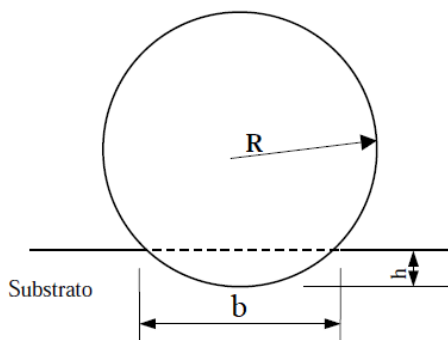


Figura 3 - Diagrama esquemático que ilustra a geometria da calota formada pelo ensaio de microdesgaste [14].

Para uma calota de desgaste com geometria esférica, produzida por uma esfera de raio “R” em uma amostra plana, o volume desgastado pode ser calculado de acordo com a equação:

$$V = \frac{\pi \cdot b^4}{64 \cdot R} \quad \text{para } b \ll R$$

Em que:

R = raio da esfera (mm);

b = diâmetro médio da calota (mm);

V = volume de desgaste (mm³).

Pode-se também determinar o coeficiente de desgaste (k) de cada ensaio de microdesgaste abrasivo. O coeficiente de desgaste depende do volume removido (cm³), da distância percorrida (S) em metros e da carga aplicada (N) em Newton, de acordo com a equação [8]:

$$K = \frac{1}{S \cdot N} \cdot \frac{\pi \cdot b^4}{64 \cdot R} \quad \text{para } b \ll R$$

Foram realizadas análises utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da HITACHI modelo TM3000, com módulo EDS para análise química pontual das inclusões capaz de determinar tamanho dos pites de corrosão, pertencente ao Laboratório de Biomassa da UFSCar Campus Sorocaba.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados para obter o potencial de corrosão e potencial de pite. Utilizou-se um potenciostato da Gamry Instruments modelo Reference 600 com um software de aquisição de dados pertencente ao laboratório de eletroquímica e corrosão do departamento de engenharia química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Utilizou-se uma célula eletroquímica clássica de três eletrodos com área exposta de 28,27cm² (diâmetro 6mm). Utilizou-se um eletrodo de referência de Ag/AgCl(KCl sat), um contra eletrodo de platina, para promover a corrente elétrica entre o eletrodo de trabalho e o contra eletrodo. As medidas de polarização potenciodinâmicas foram programadas para iniciar a aquisição após 30 minutos de potencial de circuito aberto. As curvas de polarização cíclicas foram obtidas a partir do potencial de circuito aberto e limitando a corrente de retorno em 2mA/cm², retornando ao potencial de circuito aberto. O eletrólito utilizado foi a solução de 0,1 mol/L de NaCl acidificado com HCl até pH = 4, à temperatura ambiente de 25°C. Realizou-se três ensaios para o metal de base e três ensaios para o aço inoxidável nitretado a 400°C, para creditar confiabilidade aos resultados.

3. Resultados e Discussões

A Figura 4 apresenta a metalografia realizada na secção transversal do aço inox austenítico AISI 304 nitretado. A camada nitretada é constituída pela cor escura e branca. A cor escura da camada nitretada é de nitreto de cromo (CrN) [5]. A camada nitretada é composta por duas fases diferentes, sendo a parte escura constituída de nitreto de cromo (CrN), com uma fina linha branca de austenita expandida (fase ‘S’) entre a camada de nitreto de cromo e o metal de base.

A média da microdureza superficial do aço inoxidável austenítico nitretado a 400°C foi de 1135 ± 15 HV. O metal de base sem tratamento apresentou uma microdureza superficial de 290 ± 11 HV. Este

aumento de dureza na camada confirma a metalografia da Figura 3, ou seja, a camada formada durante a nitretação a plasma produziu um aumento da dureza superficial do aço inoxidável austenítico AISI 304.

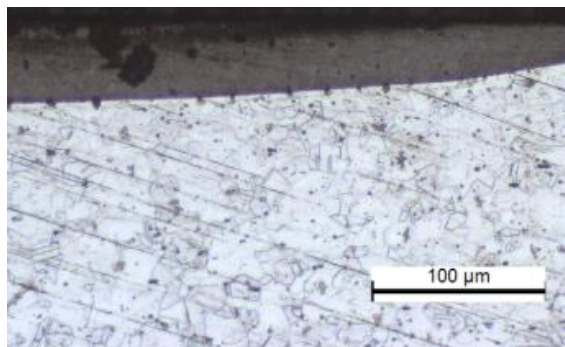


Figura 4 - Metalografia da secção transversal do aço inoxidável austenítico nitretado a 400°C. Ataque químico com água régia.

As calotas produzidas por microdesgaste abrasivo com carga de 20N estão apresentadas na Figura 5. A calota produzida no aço inoxidável austenítico AISI 304 sem tratamento foi maior. Apesar, de os ensaios terem sido realizados no mesmo corpo de prova e com o mesmo tempo de ensaio (180s), a amostra apresentada nas Figuras 5(a) e 5(b) apresentam dois tipos de desgaste diferentes. A Figura 5(a) apresentou desgaste por rolamento, e o tipo de desgaste apresentado na Figura 5(b) é por riscamento, sendo este comportamento característico em ensaios de baixa intensidade [14]. O desgaste por riscamento no aço AISI 304 sem tratamento pode estar relacionado ao fato que durante o ensaio algumas partículas se desprendem e acabam impedindo o contato da esfera com a amostra, provocando o fenômeno conhecido como arrancamento.

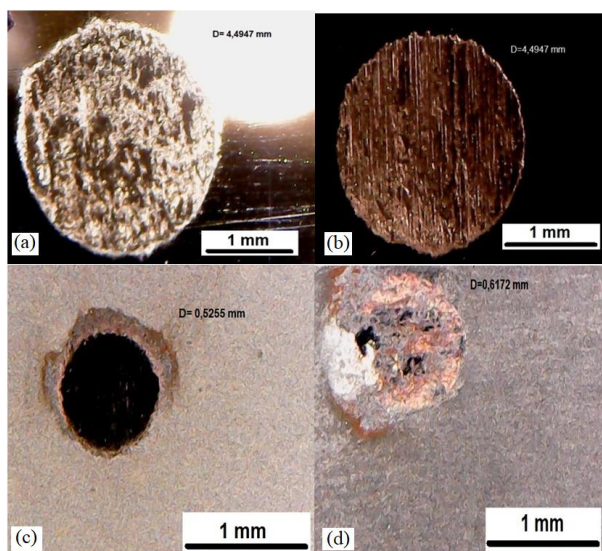


Figura 5 - Aspecto das calotas obtidas no ensaio de microdesgaste. (a) AISI 304 sem tratamento e ensaio de 180 segundos. (b) AISI 304 sem tratamento e ensaio de 180 segundos. (c) AISI 304 nitretado a 400°C e ensaio de 300 segundos. (d) AISI 304 nitretado 400°C e ensaio de 180 segundos.

A calota produzida no aço inoxidável AISI 304 nitretado a 400°C, é ilustrada na Figura 5(c), para um tempo de 300 segundos e a Figura 5(d) refere-se ao ensaio de 180 segundos. Não se pode determinar o tipo de desgaste, pois o material possui alto nível de dureza, ocorrendo a quebra da camada nitretada durante o ensaio, conforme observado na Figura 5(d).

A Figura 6 ilustra o coeficiente de desgaste abrasivo para o aço inoxidável austenítico AISI 304 sem tratamento e nitretado a 400°C. As amostras nitretadas a plasma apresentaram um baixo coeficiente de desgaste no regime permanente em relação ao metal de base, devido ao aumento da dureza da camada nitretada.

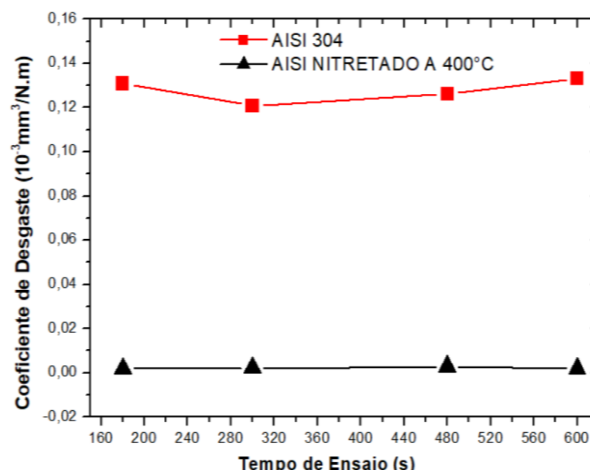


Figura 6 – Evolução temporal do coeficiente de desgaste abrasivo.

O ensaio de microdesgaste abrasivo deixa na superfície uma calota esférica. Podemos então medir seu diâmetro e calcular qual o volume removido durante o ensaio. Dessa forma, a Figura 7 apresenta os gráficos de volume de desgaste para os diferentes tempos de ensaio, para a material base (sem tratamento), e para a amostra nitretada a 400°C. Quando comparamos o material de base com as amostras submetidas ao tratamento de nitretação, verificamos que o volume removido é bem superior. Este maior desgaste do metal de base já era esperado, pois, o aço inoxidável austenítico AISI 304 possui baixa dureza e um baixo desempenho tribológico. Estas características impedem a sua aplicação em situações que exijam resistência ao desgaste [16].

A força aplicada à amostra é proporcional a intensidade do ensaio, ou seja, quanto maior a carga e maior a rotação, maior será o volume desgastado, não foi o que ocorreu com o resultado obtido neste ensaio, pois o diâmetro médio e, consequentemente o volume da calota diminuíram com o aumento da intensidade do ensaio, isso se deve ao aumento da vibração causada pelo dispositivo, que faz com que a esfera não toque sempre na mesma região da amostra [17], impedindo a retirada de material de maneira ordenada.

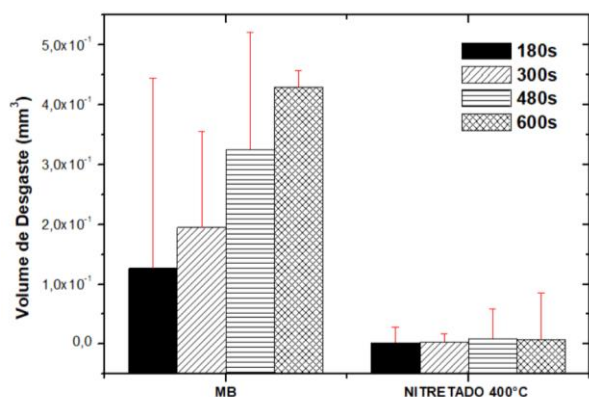


Figura 7 - Gráfico do volume removido em função do tempo de ensaio de microdesgaste abrasivo

Os ensaios de polarização cíclica revelaram que o potencial para abertura do pite e de corrosão foi maior para o aço inoxidável AISI 304 não nitretado do que o nitretado a 400°C, conforme indicado na curva de polarização da Figura 8. O aço inoxidável AISI 304 nitretado apresentou um Epit médio de -0,29V e Ecorrosão médio de -0,67V. Já o aço inoxidável AISI 304 sem tratamento com Epit médio de 0,45V e Ecorrosão médio de -1,28V.

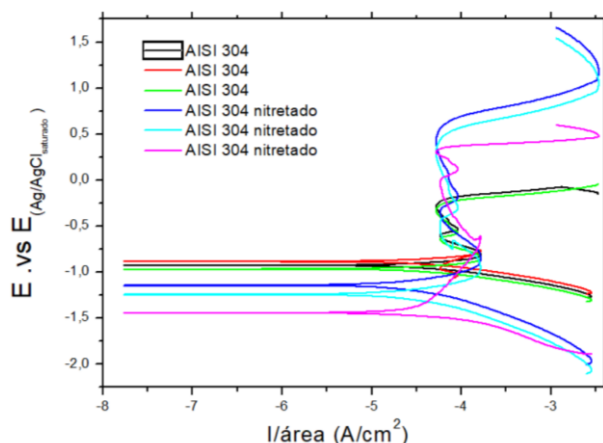


Figura 8 - Curvas de polarização cíclica.

As ocorrências da formação de nitreto de cromo durante a nitretação pode ter resultado na redução do potencial para abertura do pite, favorecendo reações que ocorrem em potenciais numericamente menores, sujeitando o material nitretado a um maior risco de corrosão que o material sem nitretação.

Nota-se uma acentuada redução nos potenciais de pite e corrosão, além da diminuição da diferença entre os valores do potencial de corrosão e do potencial de abertura de pite. Isso favorece no material nitretado uma evolução mais rápida das reações de oxirredução, alcançando a condição de nucleação de pites em tempos anteriores que aqueles observados no material sem nitretação.

A Figura 9 apresenta micrografia da morfologia superficial do pite após o ensaio de polarização cíclica no aço inoxidável AISI 304 sem nitretação,

evidenciando a formação de um pite radial com formação de camadas internas.

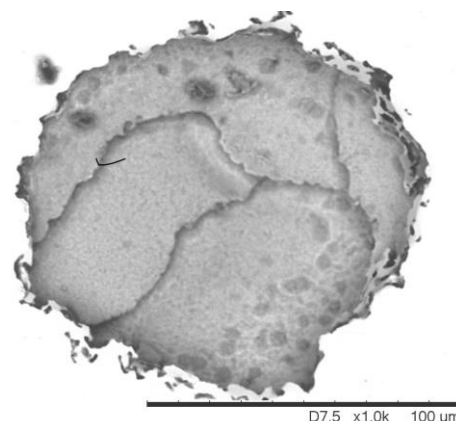


Figura 9 - Pite formado no aço inoxidável AISI 304 sem tratamento.

A região escolhida para a realização do ensaio de polarização cíclica para o aço inoxidável austenítico AISI 304 nitretado apresentou a nucleação dos pites de maneira mais intensa e erosiva. A Figura 10 apresenta a uma quantidade grande de pites na região de aplicação do ensaio de polarização cíclica.

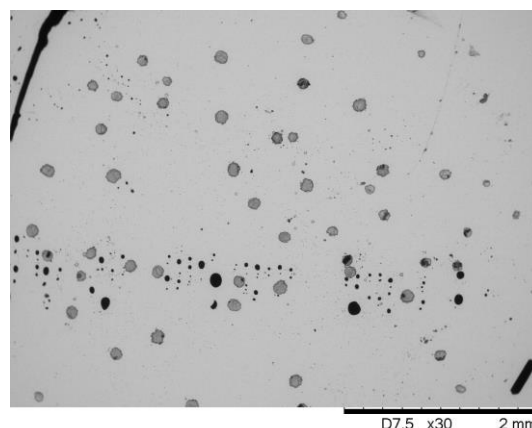


Figura 10 - Imagem MEV de uma amostra nitretada após ensaio de polarização cíclica.

4. Conclusões

A nitretação a plasma no aço inoxidável austenítico AISI 304 produziram camadas compostas por nitreto de cromo e austenita expandida (fase "S"), o que aumentou a dureza superficial e colaborou com o aumento da resistência ao desgaste microabrasivo em relação ao material sem tratamento. O aço inoxidável austenítico AISI 304 foi nitretado em temperaturas abaixo de 425°C, nas quais não se esperava a formação de nitreto de cromo, pois em temperaturas elevadas o coeficiente de difusão do cromo é maior. Desta forma o cromo liga-se ao nitrogênio para formar o nitreto de cromo (CrN), pressupõe-se que a formação do nitreto de cromo, esteja relacionada com o fluxo de gás usado durante os tratamentos de nitretação, pois altos fluxos de gases colaboram com o aumento da resistência elétrica. O aumento da resistência elétrica faz aumentar a potência

da descarga luminescente na superfície da amostra, elevando a temperatura na superfície da amostra, que facilita a difusão do cromo. O contato da esfera com o material sem tratamento só acontece após a camada efetiva se romper. Este rompimento ocorre devido à existência do nitreto de cromo, que por conferir à superfície altíssima dureza, se torna quebradiça conforme passa o tempo de ensaio. Em relação aos diferentes tipos de mecanismos de desgaste tratados neste estudo, estão relacionados com as partículas que se desprendem da superfície das amostras durante o ensaio, ocasionando os diferentes mecanismos de desgaste.

A nitretação a plasma reduziu o potencial de abertura de pite desde que apresente apenas a fase “S”. Quando surge na camada nitretada o nitreto de Cromo (CrN), este irá formar um par galvânico com a fase “S” diminuindo o potencial de abertura de pite e de corrosão, favorecendo o aparecimento de nucleações e tornando o material mais suscetível a corrosão.

5. Agradecimentos

À instituição FATEC Sorocaba pela realização dos ensaios de desgaste, nitretação a plasma e microdureza.

À Fapesp pelo apoio financeiro projeto 2016/13146-1

6. Referências Bibliográficas

[1] M.D. MANFRINATO. Influência da nitretação a plasma no comportamento em fadiga dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304 e 316”. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

[2] A.M. OLIVEIRA. Nitretação e carbonitretação por plasma em aços inoxidáveis e suas influências nas resistências à corrosão e ao desgaste. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.

[3] J.C. ALVES. Nitretação a Plasma - Fundamentos e Aplicações. 1ª edição. Natal. 2001.

[4] V. CHIAVERINI. Tecnologia mecânica (processos de fabricação e tratamento). 2ª edição. volume III, 2002,

[5] L.C. GONTIJO, et. al. Comparação entre os comportamentos dos aços inoxidáveis AISI 304L e AISI 316L nitretados a plasma. Revista brasileira de aplicações de vácuo, v. 26, n. 3, p. 145-150, 2008.

[6] L. POIRIER, et. al. Solutions to improve surface hardness of stainless steels without loss of corrosion resistance. Surface engineering, v. 18, n. 6, p. 439-441, 2002.

[7] G.B. STACHOWIA, et. al. Ball-cratering abrasion tests of high-Cr white cast irons. Tribology International, v. 38, n. 11-12, p. 1076-1087, 2005.

[8] I.M. HUTCHINGS. Abrasive and erosive wear tests for thin coatings: a unified approach. Tribology International, v. 31, n. 1-3, p. 5-15, 1998.

[9] I.M. HUTCHINGS. Abrasion processes in wear and manufacturing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, v. 216, n. 2, p. 55-62, 2002.

[10] J.B. MARCOMINI. Caracterização da nova liga Fe-C-Mn-Si-Cr: fragilização da martensita revenida e curvas de revenimento. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

[11] H.S.M. LOPES, et. al. Micro Abrasive Wear Behaviour Study of Carburization and Ion Plasma Nitriding of P20 Steel. Materials Research, v. 19, nº3, p. 686-694, 2016.

[12] J.O.P. NETO, et. al. Wear and corrosion study of plasma nitriding F53 super duplex stainless steel. Materials Research, v.19, nº 6, pp. 1241-1252, 2016.

[13] D. CRUZ, et. al. Projeto, Construção e Comissionamento de Um Reator de Nitretação Iônica a Plasma em Aço P20. v. 37, nº 3, pp. 102-113, 2018.

[14] K.L. RUTHERFORD; et. al. A micro-abrasive wear test, with particular application to coated systems. Surface and Coatings Technology, v. 79, n. 1-3, p. 231-239, 1996.

[15] R.C. COZZA. Estudo do desgaste e atrito em ensaios microabrasivos por esfera rotativa e fixa em condições de força normal constante e pressão constante. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

[16] H. COLPAERT Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns 4ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

[17] R.C. COZZA. Estudo do Comportamento do Coeficiente de Desgaste e dos Modos de Desgaste Abrasivo em ensaios de desgaste microabrasivo. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo – São Paulo, 2006.

PARALELIZAÇÃO DO QUICKSORT USANDO C+OPENMP

Silvio do Lago Pereira¹, Luiz Tsutomu Akamine², Lucio Nunes de Lira³

¹ Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia da Informação – FATEC-SP

² Prof. Esp. do Departamento de Tecnologia da Informação – FATEC-SP

³ Aux. de Doc. do Departamento de Tecnologia da Informação – FATEC-SP

slago@fatecsp.br, lakamine@fatecsp.br, lucio.nunes@fatecsp.br

Resumo

Quicksort é um dos algoritmos de ordenação mais eficientes que existem. Por ser baseado na estratégia de *divisão e conquista*, ele pode ser facilmente paralelizado; porém, suas versões paralelas simples raramente têm bom desempenho. Em geral, para se beneficiar de paralelismo, esse algoritmo requer grandes modificações, o que torna seu código excessivamente complexo e dificulta seu uso. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma versão paralela simples e eficiente desse algoritmo. Para avaliar a eficiência dessa versão proposta, foram comparados os tempos de execução de várias versões seriais e paralelas do *Quicksort*, para ordenar vetores aleatórios de vários tamanhos. Os resultados comparativos mostraram que a versão paralela proposta é, de fato, bastante eficiente.

1. Introdução

Dado um vetor v , com n itens em ordem arbitrária, a *ordenação* é uma operação que permuta os itens de v , de forma que se tenha $v_0 \leq v_1 \leq v_2 \leq \dots \leq v_{n-1}$. Essa operação é fundamental em diversas aplicações práticas em computação e há vários algoritmos que a implementam de modo eficiente. Entre eles, *Quicksort* é um dos mais rápidos [1].

Há várias versões paralelas de *Quicksort* na literatura; porém, em geral, elas são pouco eficientes ou, então, são muito complexas e exigem máquinas mais potentes [2-4].

Neste artigo, o objetivo é apresentar uma versão paralela de *Quicksort* que seja simples, que possa ser executada em um *notebook* com poucos processadores e que, apesar disso, apresente um bom desempenho.

O restante deste artigo está organizado do seguinte modo: a Seção 2 introduz fundamentos de programação paralela em C e *OpenMP*; a Seção 3 descreve as versões seriais e paralelas do *Quicksort* propostas neste trabalho; a Seção 4 descreve o método para escolha do *cutoff* que maximiza o *speedup* das versões paralelas do *Quicksort*; a Seção 5 apresenta e discute os resultados empíricos obtidos com os algoritmos implementados; e, finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões finais do trabalho.

2. Programação Paralela em C+OpenMP

OpenMP (*Open Multi-Processing*) é uma interface de programação que suporta processamento paralelo, com memória compartilhada, em múltiplas plataformas [5,6]. Em C [7], essa interface está disponível no arquivo `omp.h` e pode ser acessada por meio de diretivas `#pragma omp`, que são inseridas no código-fonte dos programas. Tais diretivas permitem ao programador informar ao compilador que partes do código-fonte devem ser executadas em paralelo, bem como de que forma essas partes devem ser distribuídas entre os *threads* disponíveis.

Um *thread* é uma entidade capaz de executar um trecho de código, de forma independente. Ao executar um

programa, o sistema operacional cria um processo correspondente e aloca alguns recursos necessários para sua execução (e.g., espaço de memória e registradores). Se múltiplos *threads* devem colaborar para executar um processo, então eles precisam compartilhar tais recursos. Além dos recursos compartilhados, cada *thread* precisa ter seu próprio contador de programa (PC), que indica a instrução a ser executada a cada instante, bem como uma área de memória privada para salvar seus dados específicos, incluindo variáveis locais, registradores e pilha.

A interface `omp.h` possui diversos recursos úteis para paralelizar vários tipos de algoritmos. Nas duas próximas subseções, são apresentados apenas os recursos usados na paralelização do *Quicksort*, proposta neste trabalho.

2.1. Definição de Região Paralela

Uma *região paralela* é um bloco de código que deve ser executado por vários *threads*, simultaneamente.

Por exemplo, no programa da Figura 1, a diretiva `#pragma omp parallel` cria um grupo de *threads* para executar o bloco de instruções subsequente no código, a função `omp_get_num_threads()` informa o tamanho do grupo criado e a função `omp_get_thread_num()` informa o número do *thread* que está executando o bloco.

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <omp.h>
3 int main(void) {
4     int shared = 1;
5     #pragma omp parallel
6     {
7         int group = omp_get_num_threads();
8         int thread = omp_get_thread_num();
9         printf("%d/%d: Hello world!\n", thread, group);
10        shared *= 2;
11    }
12    printf("shared = %d\n", shared);
13    return 0;
14 }
```

Figura 1 – “Hello world” paralelizado com *OpenMP*.

A execução do programa da Figura 1 produz a saída na Figura 2 (exceto pela variação causada pela serialização das saídas paralelas, para exibição em vídeo).

```
2/4: Hello world!
0/4: Hello world!
1/4: Hello world!
3/4: Hello world!
shared = 16
```

Figura 2 – Resultado da execução do “Hello world” paralelo.

Note que apenas a variável `shared`, declarada fora da região paralela, é compartilhada pelos *threads*. Como a máquina usada na execução do programa possui 2 núcleos, cada um deles composto por 2 processadores lógicos, o grupo criado contém 4 *threads*. Ademais, uma barreira é inserida automaticamente no final da região paralela, de modo que a execução da primeira instrução fora dessa região (aquela que exibe o valor de `shared`) deve aguardar até que a execução de todos os *threads* do grupo termine.

2.2. Definição de Tarefas Paralelas

Uma *tarefa* é uma instância específica de um código executável, juntamente com seu ambiente de dados. Uma tarefa pode ser executada por qualquer *thread* do grupo responsável pela execução da região paralela na qual ela é disparada, em paralelo com esta região. A execução de uma tarefa pode ser imediata (se houver no grupo algum *thread* ocioso) ou pode ser adiada até um momento posterior (neste caso, a tarefa deve aguardar numa fila de escalonamento de tarefas, gerenciada pelo sistema).

A diretiva `#pragma omp single nowait` indica que apenas um *thread* do grupo criado pela diretiva `#pragma omp parallel` (chamado *master thread*) deve executar a região paralela e que os demais *threads* do grupo não precisam esperar o término da execução deste *thread*.

A diretiva `#pragma omp task`, usada dentro de uma região paralela, indica que o bloco de código subsequente é uma tarefa. Ela é útil no caso de *paralelismo irregular*, onde tarefas têm diferentes tempos de execução, bem como no caso de *paralelismo aninhado*, onde tarefas disparam recursivamente novas tarefas. Em programas com paralelismo aninhado, a chamada `omp_set_nested(1)`, feita por `main()`, indica que as tarefas podem ser aninhadas.

A Figura 3 mostra um programa com paralelismo irregular, que calcula o *Fibonacci* de uma série de números, e sua saída é exibida na Figura 4. Note que, como executar `f(35)` demora muito, o *thread* 0 recebe apenas essa tarefa.

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <omp.h>
3 int f(int n) { return n<3 ? 1 : f(n-1) + f(n-2); }
4 int main(void) {
5     int v[6] = {35,25,20,27,22,21};
6     #pragma omp parallel
7     #pragma omp single nowait
8     {
9         for(int i=0; i<6; i++)
10             #pragma omp task
11             {
12                 int t = omp_get_thread_num();
13                 int n = v[i];
14                 double s = omp_get_wtime(); // start
15                 int r = f(n);
16                 double e = omp_get_wtime(); // end
17                 printf("[%d, %fs] f(%d)=%d\n", t, e-s, n, r);
18             }
19     }
20     return 0;
21 }
```

Figura 3 – Paralelização com tarefas para calcular *Fibonacci*.

```
[2, 0.000055s] f(20)=6765
[1, 0.000612s] f(25)=75025
[2, 0.000188s] f(22)=17711
[3, 0.001544s] f(27)=196418
[1, 0.000100s] f(21)=10946
[0, 0.038156s] f(35)=9227465
```

Figura 4 – Distribuição irregular de tarefas entre os *threads*.

2.3. Paralelização, Speedup e Speeddown

A paralelização de um algoritmo visa reduzir seu tempo de execução. Portanto, comparar os tempos de execução de suas versões serial e paralela é essencial para analisar a *eficiência da paralelização* (i.e., o desempenho da versão paralela em relação àquele da versão serial).

O desempenho de um algoritmo paralelo é dado por uma métrica chamada *speedup*. Sejam T_s e T_p os tempos de execução serial e paralela, respectivamente, de um algoritmo, numa máquina com p processadores. Então, o

speedup obtido com a paralelização é T_s / T_p . Assim, por exemplo, um *speedup* igual a 2 indica que a versão paralela executa duas vezes mais rapidamente que a versão serial; enquanto um *speedup* igual a 1 indica que ambas as versões têm o mesmo desempenho. Alternativamente, um *speedup* inferior a 1 pode ser chamado de *speeddown*.

O *speeddown* é causado pela proliferação excessiva de tarefas. Neste caso, o sistema tem uma sobrecarga para gerenciar tarefas (i.e., criar, sincronizar e destruir), que consome mais tempo que aquele necessário para executá-las.

2.4. Granularidade, workload, overhead e Cutoff

Granularidade refere-se ao tamanho das tarefas criadas durante a execução de um algoritmo paralelo, variando de fina (*fine-grain*) até grossa (*coarse-grain*).

A granularidade fina facilita o balanceamento da carga de trabalho (*workload balance*), pois permite distribuir as tarefas entre os *threads* de forma equilibrada (Figura 5a); porém, ela aumenta o tempo necessário para gerenciar as tarefas (*task overhead*). Inversamente, a granularidade grossa diminui o *task overhead*, mas dificulta o *workload balance* (Figura 5b). Assim, a eficiência do algoritmo com paralelismo irregular depende muito da granularidade.

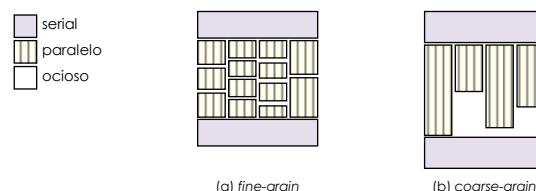


Figura 5 – Granularidade fina versus granularidade grossa.

Em algoritmos com paralelismo irregular e aninhado, um mecanismo de *cutoff* pode ser usado para controlar a granularidade (definindo um tamanho *mínimo* de tarefa, a partir do qual novas tarefas não possam mais ser disparadas recursivamente). Na prática, porém, é difícil definir precisamente um *cutoff* que garanta o perfeito equilíbrio entre *task overhead* e *workload balance*.

3. O Algoritmo Quicksort

Quicksort é um algoritmo de ordenação [1], baseado na estratégia de divisão e conquista. A divisão é feita pela operação de *partição* e a conquista é feita com *recursão*.

Dado um vetor $v[start .. end]$, a operação de *partição* escolhe um item *pivot*, permuta os itens de v , e devolve um índice *cut* que divide v em duas partes, $v[start .. cut]$ e $v[cut+1 .. end]$, tais que $x \leq pivot$, para todo $x \in v[start .. cut]$, e $x \geq pivot$, para todo $x \in v[cut+1 .. end]$. A implementação dessa operação em C é apresentada na Figura 6.

```
1 int partition(int v[], int start, int end) {
2     int pivot = v[(start + end)/2];
3     int cut = end+1;
4     start--;
5     while( start < cut ) {
6         do cut--; while( v[cut] > pivot );
7         do start++; while( v[start] < pivot );
8         if( start < cut ) swap(v, start, cut);
9     }
10    return cut;
11 }
```

Figura 6 – Operação de partição, usada pelo *Quicksort*.

Após a partição de v , a ordenação de cada uma de suas partes é um problema *independente*. Então, para ordenar v completamente, basta ordenar recursivamente suas partes.

3.1. Quicksort Padrão Serial

A versão serial do *Quicksort* padrão, implementada em C, é apresentada na Figura 7.

```
1 void ssqs(int v[], int start, int end) {
2     if( start >= end ) return;
3     int cut = partition(v, start, end);
4     ssqs(v, start, cut);
5     ssqs(v, cut+1, end);
6 }
7 void SSqs(int v[], int n) {
8     ssqs(v, 0, n-1);
9 }
```

Figura 7 – Serial Standard Quicksort.

A função *SSqs()* – *Serial Standard Quicksort* – é apenas um *wrapper* para a função *ssqs()*. O melhor caso para a função *ssqs()*, ocorre quando a operação *partition()* sempre divide o vetor em duas partes do mesmo tamanho. Neste caso, a complexidade de tempo da função *SSqs()* é $O(n \lg n)$, como mostra a Figura 8.

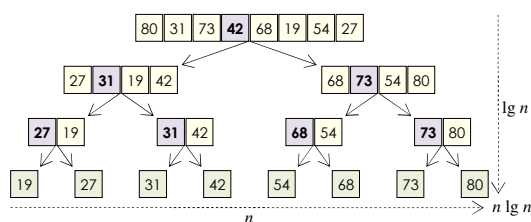


Figura 8 – No melhor caso, o algoritmo *Quicksort* é $O(n \lg n)$.

Por outro lado, o pior caso ocorre quando a operação *partition()* sempre divide o vetor em uma parte contendo apenas um item e outra parte contendo todos os demais itens. Neste caso, a complexidade de tempo da função *SSqs()* é $O(n^2)$, como mostra a Figura 9.

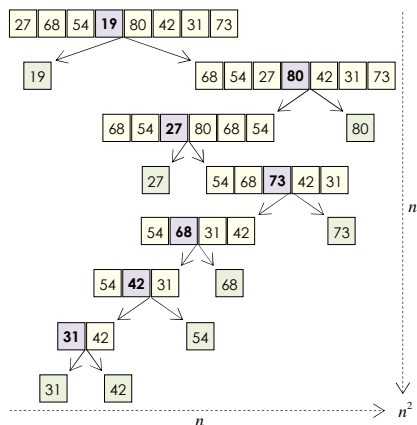


Figura 9 – No pior caso, o algoritmo *Quicksort* é $O(n^2)$.

No caso médio, com vetores aleatórios, a complexidade de tempo da função *SSqs()* é $O(n \lg n)$ [1].

3.2. Quicksort Padrão Paralelo

A versão paralela do *Quicksort* padrão, em C, é apresentada na Figura 10. Nesta implementação, a função *PSqs()* – *Parallel Standard Quicksort* – é apenas um *wrapper* para a função *psqs()*. Para controlar a granularidade das tarefas aninhadas, essa função recebe como parâmetro um valor de *cutoff*. Quando o tamanho de uma tarefa (i.e., o tamanho do vetor a ser ordenado pela tarefa) é igual ou inferior ao *cutoff*, a função deixa de disparar novas tarefas paralelas e resolve o problema usando diretamente a versão padrão serial (Figura 7).

```
1 void psqs(int v[], int start, int end, int cutoff) {
2     if( end-start+1 <= cutoff )
3         ssqs(v, start, end);
4     else {
5         int cut = partition(v, start, end);
6         #pragma omp task
7         psqs(v, start, cut, cutoff);
8         #pragma omp task
9         psqs(v, cut+1, end, cutoff);
10    }
11 }
12 void PSqs(int v[], int n, int cutoff) {
13     #pragma omp parallel
14     #pragma omp single nowait
15     psqs(v, 0, n-1, cutoff);
16 }
```

Figura 10 – Parallel Standard Quicksort.

A função *FPSqs()* – *Fine-grained Parallel Standard Quicksort* – na Figura 11, é um *wrapper* para a função *psqs()*, que define um *cutoff* igual a 1. Assim, as tarefas paralelas são recursivamente disparadas, até que os vetores a serem ordenados por elas tenham apenas um item.

```
1 void FPSqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     psqs(v, 0, n-1, 1);
5 }
```

Figura 11 – Fine-grained Parallel Standard Quicksort.

A função *CPSqs()* – *Coarse-grained Parallel Standard Quicksort* – na Figura 12, é um *wrapper* para a função *psqs()*, que define um *cutoff* igual a $n \gg 1$ (i.e., $n/2$). Assim, tarefas paralelas são recursivamente disparadas, até que os vetores a serem ordenados tenham no máximo a metade do tamanho do vetor original.

```
1 void CPSqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     psqs(v, 0, n-1, n>>1);
5 }
```

Figura 12 – Coarse-grained Parallel Standard Quicksort.

3.3. Quicksort Otimizado Serial

Um problema com o *Quicksort* padrão é que, no pior caso, ele cria uma pilha de tamanho proporcional a n , ou seja, tem complexidade de espaço $O(n)$. Então, para n muito grande, sua execução pode causar um erro de *stack overflow*. Uma forma de garantir complexidade de espaço $O(\lg n)$, no pior caso, consiste em particionar o vetor a ser ordenado, resolver a parte *menor* de forma recursiva e a outra de forma iterativa. Assim, como a parte menor pode ter no máximo $n/2$ itens, as chamadas recursivas podem atingir uma profundidade máxima da ordem de $\lg n$. A Figura 13 mostra a versão serial otimizada do *Quicksort*.

```
1 void soqs(int v[], int start, int end) {
2     while( start < end ) {
3         int cut = partition(v, start, end);
4         if( cut-start+1 <= end-cut ) {
5             soqs(v, start, cut);
6             start = cut + 1;
7         }
8         else {
9             soqs(v, cut+1, end);
10            end = cut;
11        }
12    }
13 }
14 void SOqs(int v[], int n) {
15     soqs(v, 0, n-1);
16 }
```

Figura 13 – Serial Optimized Quicksort.

3.4. Quicksort Otimizado Paralelo

A Figura 14 apresenta a versão paralela do *Quicksort* otimizado. A função `POqs()` – *Parallel Optimized Quicksort* – é um *wrapper* para a função `poqs()`. Analogamente à versão padrão, a versão otimizada também recebe como parâmetro um valor de *cutoff*. Quando o tamanho de uma tarefa é igual ou inferior ao *cutoff*, a função deixa de disparar novas tarefas paralelas e resolve o problema usando diretamente a versão otimizada serial (Figura 13).

```
1 void poqs(int v[], int start, int end, int cutoff) {
2     while( end-start+1 > cutoff ) {
3         int cut = partition(v, start, end);
4         if( cut-start+1 <= end-cut ) {
5             #pragma omp task
6             poqs(v, start, cut, cutoff);
7             start = cut + 1;
8         }
9         else {
10            #pragma omp task
11            poqs(v, cut+1, end, cutoff);
12            end = cut;
13        }
14    }
15    sqs(v, start, end);
16 }
17 void POqs(int v[], int n, int cutoff) {
18     #pragma omp parallel
19     #pragma omp single nowait
20     poqs(v, 0, n-1, cutoff);
21 }
```

Figura 14 – Parallel Optimized Quicksort.

A função `FPOqs()` – *Fine-grained Parallel Optimized Quicksort* – na Figura 15, é um *wrapper* para a função `poqs()`, que define um *cutoff* igual a 1.

```
1 void FPOqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     poqs(v, 0, n-1, 1);
5 }
```

Figura 15 – Fine-grained Parallel Optimized Quicksort.

A função `CPOqs()` – *Coarse-grained Parallel Optimized Quicksort* – na Figura 16, é um *wrapper* para a função `poqs()`, que define um *cutoff* igual a $n \gg 1$.

```
1 void CPOqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     poqs(v, 0, n-1, n>>1);
5 }
```

Figura 16 – Coarse-grained Parallel Optimized Quicksort.

3.5. Quicksort da Biblioteca Padrão de C

Sendo um dos algoritmos de ordenação mais eficientes que existem, o *Quicksort* faz parte da biblioteca padrão em C (`stdlib.h`). Ele é implementado de forma serial pela função `qsort()`. Por ser uma função de biblioteca, `qsort()` foi implementada para ordenar vetores de qualquer tipo de dados, em ordem crescente ou decrescente.

Para ter a generalidade necessária, a função `qsort()` precisa receber 4 parâmetros: um ponteiro para o vetor a ser ordenado, o tamanho desse vetor, o tamanho dos itens desse vetor (em *bytes*) e um ponteiro para a função que será usada para comparar os itens durante a ordenação. Tal função deve devolver um valor *nulo*, quando os itens comparados forem iguais; *positivo*, quando o primeiro item for maior que o segundo; ou *negativo*, quando o primeiro item for menor que o segundo.

A função `CSLqs()` – *C Standard Library Quicksort* – na Figura 17, é um *wrapper* para a função `qsort()` que ordena um vetor de inteiros, em ordem crescente. Essa função foi usada para obtenção de resultados empíricos que são apresentados na Subseção 5.4.

```
1 int ascending(const void *a, const void *b) {
2     int x = *((int *) a);
3     int y = *((int *) b);
4     return (x>y) - (x<y);
5 }
6 void CSLqs(int v[], int n) {
7     qsort(v, n, sizeof(int), ascending);
8 }
```

Figura 17 – C Standard Library Quicksort.

4. Escolha do Melhor Cutoff

Como explicado na Subseção 2.4, a eficiência de um algoritmo com paralelismo irregular e aninhado depende muito do valor de *cutoff* escolhido, pois este definirá a granularidade das tarefas e, consequentemente, como será o equilíbrio entre *task overhead* e *workload balance*.

Como a função `partition()` sempre divide o vetor a ser ordenado em duas partes, o *cutoff* para o *Quicksort* pode ser definido como $n/2^c$. Então, para escolher o melhor *cutoff*, basta escolher o valor de c que maximiza o *speedup*.

Para escolher esse valor *empiricamente*, geramos 300 permutações aleatórias da sequência $\langle 1, 2, 3, \dots, 2^{16} \rangle$ e calculamos o *speedup* médio obtido por `POqs()`, em relação a `SSqs()`, para ordenar todas elas, para cada c entre 1 e 16. Depois, analisando os dados obtidos, exibidos na Figura 18, concluímos que o *speedup* é máximo para $c = 4$.

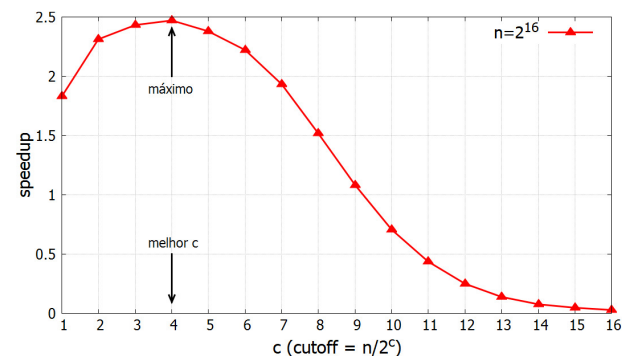


Figura 18 – Melhor *cutoff* para um vetor de tamanho $n = 2^{16}$.

Repetindo o experimento para vetores contendo permutações aleatórias da sequência $\langle 1, 2, 3, \dots, n \rangle$, para $n = 2^k$ e $k \in [16..23]$, observamos que o valor de c que maximiza o *speedup* aumenta uma unidade, à medida que o valor de n é *quadruplicado* (os dados obtidos estão na Figura 19). Então, definimos o melhor valor de c como $\lfloor \log_4 n - 4 \rfloor$.

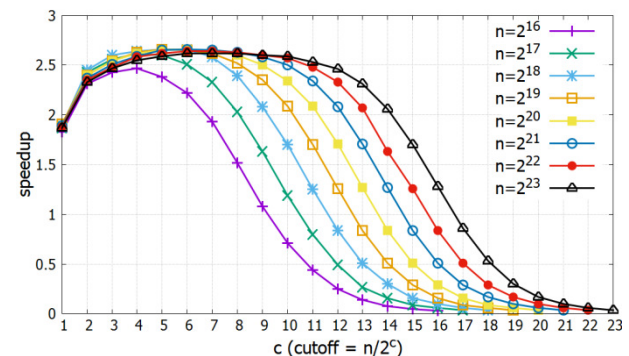


Figura 19 – Melhores valores de c para vetores grandes.

Finalmente, repetindo o experimento para vetores contendo permutações aleatórias da sequência $\langle 1, 2, 3, \dots, n \rangle$, para $n=2^k$ e $k \in [10..15]$, observamos que, para vetores com 2^{12} itens, o *speedup* é muito baixo e, para vetores menores ainda, temos *speeddown*. Então, ajustamos a fórmula que dá o melhor valor de c para $\max(\lfloor \log_4 n - 4 \rfloor, 1)$. Os dados obtidos são apresentados na Figura 20.

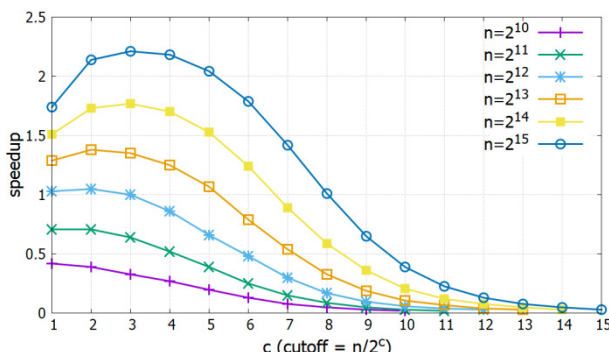


Figura 20 – Melhores valores de c para vetores pequenos.

Com base na fórmula obtida, criamos a função que escolhe o melhor *cutoff*, para cada n , exibida na Figura 21.

```
1 double lg(double x, double b) { return log(x)/log(b); }
2 int best_c(int n) { return max(floor(lg(n,4)-4),1); }
3 int best_cutoff(int n) { return max(n>>best_c(n),1); }
```

Figura 21 – *Best-cutoff* em função do tamanho do vetor.

A função *BPSqs()* – *Best-grained Parallel Standard Quicksort* – na Figura 22, é um *wrapper* para a função *psqs()*, que define um *cutoff* que maximiza o *speedup*.

```
1 void BPSqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     psqs(v, 0, n-1, best_cutoff(n));
5 }
```

Figura 22 – *Best-grained Parallel Standard Quicksort*.

A função *BPOqs()* – *Best-grained Parallel Optimized Quicksort* – na Figura 23, é um *wrapper* para a função *poqs()*, que define um *cutoff* que maximiza o *speedup*.

```
1 void BPOqs(int v[], int n) {
2     #pragma omp parallel
3     #pragma omp single nowait
4     poqs(v, 0, n-1, best_cutoff(n));
5 }
```

Figura 23 – *Best-grained Parallel Optimized Quicksort*.

5. Resultados Empíricos

As diversas versões seriais e paralelas do *Quicksort*, propostas neste artigo, foram implementadas com o compilador *Pelles C*, versão 8.00.60, 32 bits, rodando em uma máquina *Intel(R) Core(TM) i7-5500U @ 2.40GHz*, com 2 núcleos físicos (4 processadores lógicos) e 4GB de memória RAM *DDR3*, no sistema operacional *Windows 10*.

Os experimentos foram feitos com vetores contendo permutações aleatórias da sequência $\langle 1, 2, 3, \dots, n \rangle$, gerados pela função na Figura 24. Os tempos reportados são a média dos tempos medidos para 300 permutações, para cada tamanho de vetor, pela função definida na Figura 25.

```
1 void permutation(int v[], int n) {
2     for(int i=0; i<n; i++) v[i] = i+1;
3     while( n-- ) swap(v, n, rand()%n+1);
4 }
```

Figura 24 – Geração de permutações aleatórias.

```
1 double etime(void *f, int *v, int n, int *w, int cutoff) {
2     memcpy(w, v, n*sizeof(int));
3     double start = omp_get_wtime();
4     if( cutoff <= 0 ) ((void (*)(int *, int))f)(w, n);
5     else ((void (*)(int *, int, int))f)(w, n, cutoff);
6     return omp_get_wtime()-start;
7 }
```

Figura 25 – Tempo de execução de uma função de ordenação.

Note que *etime()* não altera v , permitindo que os mesmos vetores sejam usados pelos algoritmos comparados.

5.1. Influência da Otimização

Os tempos de execução das versões seriais, padrão e otimizada, são dados na Figura 26. Ao contrário do esperado, a versão otimizada (em relação a espaço) consome mais tempo que a versão padrão (embora a diferença seja em *ms*). Esse tempo adicional pode ser devido ao *if*, em *SOqs()*, que decide que parte do vetor sendo ordenado será tratada com recursão ou com iteração.

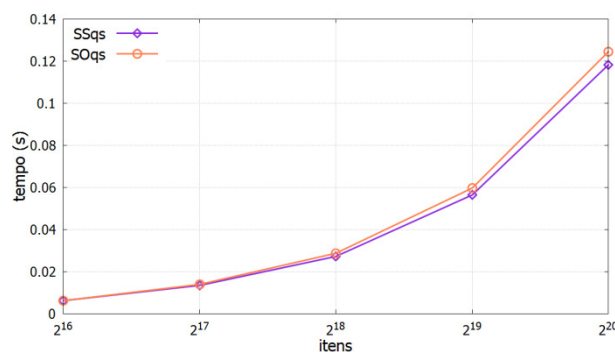


Figura 26 – Tempos das versões padrão e otimizada.

5.2. Influência da Granularidade Fina

Os tempos de execução das versões paralelas, padrão e otimizada, com granularidade fina, são dados na Figura 27. Apesar de ambas as versões exibirem *speeddown*, curiosamente, a versão paralela otimizada é cerca de 2 vezes mais rápida que a versão paralela padrão. Isso pode ser devido ao fato de a versão otimizada disparar cerca de metade das tarefas que são disparadas pela versão padrão, pois a outra metade ela trata de forma iterativa.

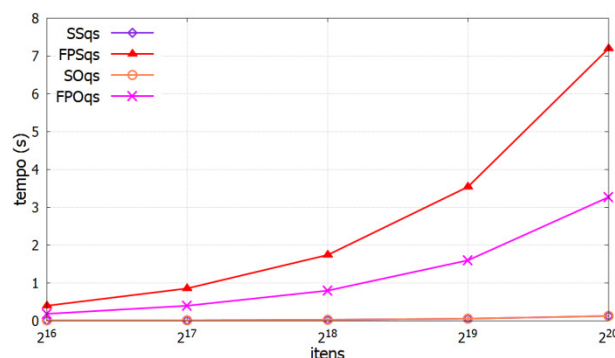


Figura 27 – *Speeddown* devido à granularidade fina.

5.2. Influência da Granularidade Grossa

Os tempos de execução das versões paralelas, padrão e otimizada, com granularidade grossa, são dados na Figura 28. Ambas as versões exibem aproximadamente o mesmo *speedup*. Isso pode ser devido ao fato de o *cutoff* ser muito alto ($= n/2$), impedindo que a versão padrão dispare muito mais tarefas que a versão otimizada.

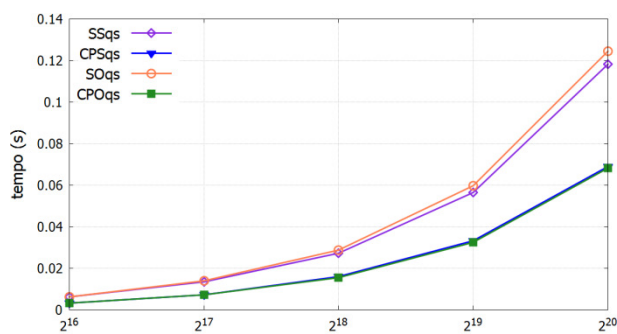


Figura 28 – Speedup devido à granularidade grossa.

5.3. Influência da Melhor Granularidade

Os tempos de execução das versões paralelas, padrão e otimizada, com a melhor granularidade, são dados na Figura 29. Com a escolha do melhor *cutoff*, o *speedup* médio para a versão padrão foi 2.1, enquanto para a otimizada foi 2.5. Considerando que a máquina usada nos experimentos tem apenas dois núcleos físicos, o *speedup* obtido com a versão otimizada foi bastante alto.

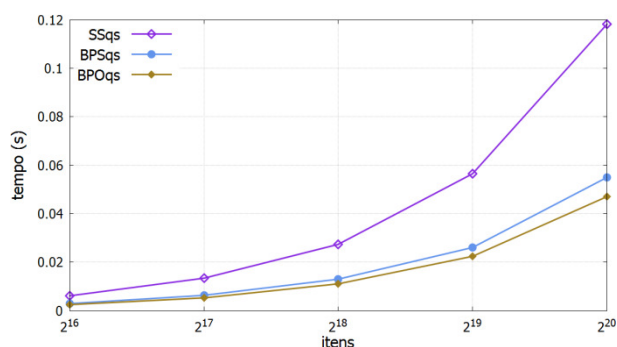


Figura 29 – A melhor granularidade aumenta o *speedup*.

Para evidenciar a diferença de desempenho entre todas as versões de *Quicksort* propostas neste artigo, todos os *speedups* são apresentados na Figura 30. Como pode ser observado, BPOqs () é a função com melhor desempenho.

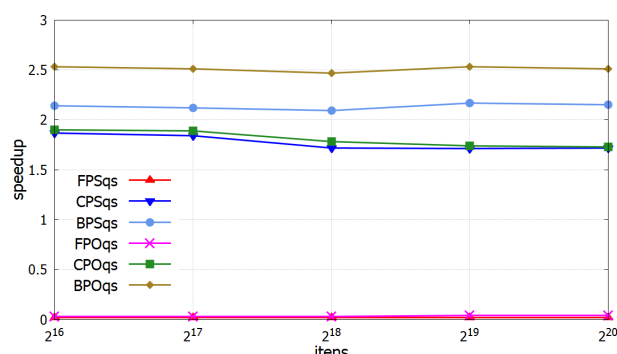


Figura 30 – Comparação geral das versões do *Quicksort*.

5.4. Função de Ordenação da Biblioteca de C

A comparação entre BPOqs () e CSLqs (), a função de ordenação da biblioteca padrão de C, é apresentada na Figura 31. Embora essa comparação não seja muito justa, pois a função *qsort* () usada em CSLqs () é *serial* e mais *genérica*, ela mostra que o uso da versão paralela proposta nesse artigo pode ser muito vantajoso. De fato, a análise dos tempos de execução na Figura 31 mostra que a função BPOqs () é cerca de 8 vezes mais rápida que CSLqs ().

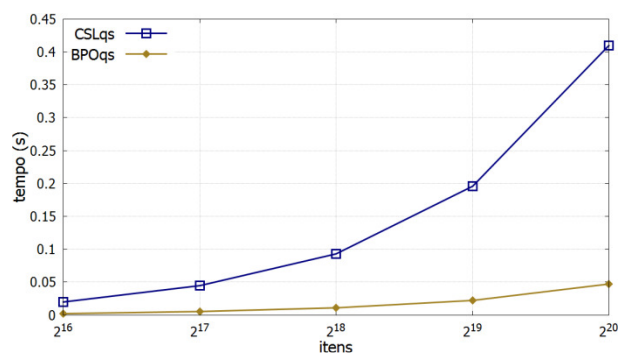


Figura 31 – Vantagem sobre a biblioteca padrão de C.

6. Conclusões

Neste artigo, mostramos como o algoritmo *Quicksort* pode ser paralelizado, usando recursos disponíveis na biblioteca `omp.h` do compilador *Pelles C*. Como pôde ser constatado, a paralelização de um algoritmo com essa biblioteca é relativamente simples. O que não é tão simples é a obtenção de uma versão paralela que seja eficiente.

Várias versões seriais e paralelas do *Quicksort* foram implementadas usando *C* e *OpenMP*. Mais precisamente, foram implementadas 2 versões seriais e 6 paralelas, com diferentes granularidades (*fine-grained*, *coarse-grained* e *best-grained*)*. A comparação empírica entre os tempos de execução dos algoritmos mostrou que as versões *best-grained*, tanto a versão padrão quanto a versão otimizada com relação ao uso de espaço de memória, foram aquelas que tiveram melhor desempenho (i.e., maiores *speedups*). Portanto, acreditamos que a contribuição mais importante desse trabalho foi o estudo feito para determinação do *cutoff* que maximiza o *speedup* das versões paralelas.

Em trabalho futuro, pretendemos estender o estudo feito para escolha do melhor *cutoff* considerando vetores cujos tamanhos não sejam potências de 2. Também pretendemos investigar como a fórmula proposta para definir o melhor *cutoff* (i.e., $\max(n/2^{\max(\lfloor \log_4 n - 4, 1 \rfloor)}, 1)$) é afetada pelo número de processadores existentes na máquina usada para execução dos algoritmos implementados.

Referências Bibliográficas

- [1] T. H. Cormen et al. **Introduction to Algorithms**, 3rd Edition, MIT Press, Cambridge, 2010.
- [2] H. Shi; J. Schaeffer. **Parallel Sorting by Regular Sampling**. Journal of Parallel and Distributed Computing, v. 14:4, p. 361-372, 1992.
- [3] P. Srivastava. **Hyper Quick Sort (Parallel Quicksort)**, The State University of New York, 2014.
- [4] A. Maus. **A Full Parallel Quicksort Algorithm for Multicore Processors**, University of Oslo, 2015.
- [5] R. Chandra et al. **Parallel programming in OpenMP**. Morgan Kaufmann, CA, USA, 2001.
- [6] B. Chapman et al. **Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming**. MIT Press, 2008.
- [7] B. W. Kernighan; D. M. Ritchie. **The C Programming Language**, 2nd Edition, Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, 1988.

* Todos os algoritmos implementados estão disponíveis em www.ime.usp.br/~slago/parallel_quicksort.zip.

SOLDAGEM DE MANUTENÇÃO EM MATRIZES DE INJEÇÃO PLÁSTICA DE AÇO INOX MARTENSÍTICO

Bruno de Souza Alves¹, Leandro Bruno², Luciana Sgarbi Rosino^{3,4}, Marcos Dorigão Manfrinato⁵

¹ Aluno do curso Processos Metalúrgicos da FATEC Sorocaba

² Engenheiro de Soldagem, Embraer Neiva Botucatu

⁵ Prof. Mestre do curso Processos Metalúrgicos da Fatec Sorocaba

³ Prof. Doutora do curso Processos Metalúrgicos da Fatec Sorocaba

⁴ Prof. Doutora Colaboradora do Programa em Pós-Graduação em Ciência dos Materiais na UFSCar de Sorocaba
bruno@hotmail.com, marcos.manfrinato@fatec.sp.gov.br

1. Resumo

As matrizes de injeção plástica podem ser produzidas com aço inoxidável martensítico AISI 420. O procedimento de reparo de matrizes é caro e de difícil execução devido ao controle de temperatura de pré-aquecimento e resfriamento. Este procedimento de reparos aumenta a vida útil da matriz, evitando a manufatura de uma nova matriz, cujo custo é elevado. Porém, esse é um procedimento que poucas empresas conseguem efetuar de modo adequado, pois envolve tanto a área de processos de soldagem como a área de metalurgia. Desta forma, este trabalho apresenta uma forma de se realizar esse reparo de modo eficiente, de acordo com a norma Petrobras N133 e as equações de temperatura de pré-aquecimento proposta por Béres em 2001. Definiu-se a temperatura de pré-aquecimento em 220°C e resfriamento calmo em cal como a melhor condição de soldagem TIG com metal de adição AWS E420. Não ocorreu a formação de trincas na zona afetada e zona fundida para o procedimento de soldagem adotado analisador por líquido penetrante, ultrassom e raios-X.

2. Introdução

Os produtos feitos à base de polímeros são manufaturados utilizando moldes que dão a forma ao produto. O processo de injeção plástica e de sopro são os mais utilizados para fabricar produtos à base de polímeros. Essas matrizes podem apresentar trincas, defeitos, que podem ser causadas por erros durante o processo de usinagem ou durante o seu uso devido ao ciclo térmico que esse material sofre, por conta do resfriamento feito na matriz de injeção plástica, para esses casos pode ser feito um reparo por processo de soldagem, evitando assim a manufatura de uma matriz de injeção nova. Com tudo, esse é um processo de difícil realização, pois são realizados a partir de informações disponibilizadas pelos fabricantes dos aços, ou por prática industriais, e na grande maioria das literaturas e artigos traz um enfoque nas técnicas de soldagem sem abordar os aspectos metalúrgicos [1, 2].

Dentre os métodos de soldagem mais convencionais o que melhor se aplica para esse tipo de reparo é o processo GTAW (*Gás-Tungsten Arc Weld*), mais conhecido no Brasil como processo TIG (Tungstênio Inerte Gás), por permitir um excelente controle da poça de fusão, baixa taxa de deposição, isento de respingos, e o principal fator, baixa energia de soldagem. Isso faz com o procedimento de reparo possa ser eficiente sem que haja necessidade de outros processos posteriores. É muito

importante para a realização de um bom reparo que o metal de solda seja o mesmo ou o mais próximo possível do metal de base, para que assim se obtenha uma microestrutura muito parecida evitando diferenças de tensões internas [1].

Pode ser realizado o processo de pré-aquecimento da matriz antes da soldagem, esse é um processo que tem como finalidade diminuir a velocidade de resfriamento, prevenindo a formação de martensita na zona afetada pelo calor. A martensita causa a fragilidade, e consequentemente, durante a contração térmica durante o resfriamento ocorre a formação de trincas, para tanto, controlar a velocidade de resfriamento passa ser importante [1, 3, 4].

Os aços inoxidáveis martensíticos possuem um comportamento metalúrgico similar aos aços carbono possíveis de serem temperados, pelo fato de também poderem ser austenitizados quando aquecidos a uma determinada temperatura. E durante o resfriamento desse aço pode ocorrer a transformação dessa austenita em outros produtos, dependendo da velocidade desse resfriamento. Quando em velocidade de resfriamento é baixa, obtém-se ferrita e alguns carbonetos, já para velocidades elevadas o produto formado é a martensita. Na soldagem desse material, ocorre a solidificação da poça de fusão na forma de ferrita δ , que se transforma em austenita durante o resfriamento. A transformação dessa ferrita δ ocorre somente se os teores de cromo e carbono e outros elementos estiverem corretamente ajustados. Os elementos químicos silício, molibdênio e alumínio por exemplo, estabilizam a ferrita δ , enquanto o nióbio e o vanádio formam finos carbonetos muito estáveis. Porém mesmo que a liga esteja corretamente ajustada pode ocorrer de nem toda a ferrita δ se transformar em austenita, isso acontece em velocidade de resfriamento elevada, como ocorre comumente a soldagem. Por causa desse fato, é indesejável a presença de muita ferrita na zona fundida [5].

O aço martensítico possui um elevado teor de cromo na sua composição química, deste modo ele possui uma ótima temperabilidade, podendo até ser resfriado ao ar, em temperaturas superiores a 820°C, exceto para peças com espessuras grandes. Devido a estas características, eles são muito empregados na condição de aço inoxidável temperado e revenido. A tempera induz a formação de uma estrutura muito dura e frágil, que em seguida é "amaciada" pelo revenimento, reduzindo um pouco a sua fragilidade, mantendo a dureza devido a formação de

finos carbonetos que ficam distribuídos dentro da matriz [5].

Realizar o pré-aquecimento é um método simples e que pode auxiliar na prevenção de trincas que possam surgir na soldagem dos inoxidáveis martensíticos. Pré-aquecer a peça tem como principal objetivo reduzir a velocidade de resfriamento do material, impossibilitando a formação da martensita [4]. É muito comum que sejam empregadas temperaturas de pré-aquecimento de 200°C a 315°C, dependendo do teor de carbono em porcentagem de massa. De modo bem genérico pode-se dizer que para teores de carbono menores a 0,10% não necessita de pré-aquecimento já para teores de carbono entre 0,10% e 0,20% é necessário realizar um pré-aquecimento de no máximo 260°C e mínimo de 205°C, se a porcentagem de carbono for maior que 0,20% de carbono é para pré-aquecer acima de 260°C [5].

Outra maneira de se determinar a temperatura de pré-aquecimento do aço inoxidável martensítico é utilizar a norma Petrobras N133 revisão M, no item 5.8 trata da soldagem de aços inoxidáveis martensíticos. Nessa norma o aço inoxidável martensítico AISI 410 (material muito semelhante ao estudado neste trabalho), deve ser realizado um pré-aquecimento de 200°C para realizar a soldagem. Se o aço inoxidável martensítico tiver uma composição química em porcentagem em peso acima de 0,25% de carbono, esta norma Petrobras afirma que esses materiais são considerados não soldáveis.

Uma terceira maneira para se determinar a temperatura do pré-aquecimento foi desenvolvida por BÉRES em 2001. Suas equações baseiam-se na composição química do material, e não apenas no teor de carbono, calculando a temperatura de início de formação da martensita pode-se calcular a temperatura de pré-aquecimento, como é mostrado pelas equações (1) e (2).

$$M_s = 454 - 210 \cdot \%C + \frac{4.2}{\%C} - 27 \cdot \%Ni - 7.8 \cdot \%Mn - 9.5 \cdot (\%Cr + \%Mo + \%V + \%W + 1.5 \cdot \%Si) - 21 \cdot \%Cu \quad (1)$$

$$T_p = (M_s - 60) \pm 10^\circ C \quad (2)$$

A não realização do pré-aquecimento pode causar trincas na junta soldada, sendo que essas trincas normalmente se propagam na zona afetada pelo calor (ZAC), pois é nessa região pelo fluxo de calor forma-se a martensita e ocorre o efeito de contração/expansão durante a soldagem. É na ZAC onde vão ocorrer as modificações da microestrutura, passado de ferrita δ , para austenita, e com o resfriamento rápido da solda a austenita se transforma em martensita, uma estrutura muito dura, causando um aumento nas tensões internas do material [8].

3. Materiais e Métodos

O metal de base utilizado foi o aço inoxidável martensítico AISI 420 com dimensões de 110mm x 70mm x 19,5mm. A composição química nominal em porcentagem em peso, esta apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química nominal em porcentagem em peso para o aço inoxidável martensítico AISI 420

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Nb
0,15 a 0,20	Máx 1,0	1,0	12 a 14	-	-	-

A análise de composição química do aço inoxidável AISI 420 será realizada por espectroscopia de emissão óptica marca SPECTROMAXX. Serão feitas cinco queimas, ou seja, três análises, para se ter um valor médio da composição química de cada elemento químico.

De acordo com a literatura técnica para consumíveis de soldagem, o metal de adição indicado para a soldagem do aço inoxidável martensítico AISI 420 é o 410 e 420. Entretanto, como podemos encontrar no comércio a um menor custo a vareta ER 420, do que a vareta ER 410, optou-se por utilizar a vareta de menor custo. Segundo o fabricante Tecbrás, a vareta ER 420 possui a composição química nominal em porcentagem em peso apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química em porcentagem em peso da vareta ER 420 fornecida pelo fabricante Tecbrás.

C	Cr	Ni	S	P	Si	Mo	Mn
0,25 - 0,40	12 - 14	0,6 máx	0,03 máx	0,03 máx	0,5 máx	0,75 máx	0,6 máx

Como um dos objetivos deste trabalho, é determinar um melhor procedimento de soldagem de manutenção de matriz de injeção plástica, analisando a influência de cada parâmetro envolvido o processo de soldagem TIG com o pré-aquecimento e o resfriamento após a soldagem. Deste modo foi realizado a soldagem em diferentes condições como é apresentado no fluxograma da Figura 1.

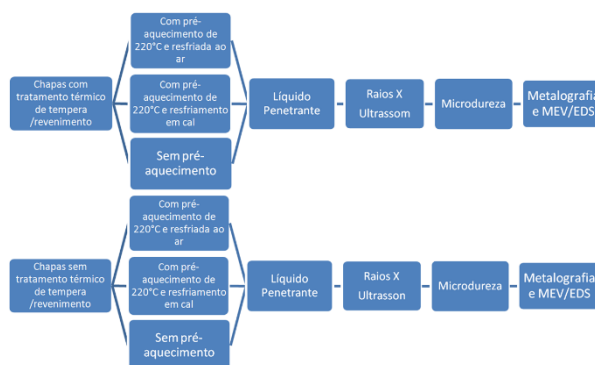


Figura 1 - Fluxograma esquemático da sequência de trabalho desenvolvida nesse trabalho.

O pré-aquecimento foi realizado com auxílio de um maçarico, na região a ser soldada até atingir a temperatura correta. Como método de controle da temperatura de pré-aquecimento foi realizado com auxílio de um termopar acoplado a um multímetro digital.

Para a realização do processo de soldagem TIG foi utilizado a polaridade direta (CC-), com corrente de 140 Amperes, gás de proteção Argônio com vazão de 10 L/min, com tensão de 12V e uma velocidade de soldagem de 120 mm/min. Utilizou-se uma máquina de solda TIG da marca Miller modelo Dynasty 200.

Para deixar os corpos de prova na condição de matriz de injeção plástica temperado e revenido, realizou-se o tratamento térmico de tempera e revenimento em um forno mufla da marca EDG modelo 1800, com os parâmetros baseados no estudo de PINEDO de 2004. A temperatura de austenitização foi de 1000°C com patamar de 25 minutos e resfriado em óleo de tempera a 100°C e o revenimento realizado á 500°C com patamar de 25 minutos e resfriado ao ar. O revenimento foi realizado logo após a tempera.

Para analisar a solda foram realizados ensaios não destrutivos nos corpos de prova como o líquido penetrante, ultrassom e raios-X.

O ensaio de líquido penetrante foi realizado conforme a norma ASTM E165-2003. Após a soldagem os corpos de prova foram limpos com solventes, e em seguida aplicado o líquido penetrante. A remoção do excesso do líquido penetrante ocorreu após 30 minutos da aplicação do líquido penetrante com auxílio de água corrente. Estando a superfície limpa aplicou-se o revelador a base de solvente para revelar as imperfeições superficiais.

Para os corpos de prova que não apresentaram trincas superficiais, realizou-se o ensaio de raios-X e ultrassom, para assegurar que no interior da solda não possui trincas. Para o ensaio de raios-X utilizou-se uma fonte de cobalto para gerar imagens do cordão de solda conforme norma ASTM E142-2004. Para o ensaio por ultrassom utilizou-se o equipamento Phasor XS com cabeçote de 4,0 MHz, passe de 0,5 mm, com largura de 9 mm e a técnica de inspeção utilizada foi a fhaser linear.

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de dureza com microdurometro da marca Mitutoyo modelo HM-100 para realizar a dureza Vickers para os corpos de prova temperado e revenido antes da soldagem. Foi realizado também a análise da microdureza Vickers ao longo da seção transversal do corpo de prova soldado, com o equipamento da marca Mitutyo modelo HM-100, com a carga de 1,0kg.

As análises metalograficas foram realizadas em um microscópio óptico da marca Leica modelo DMi8M com câmera acoplada da marca Leica DFC365 Fx com resolução de 1,4MP e software de captura LAS com pacote Quantimet da Leica, para analisar as regiões da solda, como zona afetada pelo calor, zona fundida e metal base. Foi utilizado também o MEV (microscópio eletrônico de varredura) da marca HITACHI modelo TM3000. O MEV pertence ao laboratório de caracterização da UFSCar de Sorocaba. Os corpos de prova passaram por um processo de preparação começando com o corte, para depois serem embutidas em baquelite. Após estarem embutidas as amostras foram lixadas, passando de forma crescente entre as lixas (120, 240, 320, 400, 600, 1200 e 2000), seguidos de um polimento com óxido de alumina de granulometria de 1µm e 0,5µm, conforme a norma ASTM E3-2011 de preparação metalografia. Foi realizado um ataque

químico nas amostras, para revelar a microestrutura do material, o reagente utilizado foi o Vilella (com concentração de 5ml HCl + 2gr Ácido Pícrico + 100ml Álcool Etílico).

4. Resultados e Discussões

A Tabela 3 apresenta a composição química em percentagem em peso que foi obtida pelo espectrômetro de emissão optica. A composição química apresentada na Tabela 3 está de acordo com a norma ASTM A276-15

Tabela 3 - Resultado do ensaio de análise química do material

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
0,195	0,75	0,72	13,5	0,04	0,198

A Composição química em percentagem em peso serão empregadas nas equações 4 e 5, para realizar o cálculo da temperatura de início de formação de martensita (M_s) e a temperatura de pico (T_p).

$$M_s = 454 - 210 \cdot 0,1950 + \frac{4,2}{0,195} - 27 \cdot 0 - 7,8 \cdot 0,75 - 9,5 \cdot (13,5 + 0,04 + 0,198 + 1,5 \cdot 0,72) - 21 \cdot 0$$

$$M_s = 287,96^\circ\text{C}$$

$$T_p = (287,96 - 60) \pm 10^\circ\text{C}$$

$$T_p = 227,96^\circ\text{C} \quad \begin{cases} T_p \text{ max} = 237,69^\circ\text{C} \\ T_p \text{ min} = 217,69^\circ\text{C} \end{cases}$$

Tabela 4 - Resultado da inspeção visual após o ensaio de líquido penetrante nos corpos de prova.

Corpo de prova	Visual do Corpo de prova	Resultado
Sem tratamento térmico e sem pré-aquecimento	Apresentou trincas superficiais na ZAC	Reprovado
Sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar	Livre de trincas superficiais	Aprovado
Sem tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado em cal	Livre de trincas superficiais	Aprovado
Com tratamento térmico e sem pré-aquecimento	Apresentou trincas superficiais na ZAC	Reprovado
Com tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado ao ar	Livre de trincas superficiais	Aprovado
Com tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado em cal	Livre de trincas superficiais	Aprovado

A temperatura de pré-aquecimento adota nesse trabalho foi de 220°C, que está de acordo com os cálculos utilizando as equações de Bêres, e superior a especificada na norma Petrobras N133, que é 200°C.

Os resultados do ensaio de líquido penetrante estão apresentados na Figura 5. O resultado da inspeção visual dos corpos de prova após a realização o líquido penetrante, estão apresentados na Tabela 4.

A Tabela 4 apresenta o material de base sem tratamento térmico de têmpera e revenimento e sem pré-aquecimento apresentou trincas superficiais na zona afetada pelo calor observados pelo ensaio de líquido penetrante. O material temperado e revenido sem pré-aquecimento também apresentou as mesmas trincas na zona afetada pelo calor. Dessa forma, esses dois corpos de prova não serão submetidos aos ensaios de raios-X e ultrassom já que apresentaram defeitos, neste ensaio.

A Figura 2 apresenta as imagens obtidas após a realização do ensaio de líquido penetrante nos corpos de prova. A Figura 2(a) e 2(d) apresentam as trincas que são as linhas vermelhas no revelador. Essas linhas são as trincas na zona afetada pelo calor em toda a extensão do cordão de solda. Nas demais imagens não apresentarem trinca na ZAC e nem na ZF.

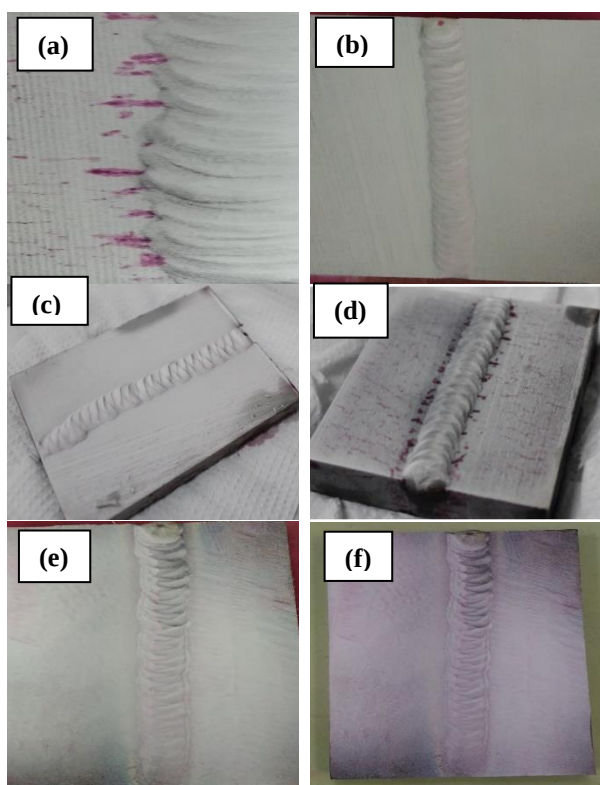


Figura 2 - Ensaio de líquido penetrante (a) sem tratamento térmico e sem pré-aquecimento; (b) sem tratamento, com pré-aquecimento, resfriado ao ar; (c) sem tratamento, com pré-aquecimento, resfriado em cal; (d) com tratamento térmico, sem pré-aquecimento; (e) com tratamento, com pré-aquecimento, resfriado ao ar; (f) com tratamento, com pré-aquecimento, resfriado em cal.

A Figura 2(a) e 2(d) apresentam os corpos de prova que foram soldadas sem pré-aquecimento o que

favoreceu o surgimento de trincas devido a velocidade de resfriamento do cordão de solda e dessa forma ocorreu a formação da martensita na Figura 2(a). A martensita que não é dúctil ao sofrer os esforços de expansão/contração do ciclo térmico do processo de soldagem, acaba trincando. Nos corpos de prova que passaram pelo processo de pré-aquecimento, não ocorreu a formação de trincas superficiais devido a velocidade de resfriamento ser mais lenta, evitando assim a formação da martensita e diminuindo a contração térmica durante o resfriamento [4].

Após a realização do ensaio de líquido penetrante, os corpos de prova aprovados, foram submetidos aos ensaios de ultrassom e raios-X. A Tabela 5 apresenta os resultados para as diferentes condições de soldagem.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de raios x e ultrassom

Corpo de prova	Observações	Resultado
Sem tratamento térmico e sem pré-aquecimento	-	Não avaliado
Sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar	Apresentou trincas na ZAC e na zona fundida	Reprovado
Sem tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado em cal	Livre de trincas e defeitos	Aprovado
Com tratamento térmico e sem pré-aquecimento	-	Não avaliado
Com tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado ao ar	Apresentou trincas na ZAC e na zona fundida	Reprovado
Com tratamento térmico, com pré-aquecimento, resfriado em cal	Livre de trincas e defeitos	Aprovado

Os corpos de prova com pré-aquecimento e com resfriamento ao ar, apresentam trincas internas detectadas pelo ultrassom. Desde modo, além de controlar o pré-aquecimento necessita-se também controlar a velocidade de resfriamento do cordão de solda para diminuir a contração térmica.

No ensaio de ultrassom os corpos de prova do metal de base sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar e o corpo de prova temperado e revenido com pré-aquecimento e resfriado ao ar apresentam trincas na zona afetada pelo calor como ilustra a Figura 3. Os círculos em vermelho são as trincas internas não observadas no ensaio de líquido penetrante.

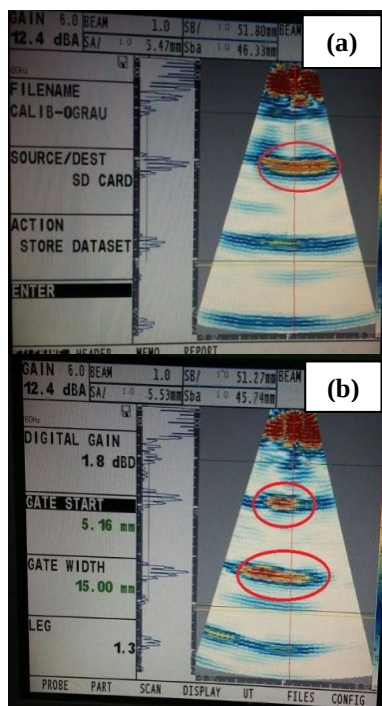


Figura 3 - Imagem do ensaio de ultrassom, os círculos em vermelho mostrando as trincas internas dos corpos de prova. (a) sem tratamento, com pré-aquecimento e resfriamento ao ar; (b) com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento ao ar.

A Figura 4 apresenta a imagem dos filmes de raios-X sem nenhum defeito no cordão de solda e na zona afetada pelo calor. A Figura 4(a) é o corpo de prova com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento em cal e a Figura 4(b) é o corpo de prova sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriada em cal.

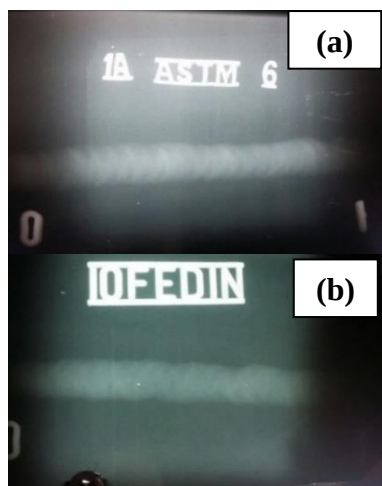


Figura 4 - Imagem do filme gerado após o ensaio de raios-X. (a) com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento em cal; (b) sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento em cal

O ensaio de microdureza é utilizado para poder associar a dureza do material com as trincas formadas no material. Pois quanto maior a dureza do material maior vai ser a quantidade de martensita formada na zona afetada pelo calor, e assim as trincas acabam se

propagado com maior facilidade nessa região. A Figura 5 apresenta o perfil de microdureza para as respectivas condições de soldagem em cada região da solda metal base (MB), zona afetada pelo calor (ZAC) e zona fundida (ZF).

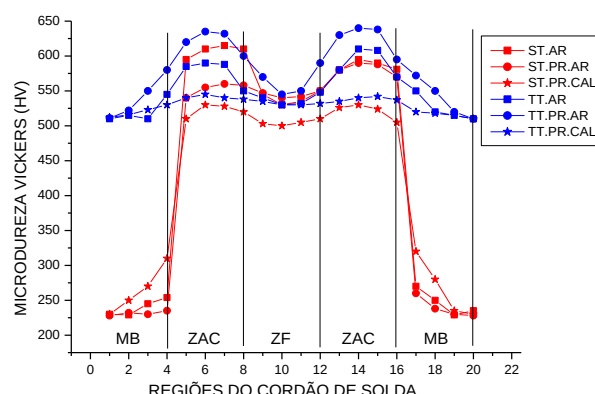


Figura 5 – Perfil de microdureza Vickers para todas as condições de soldagem. Sem tratamento, sem pré-aquecimento e resfriado ao ar (ST.AR); sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar (ST.PR.AR); sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao cal (ST.PR.CAL); com tratamento térmico, sem pré-aquecimento e resfriado ao ar (TT.AR); com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar (TT.PR.AR) e com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado à cal (TT.PR.CAL).

A análise do perfil de microdureza revela a importância de se pré-aquecer o corpo de prova antes da realização da soldagem e depois da realização da soldagem resfria-lo em cal para reduzir a velocidade de resfriamento da zona fundida diminuindo assim as tensões de contração térmica do material. Essa redução na velocidade de resfriamento faz com que a dureza na zona afetada pelo calor e na zona fundida não tenham variações bruscas, como ilustra a Figura 8. Ao colocar a peça soldada para resfriar encoberta pelo cal reduziu-se a velocidade de resfriamento e dessa forma a dureza na zona afetada pelo calor ficou com dureza próxima à da zona fundida e do material temperado e revenido. Já o material pré-aquecido soldado e resfriado ao ar ocorreu o aumento da dureza nas ZAC, esse aumento da dureza é causado devido a formação da martensita, que ao resfriar ao ar sofrem tensões do ciclo térmico e dessa forma ocorre a formação de trinca. Esse fenômeno pode ser visto em todos os corpos de prova que resfriaram ao ar.

A Figura 6 apresenta as micrografias dos corpos de prova. Pode-se observar a região que surgiram as trincas internas, a forma que a trinca se propagou e a transformação dos grãos na zona fundida. Na Figura 6(a) é o corpo de prova sem tratamento térmico, sem pré-aquecimento e resfriado ao ar e observa-se que a trinca se propagou na zona afetada pelo calor (local com pico de dureza). Para o corpo de prova com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriado ao ar apresentou também trincas na zona afetada pelo calor como ilustra a Figuras 6(b).

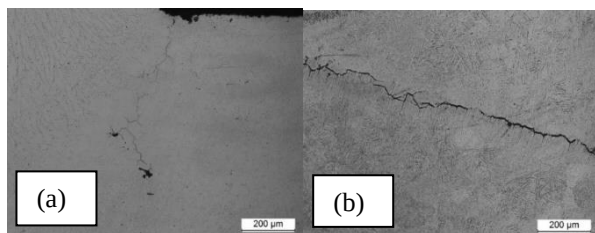


Figura 6 - (a) ZAC lado esquerdo com aumento de 100X, corpo de prova sem tratamento térmico e com pré-aquecimento resfriado ao ar; (b) trinca na ZAC do corpo de prova com tratamento térmico e com pré-aquecimento resfriado ao ar, com aumento de 100X. Ataque químico com Vilela.

Os corpos de prova que foram resfriados em cal apresentam uma estrutura livre de defeitos como ilustra a Figura 7(a) sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento em cal e a Figura 7(b) com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento em cal. A ZAC dos corpos de prova mostrados na Figuras 7(a) e 7(b) não apresentaram trincas, A sua zona fundida da Figura 7(a) é formada por dentritas celulares já da Figura 7(b) é formada por dendritas colunares.

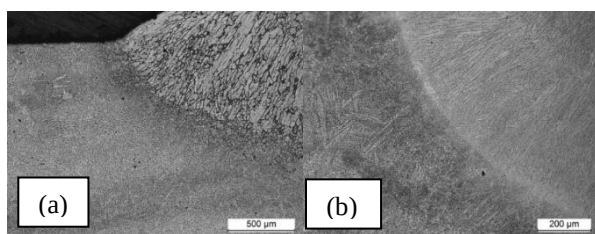


Figura 7 - ZAC livre de trincas e defeitos de soldagem (a) do corpo de prova sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriada em cal, com aumento de 50X; (b) do corpo de prova com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriada em cal, com aumento de 100X. Ataque com Vilela.

5. Conclusões

A soldagem de matrizes de injeção plástica que utilizam o aço inoxidável martensítico AISI 420 temperado e revenido deve ser pré-aquecida para a realização de reparos e também realizar o controle da velocidade de resfriamento. A melhor proposta para determinar a temperatura de pré-aquecimento é a equação proposta por Béres. Com ela é possível determinar a temperatura de pré-aquecimento para realizar a soldagem de manutenção. Neste trabalho a temperatura calculada foi de $T_p = 227,96^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, porém adotou-se a temperatura de 220°C . Utilizando os dados da composição química do aço inoxidável martensítico para determinar a temperatura de pré-aquecimento é mais eficaz do que proposto por Modenesi, pré-aquecer entre 205°C à 260°C , e pela norma Petrobras N-133 deve ser de 200°C .

Apenas determinar a temperatura de pré-aquecimento não significa que não ocorrerão falhas na solda, pois os corpos de prova sem tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriamento ao ar e o com tratamento térmico, com pré-aquecimento e resfriada ao ar,

apresentaram trincas. Estas trincas se formaram devido ao ciclo de contração térmica e da taxa de resfriamento. Para diminuir a velocidade de resfriamento foi utilizando cal no contorno de toda peça soldada, e dessa forma, não ocorreram mais defeitos no cordão de solda.

6. Referências

- [1] W.T. Preciado et. al., Repair welding of polymer injection molds manufactured in AISI P20 and VP50IM steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 179(1-3), (2006) 244-250.
- [2] R.A. Mesquita, et. al., Development of improved machinability steel precipitation hardening steels for plastic moulds. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. 1(4) (2005) 11-15
- [3] B.S. Alves, et. al., Soldagem Dissimilar do Aço ASTM A36 e o Aço Inoxidável AISI 420 Pelo Processo TIG. *Process. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo*. 42, (2016), 123-123.
- [4] B.S. Alves, et. al., Estudo da Influência do Pré-aquecimento e Velocidade de Resfriamento na Soldagem do Aço Inoxidável AISI 420. *Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo*. 44, (2017), 106-106.
- [5] P.J. Modenesi. *Weldability of Stainless Steels*. SENAI-SP. (2001).
- [6] Petrobras Norma N133 - Soldagem. Revisão M, (2015).
- [7] L. Béres, et. al., Welding of Martensitic Creep-Resistant Steels. *Welding Journal*. 80(8), (2001), 191-195.
- [8] R. Yilmaz, et. al., Tensile properties of martensitic stainless steel weldments. *Advanced Materials Research*, 23, (2007), 319-322.
- [9] C.E. Pinedo. Heat Treatment and Surface of martensitic stainless steel AISI 420 Designed to Molds for Polymer Injection: Part I - Heat Treatment. In 2° Meeting of the Chain of Tools, Molds and Arrays, (2004) 281-292.

Agradecimentos

À FATEC Sorocaba pela utilização dos laboratórios de Soldagem, Metalografia e Ensaio Mecânicos. A empresa GE OIL and GAS pela realização dos ensaios de raios-X e ultrassom.

UM ESTUDO SOBRE VOCABULÁRIO ESPECIALIZADO NA ÁREA DE SOLDAGEM

José Roberto Lourenço¹

Prof. Dr. do DAESTUR - FATEC-SP¹

Jr_lourenco@yahoo.com.br.

Resumo

O trabalho teve por objetivo fazer levantamento estatístico de vocabulário em língua inglesa na área de Soldagem contando especificamente com artigos e estudos de caso. Os achados da pesquisa visam contribuir com a ampliação de conhecimentos de pesquisadores e alunos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo ligados ao curso de Soldagem e outras áreas de tecnologia. Para realização da pesquisa, coletamos textos relacionados à área de soldagem e materiais presentes na rede, em um *site* do Reino Unido, o TWI, em seguida, utilizamos a ferramenta eletrônica AntConc 3.2.4w para seleção e estudo de combinações lexicais. Destacamos substantivos e adjetivos em combinação com presença expressiva no corpus. Os resultados apresentaram algumas combinações linguisticamente familiares como Laser Welding (Soldagem a Laser), outras menos comuns como Hot-Spot Stress (Estresse Crucial) e Yield Stress (Tensão de Ruptura ou Limite de Elasticidade), por exemplo.

Palavras-chave: língua inglesa; vocabulário especializado; ferramentas eletrônicas; AntConc 3.2.4w.

1. Introdução

A língua inglesa a cada momento ganha espaço no mundo globalizado, em diferentes contextos o idioma é meio de comunicação fundamental [1]. Nas redes sociais, no ambiente empresarial e no mundo acadêmico sua presença é marcante; aparentemente tal processo é um fenômeno em expansão que poderá prevalecer ainda por décadas [2]. Vivemos uma verdadeira revolução social nessa virada de século, contexto em que a tecnologia e o idioma inglês formam uma dupla de agentes a impulsionar o desenvolvimento

humano, individual e coletivo, com grande impacto nas corporações. Definitivamente hoje o inglês é a língua por meio da qual o conhecimento e a informação são transmitidos, por meio da qual a vida se manifesta, culturalmente, socialmente e profissionalmente. Mais de 1 bilhão de pessoas em todo mundo aprendem inglês sendo que 375 milhões falam inglês como primeira língua e 750 milhões usam inglês como segunda língua [3]. O inglês técnico tem relevância dentro de áreas específicas; constitui-se em um importante veículo de comunicação e aquisição de conhecimento, em especial por meio da atividade de leitura e escrita [4]. Biber & Conrad destacam aqui a importância do léxico especializado em diferentes áreas. Segundo eles,

“Um currículo baseado em uma descrição linguística abrangente do registro escrito em uma disciplina acadêmica em particular fornecerá aos estudantes as ferramentas que necessitam para desenvolver sua competência profissional naquela área”.

A terminologia técnica ganha espaço em nosso trabalho, não apenas pelas especificidades aqui discutidas, mas também pelo papel que pode desempenhar na condição de elemento transformador na carreira de estudantes e profissionais de áreas de tecnologia, especialmente aquelas relacionadas às engenharias [5] como a metalurgia e a soldagem, por exemplo, objeto de nosso interesse no presente estudo.

Nas últimas três décadas pesquisas em língua inglesa ganharam grande impulso em especial pelas novas possibilidades que a Linguística de Corpus oferece. No tocante às abordagens envolvendo léxico especializado a área tem permitido aos pesquisadores interessantes incursões, tanto pela originalidade quanto pela precisão nos processos de coleta e análise de dados. Optamos

pela linguística de corpus e pelo uso de suas ferramentas pela importância que dá ao texto propriamente dito, à linguagem autêntica nele presente, elementos fundamentais em nossa pesquisa.

2. A Linguística de Corpus

Segundo Berber Sardinha,

“A linguística de *corpus* ocupa-se da coleta e da exploração de *corpora*, ou conjuntos de dados linguísticos textuais coletados criteriosamente, com o propósito de servirem para a pesquisa de uma língua ou variedade linguística. Como tal, dedica-se à exploração da linguagem por meio de evidências empíricas, extraídas por computador” [6].

Ainda segundo o autor, “outro elemento central da conceituação em que a Linguística de *Corpus* se baseia é a visão probabilística da linguagem [...] a visão da linguagem como sistema probabilístico pressupõe que, embora muitos traços linguísticos sejam possíveis teoricamente, não ocorrem com a mesma frequência.”

2.1. Corpora

Berber Sardinha destaca algumas definições de *corpus* (palavra de origem latina que tem como forma plural *corpora*). Entre elas temos: “Uma coletânea de textos naturais, escolhidos para caracterizar um estado ou variedade de linguagem [7] e “É um corpo de linguagem natural, autêntica que pode ser usado como base para pesquisa linguística” [8]. Temos uma terceira definição: “É uma coletânea de porções de linguagem que são selecionadas e organizadas de acordo com critérios linguísticos explícitos, a fim de serem usadas como uma amostra de linguagem” [9].

A mais completa definição, porém, justamente por incorporar as características principais mencionadas nas definições acima, é: “Um conjunto de dados linguísticos (pertencentes ao uso oral ou escrito da língua, ou a ambos), sistematizados segundo determinados critérios, suficientemente extensos em amplitude e profundidade, de maneira que sejam representativos da totalidade do uso linguístico ou de algum de seus âmbitos, dispostos de tal modo que possam ser processados por computador, com a finalidade de propiciar resultados vários e úteis para a descrição e análise.” [10].

Iniciamos esse artigo explicitando os objetivos do trabalho, a seguir a coleta e seleção de textos base para a pesquisa, em seguida a metodologia para o desenvolvimento do trabalho e a discussão dos dados; finalmente, as conclusões.

3. Objetivos

O objetivo deste trabalho é utilizar um banco de dados com textos da área de Soldagem para estudo de vocabulário técnico e posterior elaboração de um *site* contendo um glossário composto por combinações lexicais, um espaço para estudo de gramática contextualizada, bem como de definições, de abreviações presentes nos textos de referência e exercícios com textos para atividade de leitura e reflexão sobre temas relacionados à tecnologia. Finalmente, disponibilizar o *site* na rede para acesso público; também promover seminários e minicursos para divulgação dos resultados da pesquisa entre alunos e pesquisadores da área de línguas e demais interessados.

4. Seleção de textos

Optamos pela rede para realizarmos a coleta de material da pesquisa pela facilidade de acesso e consulta. Utilizamos o site da TWI¹ por ser nome de referência internacional nas áreas de Soldagem e Metalurgia. Selecionamos 1107 textos, 556 artigos e 551 estudos de caso, publicações do grupo nas últimas duas décadas. Os artigos representam pesquisas realizadas e apresentadas em congressos na área de soldagem em diferentes partes do mundo. Os estudos de caso referem-se a experimentos recentes com aplicação industrial em áreas correlatas.

5. Metodologia

Selecionamos textos previamente salvos em txt, (texto sem formatação) forma que permite estudo linguístico adequado. Em seguida, com utilização da ferramenta eletrônica de análise linguística, o *AntConc* 3.2.4w. [11], fizemos levantamento e estudo do léxico neles presente. Para tanto, criamos lista de palavras por ordem de frequência, utilizando um dos recursos da ferramenta, levantamos as combinações lexicais mais frequentes entre substantivos e adjetivos, (*collocates*), a seguir observamo-las em linhas de concordância com o objetivo de fazer um recorte com exemplos contextualizados para a elaboração do glossário. O corpus de estudo com os artigos e estudos de caso citados totalizou 2.282.584 palavras.

¹ www.twi-global.com

5.1. A ferramenta eletrônica AntConc 3.2.4w, seus recursos de coleta e análise.

O AntConc 3.2.4w é um aplicativo disponibilizado na rede e utilizado para pesquisa de léxico na área de linguística de corpus. O aplicativo contém diferentes ferramentas que podem ser acessadas de acordo com a necessidade e objetivo da pesquisa. Para nosso levantamento e análise de vocabulário fizemos uso de três delas. Lista de palavras-chave, Linhas de Concordâncias e Combinações lexicais (*collocates*).

- Lista de palavras - esta ferramenta é utilizada para procedimentos gerais com o aplicativo; conta todas as palavras no *corpus* e as apresenta em uma lista ordenada. Isso permite que encontremos quais palavras são as mais frequentes no corpus e consequentemente as mais pertinentes para estudo.
- Combinações lexicais (*collocates*) – esta ferramenta mostra as combinações lexicais de uma palavra presente no *corpus*, por exemplo um substantivo de alta frequência combinado com um adjetivo.
- Linhas de concordância – esta ferramenta mostra os resultados de busca das combinações lexicais levantadas na fase anterior - *collocates*. Permite uma visão mais abrangente de como as combinações lexicais se apresentam no corpo de um texto.

6. Resultados e discussão

Apresentamos na sequência os resultados da pesquisa com base no levantamento de vocabulário. A lista a seguir mostra as dez palavras mais frequentes no corpus de estudo, fazem parte de uma série utilizada para a elaboração de um glossário técnico em fase de desenvolvimento. Foram listadas aproximadamente novecentas combinações lexicais até o momento. Apresentamos também um modelo a partir do substantivo *Stress* combinado com três adjetivos de alta frequência.

Tabela 1 – Palavras de alta frequência no corpus de estudo.

Welding
Stress
Steel
Material
Process
Test
Surface
Metal
Joint
Specimens

Glossário – Exemplo com combinações lexicais contextualizadas.

Stress

Adj. residual, hot-spot, yield

Failure of welded structures due to the presence of flaws is typically driven by a mixture of applied and **residual stresses**, yet in most cases only the former are known accurately. (W 14)

Residual Stress = estresse residual

...The thickness effect discussed earlier will still exist even if fatigue strength is expressed in terms of the **hot-spot stress**. (W 341)

Hot-spot stress = estresse crucial, crítico

A linear viscosity model has been developed based on a linear relationship between yield strength and temperature, and between **yield stress** and strain rate, where the viscosity is a function of the uniaxial stress and uniaxial strain rate. (W 35)

Yield stress = tensão de ruptura / limite de elasticidade

7. Conclusão

O estudo, com utilização da ferramenta eletrônica AntConc 3.2.4w, possibilitou acesso a vocabulário técnico na área de soldagem. Observamos que o simples levantamento de substantivos de alta frequência não atende completamente o objetivo da pesquisa, o levantamento se torna pleno quando, com o uso do software, chegamos a descobertas de relevância. Assim, substantivos como *Stress* ganham significado mais amplo quando combinado com os adjetivos *residual*, *hot-spot* e *yield*, formando estresse residual, estresse crucial e tensão de ruptura respectivamente. A linguística de *Corpus* e suas ferramentas mais uma vez demonstram ter grande utilidade no levantamento de conteúdos relevantes para a área de tecnologia.

O trabalho representa uma pequena amostra das possibilidades de estudo que a Linguística de *Corpus* e suas ferramentas podem oferecer aos estudiosos e pesquisadores da área de línguas e tecnologia.

Agradecimentos

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo pelo aceite de proposta de entrada em regime de jornada integral, o que permitiu o desenvolvimento do trabalho e pelo acesso aos equipamentos pertencentes ao Departamento de Automação de Escritórios e Secretariado e Gestão de Turismo.

Referências Bibliográficas

[1] D. CRYSTAL **English as a Global Language**. Cambridge. Cambridge University Press. 2003.

[2] RAJAGOPALAN, K.A.A. Geopolítica da Língua Inglesa e seus Reflexos no Brasil: por uma Política Prudente e Propositiva. In: LACOTE. Y.;

RAJAGOPALAN. K. (Orgs.) **A Geopolítica do Inglês**. São Paulo. Parábola, 2005. P. 135-159.

[3] DAMIANOVIC. M.C.C.C.L. **Aprender Inglês para não Perder o Bonde da História**. Solettras (UERJ), v. 12, p. 20-31, 2006.

[4] BIBER. D.; Conrad. S. **Genre, Register and Style**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

[5] CONRAD. S.; DUSICKA. P.; PFEIFFER. P. **Work in Progress – A New Approach for understanding student and workplace writing in Engineering**. 39th Frontiers in Education Conference. San Antpnio, Texas. 2009.

[6] T. BERBER SARDINHA. **Linguística de Corpus**. Barueri: Manole, 2004.

[7] T. BERBER SARDINHA. **Linguística de Corpus**. Barueri: Manole, 2004.

[8] SINCLAIR APUD BERBER SARDINHA. **Linguística de Corpus**. Manole. 2004.

[9] PERCY, MEYER & LANCASHIRE, 1996, APUD T. BERBER SARDINHA. **Linguística de Corpus**. Manole. 2004.

[10] SANCHEZ 1995 APUD T. BERBER SARDINHA. **Linguística de Corpus**. Manole. 2004.

[11] LAURENCE ANTHONY, Ph.D. **AntConc 3.2.4w (Windows, Macintosh OS X, and Linux)**. Center for English Language Education in Science and Engineering, School of Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan. 2011.

FATEC-SP

A **Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, uma das mais antigas unidades do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS, vinculado e associado à UNESP, foi criada no final da década de 1960 e oferece 15 Cursos Superiores de Tecnologia, com um quadro de 286 professores, 123 funcionários, atende em torno de 6.000 alunos, tendo já formado mais de 20.000 Tecnólogos. Dispõe de 41 laboratórios e oficinas, núcleos de discentes com projetos específicos, Programa de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq).

Os Cursos de Graduação oferecidos pela FATEC-SP são:

*Análise e Desenvolvimento de Sistemas
Automação de Escritórios e Secretariado
Edifícios*

*Eletrônica Industrial
Gestão Empresarial EAD*

Gestão de Turismo

Hidráulica e Saneamento Ambiental

Instalações Elétricas

Materiais Cerâmicos, Poliméricos e Metálicos

Microeletrônica

Mecânica de Precisão

Movimento de Terra e Pavimentação

Processos de Produção

Projetos

Soldagem

Fatec
São Paulo

CPS 50
Centro
Paula Souza
1969 - 2019

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

Praça Coronel Fernando Prestes, 30 – Bom Retiro
CEP: 01124-060 São Paulo, SP
Telefones: (11) 3322-2202, FAX (11) 3315-8498

www.fatecsp.br