Intellectus
REVISTA ACADÊMICA DIGITAL

Área: Ciências Exatas e Tecnológicas
Nº 34 Vol 2 Abril/Junho 2016.

ISSN 1679-8902

3 **EDITORIAL**
Prof. Dr. André Mendeleck

ARTIGOS

5 **IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SPH PARA MODELAGEM DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS - PARTE 1: FORMULAÇÃO E GENERALIDADES DO MÉTODO**
PATINO-NARINO, Edgar Andrés

34 **UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA NAS ENGENHARIAS COM A UTILIZAÇÃO DE FOTOSENSORES**
Almeida, Priscila Todero

45 **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AMIDO RESISTENTE, INULINA E POLIDEXTROSE APLICADOS EM PÃO DE FORMA**
SETIN, Jaciara Coelho

64 **ÍNDICES QUE ANALISAM A AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS**
SORRENTINO, Antonio Almeida

85 **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO FÍSICA DE ATLETAS**
MARQUEZINI FILHO, Paulo Afonso

114 **DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA E DA TANGENTE DE PERDA DA PASTA DE CIMENTO EM FREQUENCIAS DE MICROONDAS**
PFEIFER, Weila Packer

Áreas de publicação:

Ciências Exatas e Tecnológicas
Ciências Sociais Aplicadas
Educação, Cultura e Sociedade
Saúde

Unidas pela educação

FACULDADE JAGUARIÚNA
FACULDADE MAX PLANCK
www.faj.br • www.facmaxplanck.edu.br

ISSN 1679-8902

Intellectus Revista Acadêmica Digital. Revista científica das seguintes instituições: Faculdade Jaguariúna e Faculdade Max Planck.
Eletrônica
Trimestral
Inclui Bibliografia

Editora Chefe:
Profª. Drª. Ana Maria Girotti Sperandio
Assessora Acadêmica da Faculdade Jaguariúna
Pesquisadora do LABINUR //FEC/UNICAMP

Equipe Técnica
Patrick Pereira
Maria Virginia Rosa
Anderson Augusto Dal'Bó
Equipe de Tecnologia da Informação Faj/Max Planck
Equipe de Marketing Faj/Max Planck

EDITORIAL

Prof. Dr. André Mendeleck

A Revista Intellectus tem por objetivos principais, divulgar textos técnicos e científicos, fomentar a produção de trabalhos acadêmicos em amplo espectro do conhecimento: Ciências Exatas e Tecnológicas, Psicologia, Direito, Educação, Ensino, Saúde, Ciências Sociais, Artes, Cultura e Sociedade, e particularmente, contribuir para a formação profissional dos leitores.

Neste volume da Revista Intellectus são apresentados 6 artigos relacionados às áreas das Engenharias, focando questões relacionadas à modelagem de fluídos, pasta de cimento, ensino de física para engenheiros, produção de pães, automação - estratégia de negócios e instrumentação em atividades físicas.

No primeiro artigo: "IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SPH PARA MODELAGEM DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS - PARTE 1: FORMULAÇÃO E GENERALIDADES DO MÉTODO", os autores apresentam um simulador para o estudo do método SPH- Smoothed Particle Hydrodynamics em aplicações de engenharia, focando a modelagem e a simulação de fluidos e fluido-estrutura, em ambientes com fluidos confinados e de superfície livre.

No terceiro artigo: "UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA NAS ENGENHARIAS COM A UTILIZAÇÃO DE FOTOSENSORES", a Prof.a. Priscila T. Almeida e o Prof. Jorge D. M. C. Pires apresentam uma proposta para o ensino do efeito fotoelétrico para estudantes de engenharia.

No quarto artigo: "AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AMIDO RESISTENTE, INULINA E POLIDEXTROSE APLICADOS EM PÃO DE FORMA", questões relacionadas à engenharia dos alimentos, em especial a produção de pães, são tratadas, realçando a importância da inclusão de fibras na sua composição.

A automação de processos e as tecnologias da informação são utilizados, pelas corporações, como elementos básicos para manter o controle dos processos e manter a competitividade. Contudo, não necessariamente, garantem a efetividade e qualidade das operações. No quinto artigo: "ÍNDICES QUE ANALISAM A AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS", são apresentados os resultados da aplicação

do "modelo de análise de índice de automação" em uma empresa, permitindo avaliar a relação: estrutura corporativa/automação/operação do negócio.

Por fim, no sexto artigo: "DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO FÍSICA DE ATLETAS", são abordadas questões relacionadas à instrumentação para o monitoramento de atletas e sua avaliação física.

O sinal das redes sem fio sofre forte interferência e distorções na presença de elementos artificiais, como paredes de concreto e tijolo, que obstruem a sua transmissão, reduzindo o seu alcance. No segundo artigo: "DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA E DA TANGENTE DE PERDA DA PASTA DE CIMENTO EM FREQUÊNCIAS DE MICROONDAS", são abordadas questões relacionadas à caracterização eletromagnética de pastas de cimento, permitindo a determinação da sua permissividade e seu efeito sobre as ondas de rádio frequência.

O profissional eficiente, ao buscar o seu aprimoramento na diversidade das descobertas, encontrará neste volume da Revista Intellectus, novas ideias e desafios.

IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO SPH PARA MODELAGEM DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS - PARTE 1: FORMULAÇÃO E GENERALIDADES DO MÉTODO

Implementation of the SPH method for fluid flow modelling – part 1: mathematical formulation and method generalities

PATINO-NARINO, Edgar Andrés
Universidade Estadual de Campinas

IDAGAWA, Hugo Sakai
Universidade Estadual de Campinas

FERREIRA, Luiz Otávio Saraiva
Universidade Estadual de Campinas

Resumo: Atualmente, tem-se desenvolvido novas implementações numéricas nos métodos de partículas sem malha, destacando-se o método Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), onde se apresentam importantes aplicações em mecânica dos sólidos e fluidos. Este trabalho pretende abranger a implementação do método SPH na simulação de fluido e fluido-estrutura, e de uma maneira geral propor uma metodologia para sua implementação e a sua validação. Portanto, o principal objetivo deste primeiro artigo de uma serie de dois é apresentar o estudo do método SPH na parte de formulação, modelagem fluido-estrutura e condições de contorno. Desse modo, realizou-se a implementação de um simulador para problemas com duas dimensões para exemplos de fluidos confinados e de superfície livre. Resultados promissórios foram atingidos em exemplos comumente referenciados na literatura como "Shear Driven Cavity", "Dam Break", "Dam Collapse" e o problema de Fourier em transferência de calor. Este apresenta aplicações para a solução de um fluido sob uma geometria definida, em condições de temperatura, velocidade e deslocamento variável usando uma formulação acoplada que emprega as equações conservativas de momento, massa e energia. Além disso, realizou-se a comparação com a literatura de problemas experimentais e de outros modelos, apresentando resultados satisfatórios.

Palavras-chaves: Smoothed Particle Hydrodynamics; Método sem Malha; Interação Fluido-Estrutura.

Abstract: Lately new numerical implementations in meshless particle methods are being developed, highlighting the Smoothed Particle Hydrodynamics method (SPH), which have important applications in mechanics of solids and fluids. This paper is intended to address the implementation of the SPH method in fluid and fluid-structure simulations and also propose a general method for its validation. Therefore, the main objective of this first article in a series of two is to present a study on the formulation of the SPH method, on the fluid-structure modeling and on the boundary conditions. Thus, a simulator for two dimensional problems applied in examples of confined fluids and free surface flow was implemented. Promissory results were achieved in examples commonly

referenced in the literature such as the "Shear Driven Cavity", the "Dam Break", the "Dam Collapse" and the Fourier heat transfer problem. This presents applications for the solution of a fluid under a defined geometry, in conditions of temperature, speed and variable displacement using a coupled formulation that employs the conservative equations of time, mass and energy. Comparison with experimental problems provided in the literature and other models were also performed with satisfactory results.

Keywords: Smoothed Particle Hydrodynamics; Meshfree methods; Fluid-structure interaction.

1. Introdução

A simulação computacional tornou-se uma importante ferramenta para solucionar problemas em engenharia e ciências (LIU; LIU, 2003). Testando e examinando fenômenos físicos, proporcionando uma complexidade física significativa, e ajudando na interpretação e até mesmo na descoberta de novos fenômenos.

Apesar de seu êxito, os métodos baseados em malha apresentam dificuldades que limitam sua aplicação em vários tipos de problemas complexos tais como os de superfícies livres, fronteiras deformáveis, interfaces móveis e deformações extremamente grandes. Além disso, existe também a dificuldade em tempo e custo computacional para se construir uma malha de qualidade para casos com geometrias complexas. Portanto, durante os últimos 20 anos, vários novos métodos de simulação sem malha, baseados em partículas, foram objeto de grande atenção (LI; LIU, 2007; LIU, 2009; LIU; GU, 2005), pois fornecem uma nova alternativa. Entre eles estão principalmente os recentes desenvolvimentos no método sem malha de *Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)* (LIU; LIU, 2003), *os Lattice gas methods (LGM)* (FRISCH; HASSLACHER; POMEAU, 1986), *Dissipative Particle Dynamics (DPD)* (HOOGERBRUGGE et al., 2007), *Moving Least Square (MLS)* (LANCASTER; SALKAUSKAS, 1981), *Moving Least Square Reproducing Kernel Interpolant (MLSRK)* (LIU; LI; BELYTSCHKO, 1996; LI; LIU, 2007) e *Discrete Element Method (DEM)* (CUNDALL; STRACK, 1979).

Um método sem malha baseado em partículas, que é bem-sucedido nas simulações de problemas com fluidos, é o (SPH) (MONAGHAN, 2012). Este foi usado em suas origens em problemas de Astrofísica (MONAGHAN;

PRICE; MONAGHAN, 2005), sendo a metodologia básica do método SPH proposta inicialmente por Lucy (LUCY, 1977) e, Gingold e Monaghan em 1982 (GINGOLD; MONAGHAN, 1982). Atualmente, além dos problemas de astrofísica, foi aplicada com êxito em problemas variados de CFD (GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010; CRESPO et al., 2011) e mecânica dos sólidos (GRAY; MONAGHAN, 2003; SEO; MIN, 2006). Assim, no SPH o fluido é representado por um grupo de partículas que interagem entre elas. As equações de Navier-Stokes são discretizadas e resolvidas nas posições de tais partículas usando um polinômio de interpolação conhecido como kernel. Além de ser um modelo lagrangeano e não ser preciso definir uma malha entre suas partículas é possível aplicar de maneira natural as condições de fronteira, como superfícies livres (MONAGHAN, 1994), interface entre fluidos (SIGALOTTI; LÓPEZ, 2008) e paredes móveis (MÜLLER et al., 2004).

Portanto, as características que tornam o SPH de interesse em mecânica computacional e vantajoso sobre os métodos tradicionais de malha são (LIU; GU, 2005):

- É mais adequado para solucionar problemas com superfície livres, fronteiras deformáveis, interfaces móveis e altas deformações que os métodos tradicionais de malha.
- Por ser o método de partículas sem malha mais antigo, seu desenvolvimento está mais maduro. Devido ao continuo aprimoramento e desenvolvimento, a precisão, estabilidade e adaptabilidade tem atingido níveis aceitáveis para uso em um grande número de problemas práticos, desde microescala a macro escala, e de sistemas discretos a sistemas contínuos.
- Computacionalmente por ser um método sem malha, o armazenamento das propriedades do modelo é menor. Isto ocorre porque as informações são armazenadas apenas nas posições das partículas em vez de armazenar em cada ponto do espaço como acontece com os métodos com malha. Assim, os cálculos são feitos somente quando são necessários e facilita o uso das técnicas de programação massivamente paralela (CRESPO et al., 2011).

Este trabalho faz parte de uma serie de dois artigos, sendo o primeiro intitulado como *Formulação e generalidades do método* e, a sua continuação, como *implementação de fronteiras móveis e periódicas*. Desse modo, neste trabalho pretende-se explicar as diferentes ferramentas para a formulação e a discretização usando SPH, e sua aplicação para a modelagem de fluido, usando as equações de conservação de Navier-Stokes, para o estudo de variáveis tais como velocidade, temperatura e densidade.

Adicionalmente, são apresentadas, de forma geral, as condições de fronteira de superfície livre e de fluido confinado (MONAGHAN, 1989; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010; CRESPO, 2008), além de aprimoramentos no método como correções para o campo de velocidades e para a densidade. Por conseguinte, explica-se a implementação de um simulador para problemas em duas dimensões para exemplos de fluidos confinados e de superfície livre, como os exemplos de *Shear Driven Cavity*, *Dam Break*, *Dam Collapse*, *Shear Driven Cavity*, *Evolution of a circular parch of fluid* e o problema de *Fourier* em transferência de calor (LIU; LIU, 2003; MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005; MONAGHAN, 1992; LIU, 2009).

2. Implementação do simulador

O método SPH foi desenvolvido originalmente para problemas de hidrodinâmica definidos por *Equações Diferenciais Parciais (EDP)* em uma *formulação forte* para as variáveis como densidade, velocidade e energia (LIU; LIU, 2010). Basicamente têm-se dois passos para a obtenção de uma formulação com SPH. O primeiro é a representação usando uma função ou sua derivada de forma contínua, como a representação de uma integral, chamando esta etapa como *Aproximação de função por Kernel* (LIU; LIU, 2003). Esta aproximação se baseia na avaliação de uma função de peso (ou *função de Kernel*) e suas derivadas como em outros métodos numéricos, sendo mais bem conhecida em SPH como *Função suave do Kernel* (HONGBIN; XIN, 2005). O segundo passo refere-se geralmente como *Aproximação por Partículas*. Neste passo o domínio computacional é discretizado empregando a representação de um conjunto de partículas (nós) distribuídas que representam a configuração do problema (LIU; LIU, 2010; LIU; LIU, 2003). Dessa forma, a discretização das

variáveis na partícula é aproximada pela soma dos valores sobre as partículas vizinhas mais próximas.

2.1. Aproximação de função por Kernel

A aproximação por Kernel consiste de uma função e suas derivadas através de uma função suave (FS) (conhecida também como Kernel, Kernel suavizada ou função de peso (MONAGHAN, 2012; LIU, 2009)). Para a aproximação utiliza-se a identidade da Equação 1, sendo f a função do vetor posição x, Ω o domínio ou volume da integral que contem x, x' a posição vetorial de qualquer outro ponto definido dentro de Ω e $\delta(x-x')$ a função delta de *Dirac* definida na Equação 2.

$$f(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} f(\mathbf{x}')\delta\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}'\right)d\mathbf{x}' \tag{1}$$

$$\delta(\mathbf{x}-\mathbf{x}') = \begin{cases} 1 & \mathbf{x}=\mathbf{x}' \\ 0 & \mathbf{x}\neq\mathbf{x}' \end{cases} \tag{2}$$

A Equação 1 indica que uma função pode ser representada de uma forma integral (MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005). Considerando que a função de delta de *Dirac* é usada, a representação da integral da Equação 2 é exata, se e somente se f for definida e contínua em Ω (LIU, 2009).

Porém, o delta de Dirac é uma função generalizada que carece de propriedades de continuidade e diferenciabilidade (LIU; LIU, 2003), e não pode ser empregada para modelos discretizados numericamente (LIU; LIU, 2010). Portanto, para conservar as propriedades desejadas da função de *Dirac*, o $\delta(x-x')$ é substituído por uma *FS* $W(x-x',h)$ dependente da distância entre o elemento localizado em x e qualquer outro elemento localizado em x', imitando as características fundamentais da função delta de *Dirac*. Assim, a Aproximação por Kernel de $f(x)$ se torna a Equação 3.

$$\left\langle f(\mathbf{x})\right\rangle = \int_{\Omega} f(\mathbf{x}')W\left(\mathbf{x}-\mathbf{x}',h\right)d\mathbf{x}' \tag{3}$$

Na Equação 3, h é o comprimento suavizado que define a área efetiva da *FS* $W(x-x',h)$, e os colchetes $\left\langle\ \right\rangle$ indicam a *Aproximação por Kernel* (FULK, 1994). Desta forma, embora $W(x-x',h)$ não seja a função de *Dirac*, a

representação da integral em 3, excetuando casos especiais, será uma aproximação (LIU; LIU, 2003; LIU; LIU, 2010).

2.2. Aproximação das derivadas por Kernel

Através do uso da Equação 4, pode-se obter uma aproximação para a divergência da função $f(x)$ inserindo a Equação 3 no operador $\nabla \cdot f(\mathbf{x})$.

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = \int_{\Omega} \nabla \cdot f(\mathbf{x}') W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) d\mathbf{x}' \quad (4)$$

Desta forma, a divergência na integral 4 é modificada com respeito ao primeiro termo como na Equação 5.

$$\nabla \cdot f(\mathbf{x}') W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) = \nabla \cdot \left(f(\mathbf{x}') W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right)\right) - f(\mathbf{x}') \nabla \cdot W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) \quad (5)$$

Usando a Equação 5 em 4, obtém-se a Equação 6:

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = \int_{\Omega} \left[\nabla \cdot \left(f(\mathbf{x}') W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right)\right) - f(\mathbf{x}') \nabla \cdot W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right)\right] d\mathbf{x}' \quad (6)$$

Na primeira integral no lado direito da Equação 6 emprega-se o *Teorema da Divergência* (LIU; LIU, 2003) para transformá-la em uma integral sobre a superfície S do domínio de integração Ω (Equação 7), sendo n o vetor normal unitário sobre S.

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = \int_{S} f(\mathbf{x}') W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) \cdot \mathbf{n} \, dS - \int_{\Omega} f(\mathbf{x}') \nabla \cdot W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) d\mathbf{x}' \quad (7)$$

A FS definida pela propriedade de *Suporte Compacto* (LIU; LIU, 2003), a integral na superfície de $W(x - x', h)$ na Equação 7 do lado direito deverá tender a zero. Portanto, a *aproximação de Kernel* pode ser formulada como a Equação 8 (VIGNJEVIC et al., 2009).

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = -\int_{\Omega} f(\mathbf{x}') \nabla \cdot W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) d\mathbf{x}' \quad (8)$$

2.3. Aproximação por partícula

No método SPH o sistema inteiro é representado por um número finito de partículas que transformam a massa e ocupam um espaço individual (LIU; LIU, 2010). A representação SPH das integrais na aproximação por kernel (nas Equações 3 e 8) torna-se, na forma discreta, em uma somatória sobre todas as partículas no domínio efetivo da partícula *i* e as partículas vizinhas mais próximas *j*. Este domínio que contem as partículas vizinhas de *i* é chamado de

domínio de suporte, como se observa na Figura 1 (LIU; LIU, 2010). Assim, o processo de discretização de somatória de partículas é conhecido comumente na literatura de SPH como *Aproximação por Partículas* (FULK, 1994; LIU; LIU, 2003).

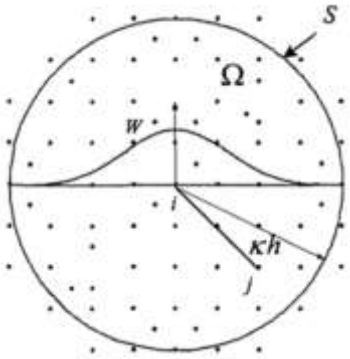


Figura 1: Representação do domínio Ω através de partículas. Observa-se o domínio de suporte da partícula *i* e a FS (W) (LIU; LIU, 2010). Sendo *h* o comprimento suave e κ o fator de extensão da função Kernel.

O volume infinitesimal dx' nas integrais das Equações 3 e 8 é substituído pelo volume finito da partícula j^{th} que é identificado como ΔV_j, este é relacionado com a massa (m_j) conforme a Equação 9.

$$\Delta V_j = \frac{m_j}{\rho_j} \tag{9}$$

Na Equação 9, ρ_j é a densidade da partícula *j* (para *j* = 1, 2, 3, ...N, onde N é igual ao número de partículas dentro do domínio de suporte da partícula *i*).

A Aproximação de Kernel representada na Equação 3 pode ser formulada usando uma discretização por *Aproximação por Partícula* como na Equação 10 (LIU; LIU, 2010).

$$\left\langle f(\mathbf{x}) \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) \tag{10}$$

Assim, a *Aproximação por Partícula* para uma função na partícula *i* pode finalmente ser formulada segundo a Equação 11:

$$\left\langle f(\mathbf{x}_i) \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) W_{ij} \tag{11}$$

Sendo,

$$W_{ij} = W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) \tag{12}$$

A Equação 11 indica que o valor de uma função na partícula *i* é a aproximação média dos valores das funções em todas as partículas no domínio de suporte de *i* ponderada pela FS.

Mantendo-se os mesmos princípios para a aproximação da função derivada (Equação 8), é possível obter a discretização apresentada pela Equação 13.

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = -\sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) \cdot \nabla W\left(\mathbf{x} - \mathbf{x}', h\right) \tag{13}$$

Sendo o gradiente ∇W da Equação 13 calculado com respeito à partícula *j*. Assim, a *Aproximação por Partícula* para uma função na partícula *i* pode finalmente ser formulada como na Equação 14.

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}) \right\rangle = -\sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) \cdot \nabla_j W_{ij} \tag{14}$$

Para a Equação 14 o gradiente ∇_j em coordenadas cartesianas é igual ao apresentado pela Equação 15.

$$\nabla_j = \frac{\mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i}{\| \mathbf{x}_j - \mathbf{x}_i \|} \tag{15}$$

A Equação 14 indica que os valores do divergente de uma função na partícula *i* é a aproximação da média dos valores da divergência das funções em todas as partículas no domínio de suporte de *i* ponderada pela FS. Além disso, para a aproximação da derivada de uma função, definida em um sistema cartesiano, pode-se transformar o gradiente na partícula *j* $\left(\nabla_j\right)$ em função do gradiente na partícula *i* $\left(\nabla_j = -\nabla_i\right)$. Assim, a Equação 13 pode ser reescrita em função do gradiente na partícula *j* $\left(\nabla_j\right)$ conforme a Equação 16.

$$\left\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}_i) \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) \cdot \nabla_i W_{ij} \tag{16}$$

2.4. Algumas técnicas de derivação para a formulação SPH

O método SPH é usado para aproximar a *formulação forte* das EDP, a chave do método SPH está na forma de aproximar as derivadas. Porém, existem diferentes maneiras de aproximar derivadas com a formulação SPH para EDP (LIU; LIU, 2003). Por exemplo, Benz utiliza um enfoque para a aproximação nas derivadas das EDP que multiplica cada termo com a FS e faz a integração do volume com o emprego da integração por partes e a expansão por série de Taylor (BENZ; ASPHAUG, 1995). Por outro lado, Monaghan usa uma abordagem simples aplicando diretamente as equações 11 e 16 (MONAGHAN, 1992), que será o procedimento a ser adotado neste trabalho.

A primeira aproximação do método SPH sem nenhum tratamento especial seria usando diretamente a Equação 16, mas esta aproximação geralmente não é exata e resulta em problemas na conservação do sistema (MONAGHAN, 1992, LI; LIU, 2007). Entretanto, usando esta aproximação (Equação 16) e a identidade do operador divergente, obtém-se a Equação 17.

$$\nabla \cdot f(\mathbf{x})\mathbf{1} = \nabla \cdot \big(f(\mathbf{x})\mathbf{1} \big) - f(\mathbf{x}) \cdot \nabla \mathbf{1}$$

$$\Big\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}_i) \Big\rangle = \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} f(\mathbf{x}_j) \cdot \nabla_i W_{ij} - f(\mathbf{x}_i) \cdot \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} \nabla_i W_{ij} \tag{17}$$

Adicionalmente, usando a condição de normalização da FS (MONAGHAN, 1992, LI; LIU, 2007), o lado direito da Equação 17 pode ser considerado nulo, como é apresentado na Equação 18.

$$\sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} \nabla_i W_{ij} = \nabla_i \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} W_{ij} = \nabla_i (\mathbf{1}) = 0 \tag{18}$$

A literatura sugere que a aproximação na Equação 17 apresenta melhores resultados em comparação com a Equação 16 (LIU; LIU, 2010; MONAGHAN, 2012). Portanto, a aproximação por partícula da Equação 17 resulta na Equação 19.

$$\Big\langle \nabla \cdot f(\mathbf{x}_i) \Big\rangle = \sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j} \Big[f(\mathbf{x}_j) - f(\mathbf{x}_i) \Big] \cdot \nabla_i W_{ij} \tag{19}$$

Dessa maneira, a melhora na Equação 19, acontece quando alguma partícula está com seu *domínio de suporte* parcialmente cheio de partículas

vizinhas, tornando a parte $-f(\mathbf{x}_i)\cdot\sum_{j=1}^{N}\frac{m_j}{\rho_j}\nabla_i W_{ij}$ um complemento para a integração do domínio total da função discreta.

2.5. Equações de conservação para fluidos usando SPH

O método SPH não é somente um sistema de interpolação, mas também proporciona um conjunto de formas de aproximação, por meio de sua discretização, para as equações da mecânica dos meios contínuos (MONAGHAN, 2012). Assume-se para o método SPH que o fluido possui uma baixa compressibilidade ($\nabla\cdot\mathbf{v}\approx 0$), sendo possível obter a solução das equações de *Navier-Stokes* em uma formulação Lagrangeana totalmente explícita, com a ajuda de uma equação de estado para a relação entre pressão e densidade (KHORASANIZADE; SOUSA, 2014; MORRIS; FOX; ZHU, 1997).

2.5.1. Conservação de massa

Para a conservação da massa usa-se a Equação 20, que discretiza o critério da aproximação da Equação 19. Portanto, a densidade é discretizada como a Equação 21.

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho\left(\nabla\cdot\mathbf{v}\right) \tag{20}$$

$$\left\langle\frac{d\rho_i}{dt}\right\rangle = \rho_i\sum_{j=1}^{N}\frac{m_j}{\rho_j}\left(\mathbf{v}_i-\mathbf{v}_j\right)\cdot\nabla W_{ij} \tag{21}$$

Nas Equações 20 e 21, ρ é a densidade, v o vetor de velocidades (onde se define $\mathbf{v}=d\mathbf{x}/dt$) e t é o tempo. A Equação 21 é sem dúvida a mais usada para a continuidade de massa em problemas de mecânica dos sólidos e fluidos (BENZ; ASPHAUG, 1995; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010).

A variável densidade pode ser discretizada como uma função, a partir da Equação 10, resultando na Equação 22. Esse tipo de discretização para a massa é realizada quando os problemas não apresentam mudanças consideráveis na densidade e o material é considerado quase incompressível (RANDLES; LIBERSKY, 1996; MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005).

$$\left\langle \rho_i \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} m_j W_{ij} \tag{22}$$

2.5.2. Equação de conservação de momento

A equação de conservação de momento nos meios contínuos é definida pela Equação 23.

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{1}{\rho}(\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + F \tag{23}$$

Assim, para a Equação 23, $\boldsymbol{\sigma}$ é o tensor de tensões, $\mathbf{F}$ é o campo de forças externas, e $\mathbf{P}$ e μ são a pressão e a viscosidade respectivamente. No entanto, a equação de momento possui várias formas de se discretizar em relação ao termo de viscosidade ($\mu \nabla^2 \mathbf{v}$). A discretização da equação de momento tem sido extensamente estudada especialmente na implementação *Weakly Compressible SPH* (WCSPH) (MIHAI BASA, NATHAN J. QUINLAN, 2008). Portanto, num estudo recentemente realizado por Shahriari (SHAHRIARI; HASSAN; KADEM, 2013), com diferentes abordagens no contexto da formulação de SPH para o momento, mostra que a melhor formulação é a proposta por Morris em (MORRIS; FOX; ZHU, 1997). Com base nisto, considera-se a discretização para a equação de momento como a Equação 24 (XU; STANSBY; LAURENCE, 2009).

$$\left\langle \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} m_j \left\{ \left(\frac{\mathbf{P}_j}{\rho_j^2} + \frac{\mathbf{P}_i}{\rho_i^2} \right) \nabla W_{ij} + \left(\frac{\mu_i + \mu_j}{\rho_i \rho_j} \frac{\mathbf{r}_{ij} \cdot \nabla W_{ij}}{r_{ij}^2 + 0,01 h_i^2} \right) \mathbf{v}_{ij} \right\} + \mathbf{F} \tag{24}$$

O tensor $\boldsymbol{\sigma}$ da Equação 23 é composto por um termo de esforço esférico definido pelo gradiente de pressão $\left(-\frac{\nabla P}{\rho} \right)$. Foram utilizadas as equações de estado para fluidos com baixo Reynolds usados por Morris (MORRIS; FOX; ZHU, 1997; LI; LIU, 2002) conforme apresentado na Equação 25 e a equação de Tait (MONAGHAN, 1994) para aplicação de fluido livre conforme a Equação 26.

$$P = c^2 \rho \tag{25}$$

$$P = B_f \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\gamma} - 1 \right] \tag{26}$$

Para as Equações 25 e 26, c é a velocidade do som, $B_f = \frac{c^2 \rho_0}{\gamma}$, γ é uma constante geralmente com valor igual a 7 e ρ_0 é a densidade inicial de referência do fluido.

2.5.3. Equação de conservação de energia

A energia relacionada a cada partícula é calculada a partir da Equação 27. Consegue-se a discretização da energia usando SPH (Equação 28), uma formulação que reúne as discretizações mais usadas nas aplicações em SPH (LI; LIU, 2007; LIU, 2009).

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{\rho}\boldsymbol{\sigma} : \nabla^s \mathbf{v} - \dot{Q} = \frac{1}{\rho}\boldsymbol{\sigma} : \left[\frac{1}{2}\left(\mathbf{v} \otimes \nabla + \nabla \otimes \mathbf{v}\right)\right] - \dot{Q} \tag{27}$$

$$\left\langle \frac{dE_i}{dt} \right\rangle = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{N} m_j \left(\frac{\boldsymbol{\sigma}_j}{\rho_j^2} + \frac{\boldsymbol{\sigma}_i}{\rho_i^2} \right) : \left[\left(\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i\right) \otimes \nabla W_{ij} + \nabla W_{ij} \otimes \left(\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i\right) \right] + \dot{Q}_{ij} \tag{28}$$

Para as equações 27 e 28, *E* é a energia, $\dot{Q}$ é o fluxo de calor e o operador ∇^s é o gradiente simétrico, sendo definido como $\nabla^s(\bullet) = \frac{1}{2}\left[(\bullet) \otimes \nabla + \nabla \otimes (\bullet)\right]$.

Para o termo de fluxo de calor entre as partículas, utiliza-se a forma convectiva para a equação de condutividade de calor dada pela Equação 29 (MONAGHAN, 2012). Desta maneira, a discretização que se emprega neste trabalho é a proposta por P.W. Cleary e J.J Monaghan no ano de 1999 (CLEARY; MONAGHAN, 1999), apresentada na Equação 30 (MONAGHAN, 2012; MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005).

$$\dot{Q} = \frac{1}{\rho}\nabla\left(K \nabla T\right) \tag{29}$$

$$\left\langle \dot{Q}_{ij} \right\rangle = \sum_{j=1}^{N} 4 \frac{m_j}{\rho_i \rho_j} \left(\frac{K_i K_j}{K_i + K_j} \right) \left(\frac{T_i - T_j}{\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{r}_{ij}} \right) \left(\mathbf{r}_{ij} \cdot \nabla W_{ij} \right) \tag{30}$$

$$\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j \tag{31}$$

Nas Equações 29 e 30, *K* é a condutividade térmica do material, $\mathbf{r}_{ij}$ é o vetor distância entre partículas (Equação 31) e *T* é a temperatura.

2.6. Correções para o método SPH

As correções do método SPH são usadas para melhorar primordialmente erros de aproximação no comportamento da FS (W_{ij}) quando algumas das condições de SPH não são completamente satisfeitas (MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005), principalmente devido à natureza do Kernel (HONGBIN; XIN, 2005), ou quando o domínio de suporte não está completamente cheio de partículas, ou então, quando não se atingem as condições de *Normalização* e de *Domínio compacto* (LIU; GU, 2005).

As correções mais frequentes são as correções no movimento da partícula no tempo (MONAGHAN, 1989), reinicialização da densidade (LIU; GU, 2005; DILTS, 1999) e reinicialização da função gradiente no Kernel (JOHNSON; STRYK; BEISSEL, 1996) e tratamento das tensões desestabilizadoras (GRAY; MONAGHAN, 2003; MONAGHAN, 2000).

2.6.1. Correção de pressão usando Viscosidade Artificial

A correção por viscosidade artificial é usada para compensar as oscilações não físicas nas respostas numéricas da pressão, aprimorando a difusão nos fluidos e a dissipação de energia (LIU; GU, 2005; LIU; LIU, 2010; MONAGHAN, 2000). É muito utilizada por sua facilidade em problemas com fluidos (MONAGHAN; KOS, 2000; LIU; LIU, 2010) e sólidos (RANDLES; LIBERSKY, 1996). Pode-se considerar a primeira aproximação para as tensões desestabilizadoras, mas que é usada para outros fins (MONAGHAN, 2012; JOHNSON, 1996).

2.6.2. Correção do movimento nas partículas

Para a correção do movimento nas partículas usa-se a correção proposta por Monaghan, chamada de XSPH (1989). O XSPH recalcula o campo de velocidade da partícula fazendo uma média entre todas as partículas

vizinhas no domínio de suporte (MONAGHAN; KOS, 2000; LIU; GU, 2005). Assim, para a Equação 32, e é uma constante entre 0,25 e 0,5.

$$\mathbf{v} = \mathbf{v} + e\sum_{j=1}^{N} \frac{m_j}{\rho_j}\left(\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i\right)W_{ij} \tag{32}$$

A velocidade recalculada $\mathbf{v}$ utilizando XSPH é usada para problemas que apresentam altas velocidades de deformação tanto para fluidos (MONAGHAN; KOS, 1999) como para sólidos (GRAY; MONAGHAN; SWIFT, 2001; BENZ; ASPHAUG, 1995).

2.6.3. Reinicialização da densidade

No método SPH o comportamento da variável densidade apresenta grandes oscilações (LIU; GU, 2005). Portanto, utilizam-se correções para a reinicialização da FS para a densidade (VIGNJEVIC et al., 2009), pois tem uma dupla função como variável de formulação nas EDP de conservação e conforma o material discreto do fenômeno (LIU; GU, 2005; VIGNJEVIC et al., 2009). Para este trabalho se usa o método de Shepard (LI; LIU, 2007; LIU; GU, 2005).

Shepard: O filtro de *Shepard* é uma correção simples do campo de densidades, que é uma reinicialização de grau zero para a FS, sendo aplicado em determinados intervalos de tempo, neste trabalho ele foi utilizado a cada 30 passos (LI; LIU, 2007; LIU; LIU, 2010; LIU; LIU, 2003).

3. Condições iniciais

Para o método SPH algumas condições são muito importantes no início das simulações, como a posição, o comprimento suave inicial (h_i) e a massa.

Para o posicionamento inicial das partículas foi utilizado o software livre de geração de malhas GMSH, onde os nós da malha foram utilizados como as partículas discretas no espaço. Inicialmente, as partículas no domínio são distribuídas de forma quadrada (MONAGHAN; KOS, 2000).

O comprimento suave inicial é obtido da relação da separação inicial entre as partículas (Δx), neste trabalho ele foi definido pela Equação 33

(MONAGHAN, 1989; LIU;LIU, 2003; MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005).

$$h_i = 1,3\,3\,3\Delta x \tag{33}$$

Assim, a massa inicial em cada partícula nos problemas é determinado em função da densidade (i), a separação inicial entre partículas e a dimensão (d), como mostra-se na Equação 34.

$$m_i = \rho_i \left(\Delta x\right)^d \tag{34}$$

4. Condições de fronteira de parede sólida

Para impor as condições de fronteiras neste trabalho realizou-se uma mistura entre os métodos de *partículas Virtuais* (CRESPO, 2008; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010) e de *Repulsão* (MONAGHAN, 2012; LIU; LIU, 2003). O método consiste em colocar na fronteira uma parede de partículas virtuais com as propriedades das duas condições de fronteira, utilizando uma separação entre elas igual à metade da separação entre as partículas reais $\left(\Delta p = \frac{\Delta x}{2}\right)$. Assim, assegura-se um domínio de suporte mais completo e melhores condições quando uma partícula se aproxima e interage com a fronteira.

As Repulsivas na fronteira são usadas para evitar que as partículas reais (partícula do fluido) penetrem a fronteira (LIU; LIU, 2003; MONAGHAN, 2012). Existem maneiras muito reconhecidas de se utilizar este tipo de fronteira, porém é amplamente utilizado o método proposto por Monaghan (MONAGHAN, 2012; MONAGHAN; PRICE; MONAGHAN, 2005), que propõe a função de força $B\left(r_{ij}^T, r_{ij}^N\right)$ como apresentado pela Equação 35.

$$B\left(r_{ij}^N, r_{ij}^T\right) = \Gamma\left(r_{ij}^N\right)\chi\left(r_{ij}^T\right) \tag{35}$$

A componente $\chi\left(r_{ij}^T\right)$ da Equação 35 é definida pela Equação 36, onde Δp é o espaçamento entre as partículas na fronteira e r_{ij}^T é a distância tangencial entra a partícula e a fronteira. Desse modo, este parâmetro garante que as partículas que se deslocam perto da fronteira sejam atingidas por uma

força de repulsão na direção tangencial, evitando assim, a sua penetração (MONAGHAN, 2012).

$$\chi\left(r_{ij}^{T}\right)=\begin{cases}\left(1-\dfrac{r_{ij}^{T}}{\Delta p}\right) & \text{Se} \quad < \dfrac{r_0}{r_{ij}} < \Delta x \\ \\ 0 & \text{Caso contrário}\end{cases} \tag{36}$$

O parâmetro $\Gamma\left(r_{ij}^{N}\right)$ da Equação 35 é definido pela Equação 37, o qual é baseado no gradiente do kernel da função *B-Spline*, sendo r_{ij}^{N} a distância normal e $q_N=\dfrac{r_{ij}^{N}}{h}$. Assim, Γ é a parte na direção normal da força repulsiva.

$$\Gamma\left(r_{ij}^{N}\right)=\frac{0,02c}{r_{ij}^{N}}\begin{cases}\dfrac{2}{3} & 0\le q_N<\dfrac{2}{3} \\ \\ -2q_N+\dfrac{3}{2}q_N^{2} & \dfrac{2}{3}\le q_N<1 \\ \\ \dfrac{1}{2}\left(2-q_N\right)^{2} & 1\le q_N<2 \\ \\ 0 & 2\le q\end{cases} \tag{37}$$

Este método apresenta problemas ao gerar oscilações nas partículas que ficam perto da fronteira em variáveis como a densidade e a velocidade (FELDMAN; BONET, 2007; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010), mas é muito eficiente para evitar a penetração por parte das partículas reais. Assim, a força *Repulsiva B* é adicionada nas equações de continuidade na força externa (***F***) da Equação 24.

Em contrapartida, as partículas Virtuais são levadas em conta na somatória das partículas reais nas equações de continuidade e de estado, mas suas posições são fixadas ou mudam com relação a imposições externas (CRESPO, 2008; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010). Uma vantagem interessante deste método de fronteira é a sua simplicidade na parte

computacional, pois os cálculos podem ser realizados dentro das iterações do programa para as partículas reais sem a necessidade de criar novas sub-rotinas (CRESPO, 2008; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010; LI; LIU, 2007).

Este método apresenta bons resultados físicos no comportamento da distribuição das variáveis como velocidade e densidade quando estão próximas com a fronteira. Porém, a condição de fronteira de partículas Virtuais apresenta problemas de penetração, geralmente nos problemas com alta velocidade de deformação (CRESPO, 2008; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010). Assim, ao combinar a fronteira de parede rígida de Partículas Virtuais com as partículas Repulsivas obtém-se como resultado uma boa alternativa de complementaridade.

5. Validação do simulador

Esta parte do trabalho foi desenvolvida para a validação do simulador SPH proposto neste trabalho (JOHNSON; STRYK; BEISSEL, 1996). Assim, apresentam-se os resultados de problemas amplamente referenciados em problemas de mecânica de fluidos tais como *Shear Driven Cavity* e Problema de *Fourier* (LIU, 2009; KHORASANIZADE; SOUSA, 2014; LIU; LIU, 2003; XU; STANSBY; LAURENCE, 2009) e *Dam Break*, *Dam Collapse* e *Evolution of a circular parch of fluid* (LIU, 2009; CRESPO et al., 2011; GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010).

5.1. Shear Driven Cavity

Para o problema de *Shear Driven Cavity* se empregam os parâmetros que aproximam o comportamento das partículas de um fluido, representado por 1600 partículas em um quadrado de 1x1 mm. Utiliza-se a equação de estado de Morris (Equação 25), as equações de conservação de densidade (Equação 21), de momento (Equação 24) e de energia (Equação 28). As propriedades iniciais do fluido são semelhantes à água são: $\rho_0 = 10^3\ \mathrm{kg/m^3}$, $c = 0,01\ \mathrm{m/s}$, $\mu = 0,001\ \mathrm{Pa \cdot s}$, calor específico $C_v = 4181,3 \mathrm{J/kg \cdot ^oC}$ e $K = 0,58 \mathrm{W/m \cdot ^oC}$. Estas propriedades serão mantidas para os demais exemplos, apenas variando no caso c.

O problema *Shear Driven Cavity* foi simulado com base na **Figura 2**a, onde se apresenta o caso de uma velocidade cortante (V_s) constante na fronteira superior igual a 10^{-3} m/s. Pretende-se que o fluido atinja um estado estável no fluxo. Na **Figura 2**b mostra-se o estado estacionário do problema com as linhas de fluxo, onde é possível observar o caminho percorrido das partículas com o passar do tempo, neste caso t=0,21s. É evidente a formação do vórtice gerado pelas condições de fronteira, que coincide com as distribuições de outros modelos realizados com SPH (GOMEZ-GESTEIRA et al., 2010; LIU; LIU, 2003; KHORASANIZADE; SOUSA, 2014; XU; STANSBY; LAURENCE, 2009). Assim, conseguiram-se resultados concordantes com a literatura.

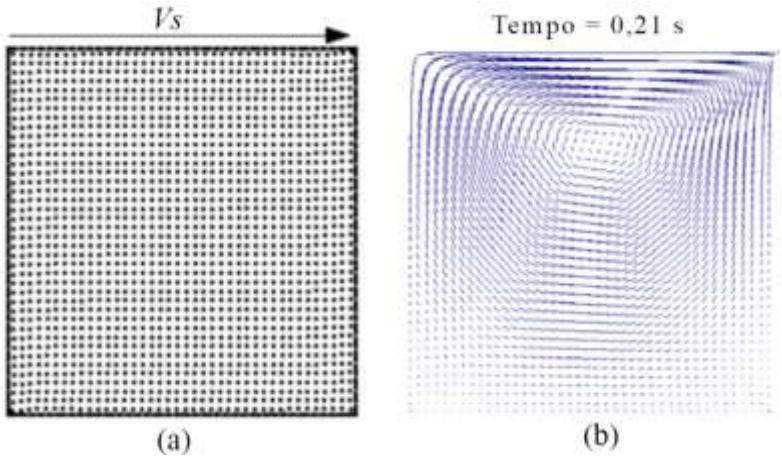


Figura 2: Esquema do problema de Shear Driven Cavity. (a) Condições iniciais com velocidade cortante (V_s) constante na parede superior igual a 10^{-3} m/s; (b) Linhas de fluxo para um tempo igual a 0,21 s.

5.2. Problema de Fourier

Problemas com condução de calor usando uma distribuição de partículas igual ao problema de *Shear Driven Cavity* (Figura 2) onde se realiza a verificação da condução de energia (Equação 29) para o problema de Fourier. Portanto, dois exemplos com condução de calor foram simulados, segundo as condições da Figura 3. A Figura 4 mostra os dois casos para problemas com condução de calor com as condições da Figura 3, onde se pode perceber a evolução no tempo da condução de calor, sendo coerente com o que se espera neste tipo de problema (MONAGHAN, 2012).

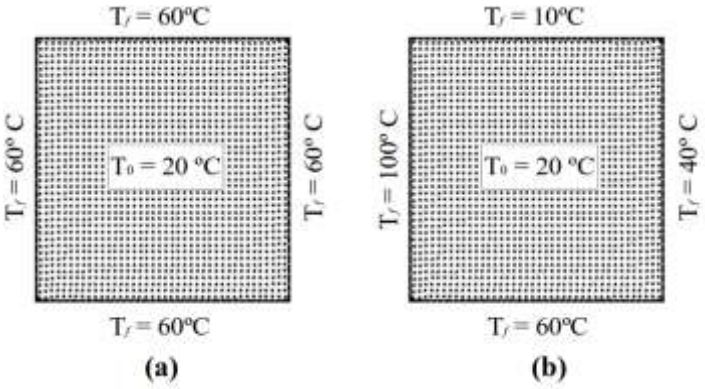


Figura 3: Condições iniciais de temperatura para os problemas com condução de calor. (a) Problema onde as paredes das fronteiras tem uma temperatura constante de 60ºC. (b) Exemplo onde cada fronteira possui uma temperatura diferente.

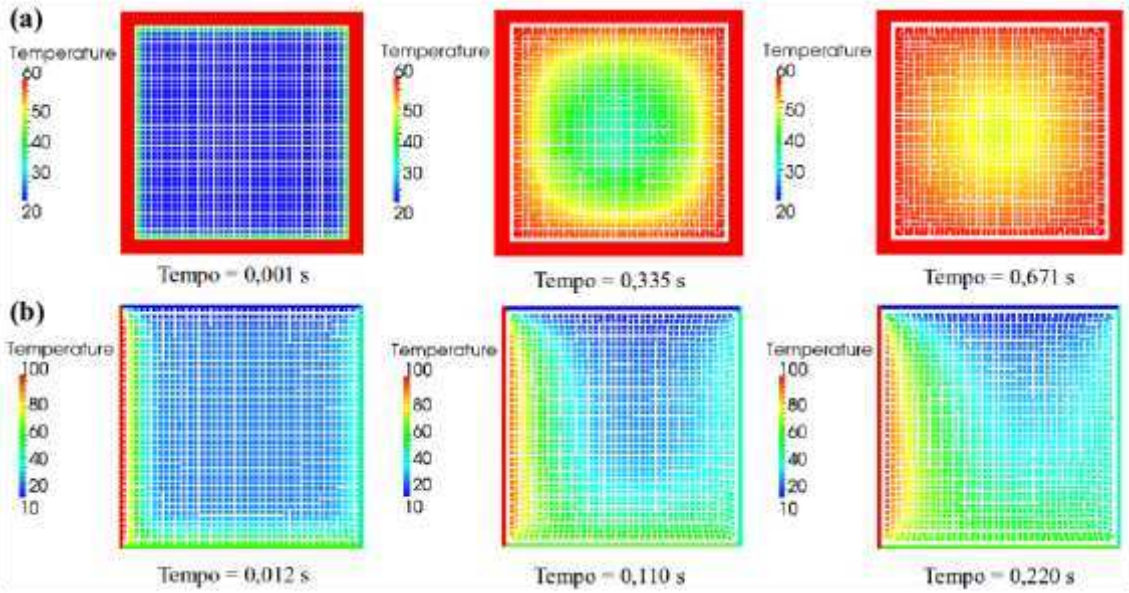


Figura 4: Evolução na temperatura para os problemas com condução de calor.

5.3. Dam Break

Para o problema de Dam Break se emprega as condições iniciais de uma coluna de 1x2 m formada por 1700 partículas com as propriedades da água em um cubo de 4x4 m como na Figura 5. Neste exemplo utilizou-se $c = 22\ \mathrm{m/s}$ e a aceleração da gravidade está na direção negativa de y, com $g = 9,81\ \mathrm{m/s^2}$, sendo aplicada de forma constante sobre todas as partículas da coluna de água. Foram utilizadas as equações de continuidade e a equação

de estado de Tait (Equação 26). A densidade inicial do fluido é definida pela Equação 38 para adicionar os efeitos iniciais do fluxo de gravidade ao problema.

$$\rho_i = \rho_0 \left(\frac{g(H - y_i)\gamma}{c^2} \right) \tag{38}$$

Na Equação 38, *H* é a altura máxima da coluna de água (2 m), $\rho_0 = 10^3 \, \mathrm{kg/m^3}$ e y_i é a distância inicial no eixo y da partícula i^{th}.

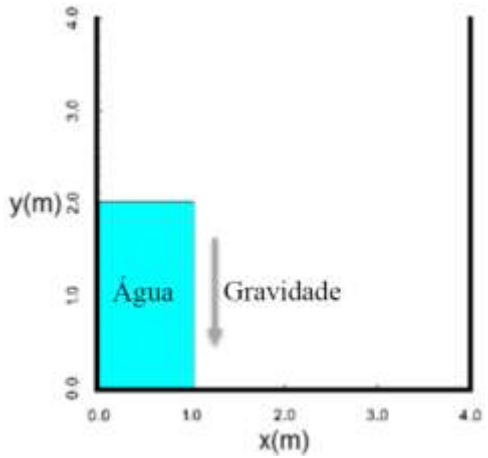


Figura 5: Condições iniciais para o problema de Dam Break.

Na Figura 6 observa-se o valor da velocidade em x das partículas em diferentes instantes de tempo, para um tempo total de simulação igual a 6,2s. Na Figura 7 é apresentada a variável de pressão nas partículas em diferentes instantes de tempo, para o mesmo tempo total de simulação de 6,2s. Pode-se notar que as distribuições das variáveis de velocidade e pressão são similares aos encontrados na bibliografia para esses tipos de problemas de CFD nos instantes iniciais de simulação (MONAGHAN; KOS, 1999; LIU; LIU, 2010; LIU, 2009).

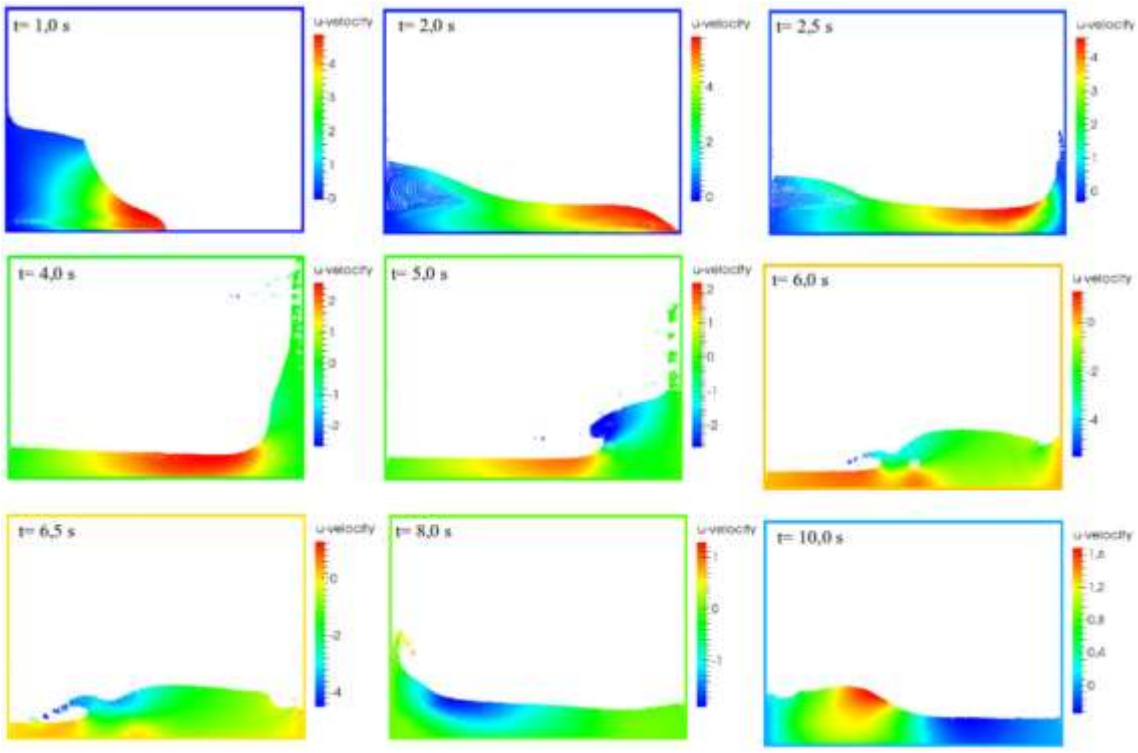


Figura 6: Distribuição da velocidade no eixo x das partículas para o problema de Dam Break.

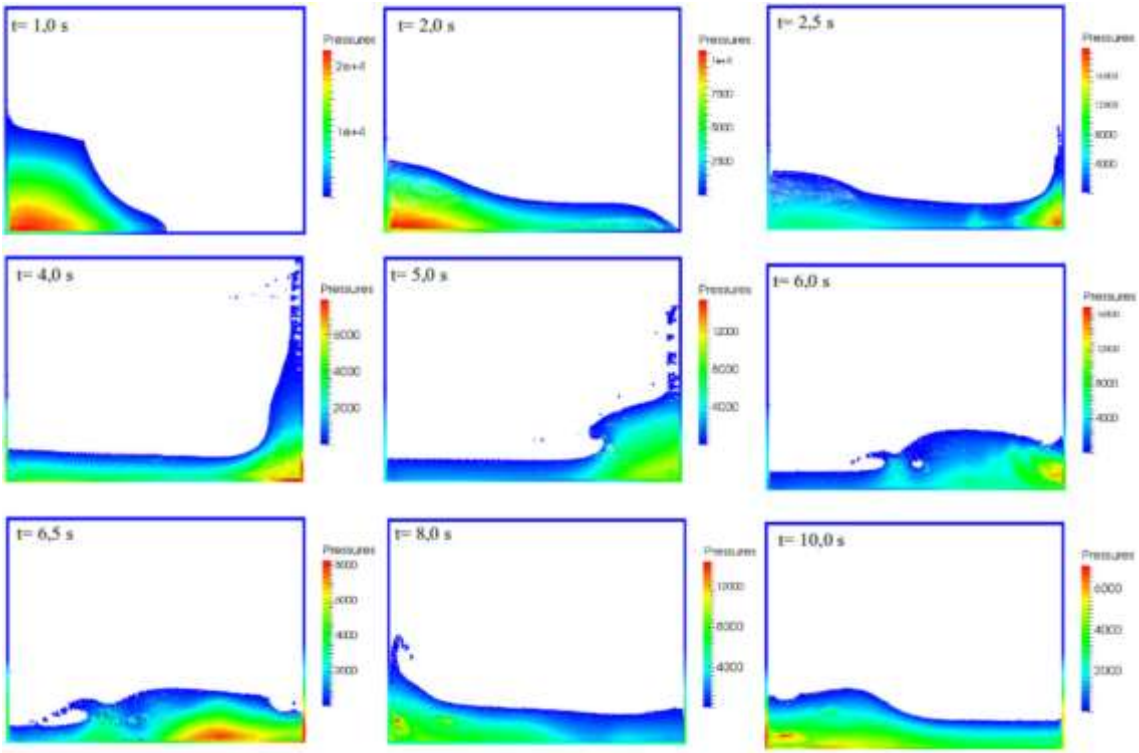


Figura 7: Distribuição de pressão nas partículas para o problema de Dam Break.

5.3.1. Dam Collapse

Problema onde uma coluna de fluido com caraterísticas semelhantes à água e c igual a 45 m/s, começa fluir devido à influência da gravidade. A Figura 8 apresenta a distribuição inicial da simulação. Na Figura 9 observa-se o escoamento do fluido em diferentes instantes de tempo para os campos de pressão e velocidade, sendo semelhantes aos resultados obtidos nos trabalhos de Monaghan (MONAGHAN, 1992) e Liu (LIU; LIU, 2003; LIU, 2009).

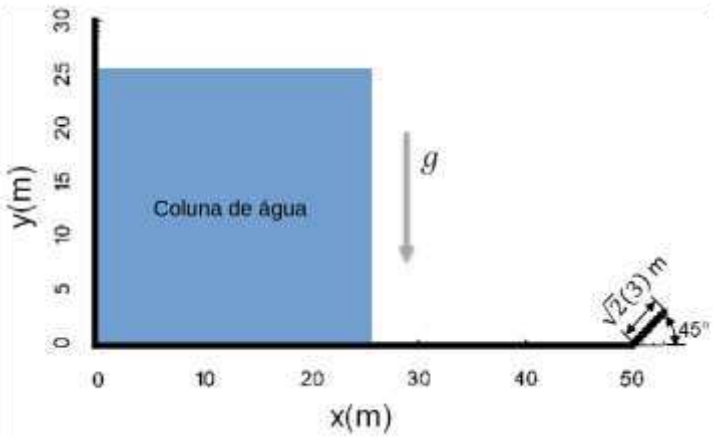


Figura 8: Distribuição inicial para o problema de Dam Collapse.

A Tabela 1 apresenta os resultados tanto de suas simulações como de valores experimentais do trabalho realizado por Monaghan (MONAGHAN, 1992) e também apresentado por Liu em seus livros (LIU; LIU, 2003; LIU, 2009), sendo comparados com os resultados do simulador proposto neste trabalho. Pode-se observar na Tabela 1 a característica geral de valores aproximados no passo de tempo para a largura (H), entre a experimentação (Exp) e as duas simulações. No caso da altura (Z), a simulação proposta neste trabalho, apresenta valores mais próximos aos valores experimentais do que os obtidos na simulação de Monaghan, porém, esses dados não são tão precisos como os da largura.

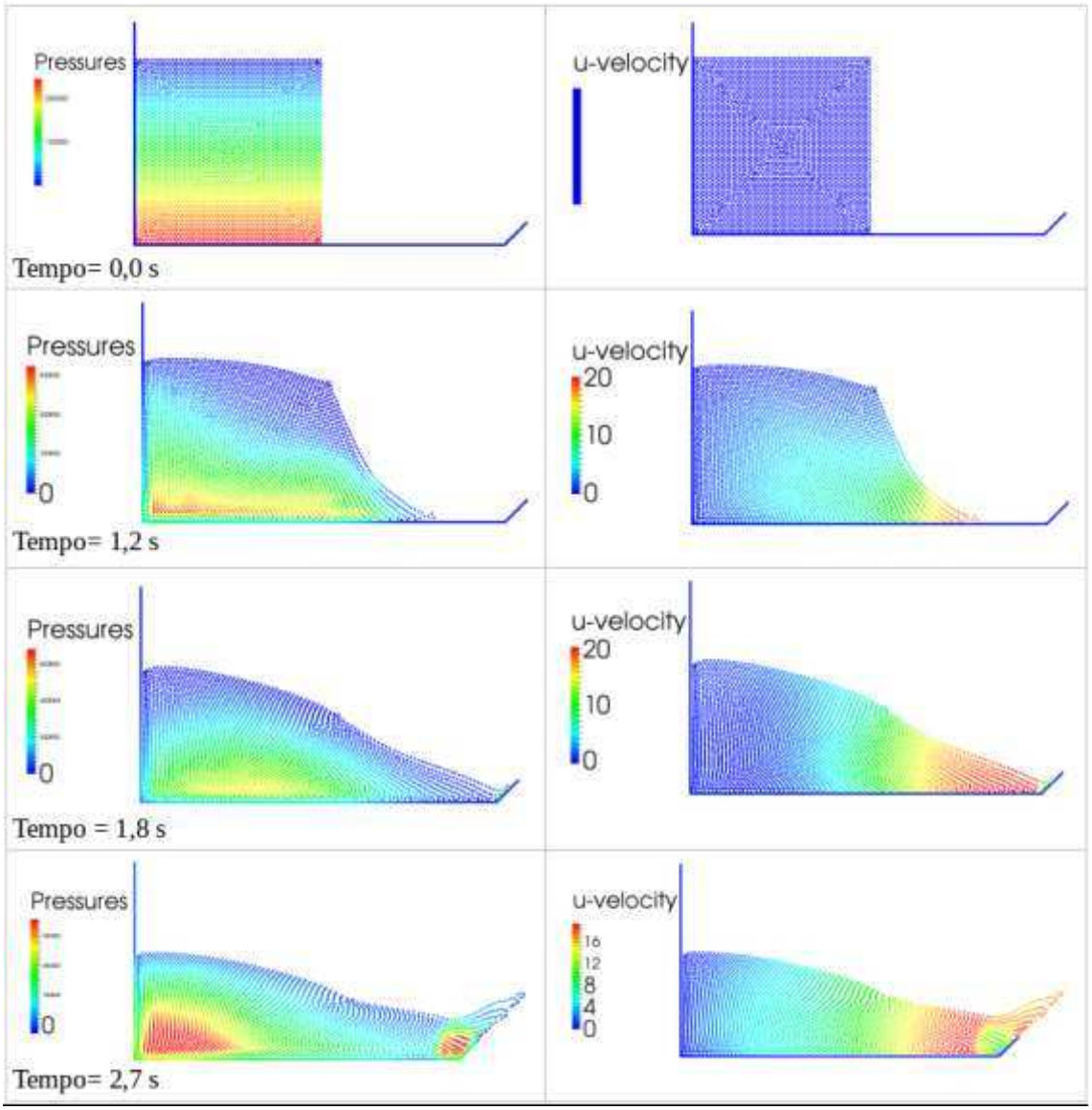


Figura 9: Distribuição do campo de pressão (Pa) nas partículas (coluna da esquerda) e do campo de velocidades em m/s (coluna da direita) para o problema de Dam Collapse.

Tabela 1: Comparação da simulação de Dam Collapse utilizando-se a formulação proposta neste trabalho com valores experimentais (Exp) e com a simulação de Monaghan (MONAGHAN, 1992). Na tabela, H e Z são, respectivamente, a largura e a altura da coluna de água em diferentes intervalos de tempo medidos em metros (m).

Tempo (s)	H (Exp)	H (SPH) Monaghan	H (SPH)	Z (Exp)	Z (SPH) Monaghan	Z (SPH)
0,71	0,90	0,90	0,90	1,33	1,56	1,44
1,39	0,76	0,75	0,76	2,25	2,50	2,18
3,20	0,57	0,56	0,58	3,22	3,75	2,82

5.3.2. Evolution of a circular patch of fluid

A última validação do simulador foi através da implementação do fluxo de Rusanov, onde o exemplo de *Evolution of a circular patch of fluid* foi adotado. Assim, este exemplo foi empregado para comparar a influência das implementações com SPH, WCSPH e Euler. Onde o caso de Euler é a mesma formulação de WCSPH, mas sem empregar a parte viscosa na Equação 24. Nesta simulação, considerou-se um circulo de raio R de fluido, livre de qualquer força externa. Assim, os campos de velocidade e pressão iniciais são prescritos pelas Equações 39.

$$\begin{cases} u_0(x,y) = 10x, \\ v_0(x,y) = -10x, & \forall (x,y), x^2 + y^2 \le R \\ P_0(x,y) = \dfrac{100}{2}\rho_0\left\{R^2 - \left(x^2 + y^2\right)\right\}, \end{cases} \tag{39}$$

Submetido a esse campo inicial de velocidades no eixo x com u_0 e, no eixo y, com v_0, e à pressão P_0, o círculo de água evolui deformando-se no tempo conservando uma forma elíptica, como observado na Figura 10. O fluxo gerado é irrotacional, como consequência da incompressibilidade das formulações, comparando-se com a solução analítica (CHERFILS; PINON; RIVOALEN, 2012; NAIR; TOMAR, 2014; TOUZÉ et al., 2013; MONAGHAN, 1992).

Dessa maneira, na Figura 10 mostra-se a comparação no passo de tempo no campo de pressão nas partículas para cada um dos métodos, e a variação da altura (B) comparada com a solução analítica (MONAGHAN, 1992; CHERFILS; PINON; RIVOALEN, 2012; XU; OUYANG; JIANG; LI, 2014). Pode-se concluir que o campo de pressão nas simulações comporta-se de forma esperada neste tipo de problema (NAIR; TOMAR, 2014; TOUZÉ et al., 2013), em especial no caso de SPH usando a aproximação de Euler.

Em relação à evolução da altura (B), observa-se uma modelagem aproximada para as três simulações, sendo a implementação SPH clássica a mais próxima dos valores analíticos.

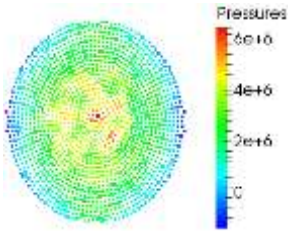
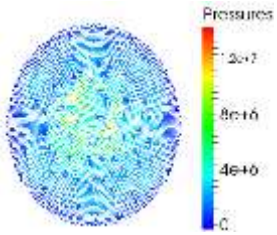
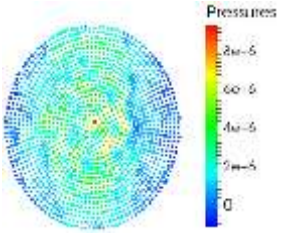
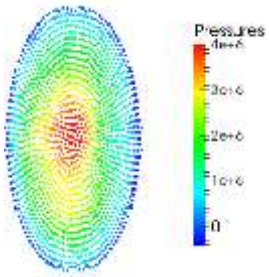
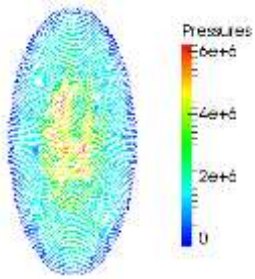
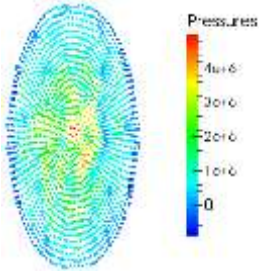
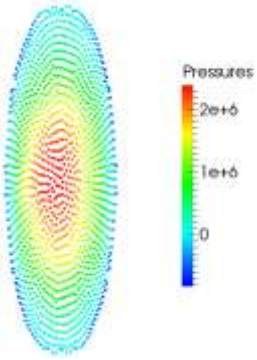
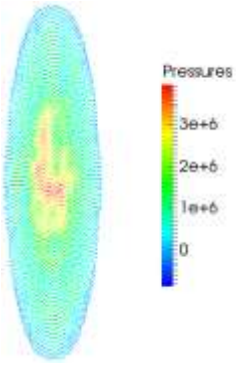
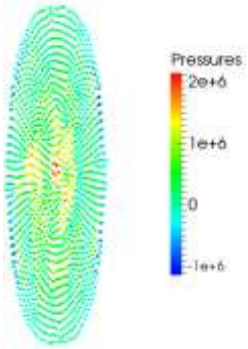
	SPH-Euler	**SPH**	**WCSPH**
Tempo (s) 0,0008 **Teórico** B= 1,086 m	 B=1,080 m	 B=1,085 m	 B=1,080 m
Tempo (s) 0,0038 **Teórico** B= 1,44 m	 B=1,420 m	 B=1,430 m	 B=1,410 m
Tempo (s) 0,0076 **Teórico** B= 1,95 m	 B= 1,870 m	 B=1,910 m	 B=1,810 m

Figura 10: Comparação de três diferentes implementações do SPH (formulação de Euler, SPH clássico e WCSPH) aplicadas ao problema de Evolution of a circular patch of fluid. A Figura compara o valor teórico e o obtido nas simulações para a evolução da altura (B) do fluido.

6. Conclusões

Neste trabalho, foram apresentadas aplicações para a solução de um fluido de geometria definida, em condições de temperatura, velocidade e deslocamento variável usando uma formulação acoplada que emprega as equações conservativas de momento, massa, energia e uma equação constitutiva. Realizou-se a comparação com a literatura de problemas experimentais e de outros modelos, onde bons resultados foram obtidos para os problemas de *Shear Driven Cavity*, Problema de *Fourier*, *Dam Break*, *Dam*

Collapse e *Evolution of a circular parch of fluid*. Portanto, o simulador proposto atingiu resultados promissórios e concordantes com a literatura.

7. Referências Bibliográficas

BENZ, W.; ASPHAUG, E. Simulations of brittle solids using smooth particle hydrodynamics. **Computer Physics Communications**, v. 87, n. 1-2, p. 253–265, maio 1995.

CHERFILS, J. M.; PINON, G.; RIVOALEN, E. JOSEPHINE: A parallel SPH code for free-surface flows. **Computer Physics Communications**, v. 183, n. 7, p. 1468–1480, jul. 2012.

CLEARY, P. W.; MONAGHAN, J. J. Conduction Modelling Using Smoothed Particle Hydrodynamics. **Journal of Computational Physics**, v. 148, n. 1, p. 227–264, jan. 1999.

CRESPO, A. C. et al. GPUs, a new tool of acceleration in CFD: efficiency and reliability on smoothed particle hydrodynamics methods. **PloS one**, v. 6, n. 6, p. e20685, jan. 2011.

CRESPO, A. J. C. **Application of the Smoothed Particle Hydrodynamics model SPHysics to free-surface hydrodynamics**. Universidade de Vigo, 2008.

CUNDALL, P. A.; STRACK, O. D. L. A discrete numerical model for granular assemblies. **Geotechnique**, v. 1, n. 29, p. 47–65, 1979.

DILTS, G. A. Moving-least-squares-particle hydrodynamics I. Consistency and stability. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, v. 44, n. 8, p. 1115–1155, 20 mar. 1999.

FELDMAN, J.; BONET, J. Dynamic refinement and boundary contact forces in SPH with applications in fluid flow problems. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, v. 72, n. 3, p. 295–324, 15 out. 2007.

FRISCH, U.; HASSLACHER, B.; POMEAU, Y. Lattice-gas automata for the Navier-Stokes equation. **Physical review letters**, v. 423, p. 11–12, 1986.

FULK, D. A. **A numerical analysis of smoothed particle hydrodynamics**. Air University, set. 1994.

GINGOLD, R. .; MONAGHAN, J. J. Kernel estimates as a basis for general particle methods in hydrodynamics. **Journal of Computational Physics**, v. 46, n. 3, p. 429–453, jun. 1982.

GOMEZ-GESTEIRA, M. et al. State-of-the-art of classical SPH for free-surface flows. **Journal of Hydraulic Research**, v. 48, n. sup1, p. 6–27, jan. 2010.

GRAY, J.; MONAGHAN, J. Caldera collapse and the generation of waves. **Geochemistry Geophysics Geosystems**, 2003.

GRAY, J. P.; MONAGHAN, J. J.; SWIFT, R. P. SPH elastic dynamics. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 190, n. 49-50, p. 6641–6662, out. 2001.

HONGBIN, J.; XIN, D. On criterions for smoothed particle hydrodynamics kernels in stable field. **Journal of Computational Physics**, v. 202, n. 2, p. 699–709, jan. 2005.

HOOGERBRUGGE, P. et al. Simulating microscopic hydrodynamic phenomena with dissipative particle dynamics. **EPL (Europhysics Letters)**, v. 155, 2007.

JOHNSON, G. R. Artificial viscosity effects for SPH impact computations. **International Journal of Impact Engineering**, v. 18, n. 5, p. 477–488, jul. 1996.

JOHNSON, G. R.; STRYK, R. A.; BEISSEL, S. R. SPH for high velocity impact computations. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 139, n. 1-4, p. 347–373, dez. 1996.

KHORASANIZADE, S.; SOUSA, J. M. M. A detailed study of lid-driven cavity flow at moderate Reynolds numbers using Incompressible SPH. n. August, p. 653–668, 2014.

LANCASTER, P.; SALKAUSKAS, K. Surfaces generated by moving least squares methods. **Mathematics of computation**, v. 37, n. 155, p. 141–158, 1981.

LI, S.; LIU, W. Meshfree Particle Methods. In: New York: Springer, 2007. p. 25–67.

LI, S.; LIU, W. K. Meshfree and particle methods and their applications. **Applied Mechanics Reviews**, v. 55, n. 1, p. 1, 2002.

LIU, G. **Mesh free methods: moving beyond the finite element method**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

LIU, G.; GU, Y. **An introduction to meshfree methods and their programming**, 2005.

LIU, G. R.; LIU, M.B. Smoothed particle hydrodynamics: a meshfree particle method, **World Scientific Publishing Co.**, Singapore, 2003.

LIU, M. B.; LIU, G. R. Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 17, n. 1, p. 25–76, 13 fev. 2010.

LIU, W.; LI, S.; BELYTSCHKO, T. Moving least-square reproducing kernel method Part II: Fourier analysis. **Computer Methods in Applied Mechanics and engineering**, v. 7825, n. 96, 1996.

LUCY, L. B. A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. **The Astronomical Journal**, v. 82, p. 1013, 1 dez. 1977.

MIHAI BASA, NATHAN J. QUINLAN, AND M. L. Robustness and accuracy of SPH formulations for viscous flow. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, n. October 2008, p. 601–629, 2008.

MONAGHAN, J. Smoothed Particle Hydrodynamics. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 30, n. 1, p. 543–574, 1 jan. 1992.

MONAGHAN, J. J. On the problem of penetration in particle methods. **Journal of Computational Physics**, v. 82, n. 1, p. 1–15, maio 1989.

MONAGHAN, J. J. Simulating Free Surface Flows with SPH. **Journal of Computational Physics**, v. 110, n. 2, p. 399–406, fev. 1994.

MONAGHAN, J. J. SPH without a Tensile Instability. **Journal of Computational Physics**, v. 159, n. 2, p. 290–311, abr. 2000.

MONAGHAN, J. J. Smoothed Particle Hydrodynamics and Its Diverse Applications. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 44, n. 1, p. 323–346, 21 jan. 2012.

MONAGHAN, J. J.; KOS, A. Solitary Waves on a Cretan Beach. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, v. 125, n. 3, p. 145–155, 1 maio 1999.

MONAGHAN, J. J.; KOS, A. Scott Russell's wave generator. **Physics of Fluids**, v. 12, n. 3, p. 622, 1 mar. 2000.

MONAGHAN, J. J.; PRICE, D.; MONAGHAN, J. J. Smoothed particle hydrodynamics. **Reports on Progress in Physics**, v. 68, n. 8, p. 1703–1759, 1 ago. 2005.

MORRIS, J. P.; FOX, P. J.; ZHU, Y. Modeling Low Reynolds Number Incompressible Flows Using SPH. **Journal of Computational Physics**, v. 136, n. 1, p. 214–226, set. 1997.

MÜLLER, M. et al. Interaction of fluids with deformable solids. **Comput. Animat. Virtual Worlds**, v. 15, n. 34, p. 159–171, 16 jul. 2004.

NAIR, P.; TOMAR, G. An improved free surface modeling for incompressible SPH. **Computers & Fluids**, v. 102, p. 304–314, out. 2014.

RANDLES, P. W.; LIBERSKY, L. D. Smoothed Particle Hydrodynamics: Some recent improvements and applications. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 139, n. 1-4, p. 375–408, dez. 1996.

SEO, S.; MIN, O. Axisymmetric SPH simulation of elasto-plastic contact in the low velocity impact. **Computer Physics Communications**, v. 175, n. 9, p. 583–603, nov. 2006.

SHAHRIARI, S.; HASSAN, I. G.; KADEM, L. Modeling unsteady flow characteristics using smoothed particle hydrodynamics. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 3, p. 1431–1450, fev. 2013.

SIGALOTTI, L. D. G.; LÓPEZ, H. Adaptive kernel estimation and SPH tensile instability. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 55, n. 1, p. 23–50, jan. 2008.

TOUZÉ, D. LE et al. A critical investigation of smoothed particle hydrodynamics applied to problems with free-surfaces. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, n. 23 June, p. 660–691, 2013.

VIGNJEVIC, R. et al. Derivation of SPH equations in a moving referential coordinate system. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 198, n. 30-32, p. 2403–2411, 1 jun. 2009.

XU, R.; STANSBY, P.; LAURENCE, D. Accuracy and stability in incompressible SPH (ISPH) based on the projection method and a new approach. **Journal of Computational Physics**, v. 228, n. 18, p. 6703–6725, out. 2009.

XU, X.; OUYANG, J.; JIANG, T.; LI, Q. Numerical analysis of the impact of two droplets with a liquid film using an incompressible SPH method. **Journal of Engineering Mathematics**, v. 85, n. 1, p. 35-53, 2014.

UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA NAS ENGENHARIAS COM A UTILIZAÇÃO DE FOTOSENSORES

A proposal for the engineering physics education using photosensors

ALMEIDA, Priscila Todero

Faculdade de Jaguariúna

PIRES, Jorge Miguel D.M.C.

Faculdade de Jaguariúna

Resumo: Esse trabalho descreve uma proposta de Ensino de Física nas Engenharias que tem como objetivo principal o estudo do Efeito Fotoelétrico utilizando aulas expositivas, contextualização dos modelos físicos do final do século XIX e inicio do século XX, utilização de imagens de simulação do Efeito Fotoelétrico e textos de Divulgação Científica (DC) que versam sobre Fotosensores. A ideia principal dessa proposta é expor aos estudantes de engenharia uma contextualização do final do século XIX e inicio do século XX conjunta com surgimento da Física Moderna e Contemporânea (a partir do Efeito Fotoelétrico) e por fim, apresentar as suas aplicações atuais, como por exemplo, os Fotosensores. Proponho também a utilização da Análise de Discurso (AD) aporte teórico metodológico na análise dos resultados posteriormente coletados.

Palavras chaves: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Fotosensores.

Resumen: Este artículo describe una propuesta de enseñanza de la Física en Ingeniería. El objetivo fue estudiar el efecto fotoeléctrico mediante conferencias, contextualización de modelos físicos de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, uso de imágenes de la simulación del efecto fotoeléctrico y textos de divulgación científica (DC) que versan sobre el tema. La propuesta didáctica procura exponer a los estudiantes de ingeniería a la contextualización del efecto fotoeléctrico de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, junto con la aparición de la Física moderna y Contemporánea. Finalmente, se propone el uso de Análisis de Discurso (DA) como marco teórico referencial y metodológico para el análisis de las informaciones recolectadas durante la aplicación de la propuesta didáctica.

Palabras clave: enseñanza de la física, efecto fotoeléctrico, fotosensores.

Introdução

Os conteúdos de Física ensinados na maioria dos Cursos de Engenharia no Ensino Superior Privado encontram-se defasado mais de um século comparado ao conhecimento de Física atual, contemplando apenas a Física Clássica (FC) e suas aplicações. Nessas instituições de ensino o estudo da Física Moderna e Contemporânea (FMC)[1] incluindo a Física Quântica (FQ) não está presente em nenhum dos conteúdos desenvolvidos. A ausência da FMC é uma falha que prejudica a formação do aluno em âmbito social, pois, não formamos um indivíduo que compreende o desenvolvimento tecnológico no nosso cotidiano nem que é consciente das mudanças e impactos de novas tecnologias na sociedade. De acordo com Pinto e Zanetic,

> *[...] É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da física moderna, não como mera curiosidade , mas como uma física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo. Uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básicas para o homem contemporâneo, um conjunto de conhecimentos que extrapola o limite da ciência e tecnologia, influenciando outras formas do saber humano. [...] (PINTO E ZANETIC,1999, p.7)*

Ensinar conceitos de FMC é um grande desafio uma vez que, em geral, são conceitos abstratos e muitas vezes "anti-intuitivos" que levam os estudantes a contradições de pensamentos do cotidiano. É uma tarefa dos professores de Física atuar como mediadores na relação entre os alunos e as disciplinas de FMC. Devemos pensar em métodos educacionais e curriculares que ajudem os estudantes a entender conceitos relevantes e a motivá-los. É necessário quebrar a distância que existe entre o ensino de Física e os estudantes, segundo Robilotta,

[1] A FMC engloba os desenvolvimentos da física ocorridos a partir do final do século XIX (AKRILL, T. **Physics Education**, v. 26, p. 81-87, 1991).

> *[...] O ensino, tanto da Física como de outras áreas do conhecimento, acontece no cenário cinzento da passividade, da falta de interesse e da apatia. Os estudantes parecem estudar apenas para passar de ano [...] (ROBILOTTA, 1988, p.8).*

Nesse contexto há trabalhos como o de Pinto e Zanetic (1999), baseado no perfil epistemológico do estudo da Filosofia da Ciência de Gaston Bachelard, em que os autores partem do pressuposto que o ensino de Física deve ser o mais diverso possível ensinado com uma abordagem ampla e apresentado como uma forma de cultura (ZANETIC, 1989). Os autores afirmam que:

> *[...] O formalismo matemático, a observação, a experimentação, os conceitos, as leis, as teorias, a filosofia, a história, a epistemologia, a tecnologia, são exemplos de formas do conhecimento físico que podem possuir afinidades com diferentes alunos [...] (PINTO E ZANETIC, 1999, p.8).*

Com base nisso, apresento uma proposta de Ensino de Física para as Engenharias que tem como principal objetivo o estudo do Efeito Fotoelétrico utilizando aulas expositivas, contextualização dos modelos físicos do final do século XIX e inicio do século XX, utilização de imagens de simulação do Efeito Fotoelétrico e textos de Divulgação Científica (DC) que versam sobre Fotosensores.

A ideia principal dessa proposta é expor aos estudantes de engenharia uma contextualização do final do século XIX e inicio do século XX conjunta com surgimento da Física Moderna e Contemporânea (a partir do Efeito Fotoelétrico) e por fim, apresentar as suas aplicações atuais, como por exemplo, os Fotosensores. Segundo Robilotta, 1988.

> *[...] Existem tarefas urgentes que precisam ser enfrentadas para que o ensino da física possa ser melhorado. Entre elas, e ao nosso alcance, está a*

> *necessidade de se recuperar a noção de que a Física é um processo onde o confronto de ideias está sempre presente.. [...] (ROBILOTTA, 1988, pág. 17).*

Com o intuito de confrontar ideias apresentaremos os modelos teóricos não resolvidos da Física Clássica até o século XIX e depois disso, durante as aulas expositivas, estudaremos o Efeito Fotoelétrico e suas contribuições na FMC no século XX. Nessa proposta trabalharemos também com imagens de simulação em que os estudantes poderão simular no computador atráves do software PhET Interactive Simulation o Efeito Fotoelétrico e mudar as variáveis, visualizando assim suas características físicas . Por fim conduziremos a leitura de textos de DC que falam sobre o uso de Fotosensores em aplicações de engenharia.

Um sensor é um dispositivo que é capaz de detectar ações ou estímulos externos em geral, e transforma grandezas físicas ou químicas em um sinal elétrico, dando-nos como resposta uma informação. Nesse projeto, a proposta de utilizar fotosensores como tema de pesquisa tem como base os inúmeros exemplos de sensores que utilizam a Física estudada no final do século XIX e início do século XX. Muitos dos fotosensores utilizam o Efeito Fotoelétrico, ou seja, a emissão de elétrons de um material, geralmente metálico, quando ele é submetido à radiação eletromagnética (por exemplo, a luz.). Dentre os fotosensores temos os fotoresistores (LDR), fotodiodos e fototransistores que estão presentes no nosso cotidiano em elevadores, células solares, computadores, dentre outras aplicações na indústria e na engenharia em geral.

Conforme dissemos anteriormente utilizaremos imagens de simulação em que os estudantes poderão simular no computador utilizando o software PhET Interactive Simulation o Efeito fotoelétrico e mudar as variáveis. Retratando assim as mudanças que ocorreram tanto em questões teóricas, experimentais e tecnológicas. Segundo Isabel Martins et al.

> *[…] Imagens são importantes recursos para a comunicação de idéias científicas. No entanto, além da indiscutível importância como recursos para a visualização,*

> *contribuindo para a inteligibilidade de diversos textos científicos, as imagens também desempenham um papel fundamental na constituição das idéias científicas e na sua conceitualização […] (MARTINS, 2005, p.1).*

Por fim, a justificativa da escolha de textos do gênero DC vem da necessidade de buscar recursos didáticos e de adequação de linguagem. Segundo Almeida (2010), entre outras coisas, os textos de DC costumam: apresentar uma linguagem próxima à linguagem dos estudantes; discutir aspectos da biografia dos cientistas e/ou fatos históricos relacionados à produção científica; e abordar aspectos da produção do conhecimento e suas possíveis consequências sociais. Almeida (2010) aponta ainda que os textos de DC podem funcionar como recursos didáticos que possibilitam a mediação do discurso escolar relativo à ciência e como facilitadores da atuação da subjetividade dos estudantes. Gama e Almeida (2006) afirmam que textos de DC teriam como principal finalidade a divulgação do conhecimento científico a um público leigo e em sala de aula desempenhar papéis de: possibilitar aos estudantes a chance de manifestarem suas interpretações próprias na produção de sentidos; trazer para o debate em sala de aula assuntos relacionados ao cotidiano deles; motivá-los pelo assunto e pela leitura em geral; ressaltar aspectos da natureza da prática científica; e auxiliar os estudantes na construção de suas próprias histórias de leitura.

Aspectos metodológicos

Para analisar os resultados obtidos nesse trabalho propomos o apoio teórico e metodológico noções da Análise de Discurso (AD) em sua vertente iniciada na França por Michel Pêcheux, especialmente as noções produzidas no Brasil pela pesquisadora Eni Orlandi desde a década de 70.

Justificamos a escolha da AD pelo valor dado por essa teoria às condições de produção e ao funcionamento da linguagem e leitura. Nesse sentido, a resposta à questão de estudo aqui proposta permitirá compreender como os estudantes produziram sentidos a partir da proposta apresentada. Ou seja, analisaremos em que discursos os estudantes se filiaram, que aspectos

das condições de produção se fizeram preponderantes em suas respostas, como esses estudantes a partir da medição entre imagens e textos de DC que versam sobre fotosensores, construíram conhecimento através da expressão de sua leitura.

A proposta central da AD é considerar a relação construtiva entre a linguagem e a exterioridade, essa entendida como as condições de produção do discurso, as quais englobam o contexto imediato, os interlocutores e o contexto sócio-histórico. Para a AD "a linguagem só faz sentido porque se inscreve na história". (ORLANDI, 2005, p. 25), e concebe a linguagem como uma "mediação necessária entre o homem e a realidade natural e social". (ORLANDI, 2005, p. 15). Em sala de aula, no caso da Física, isso implica em analisar a produção de sentidos pelos alunos levando em consideração sua história de leitura e de vida, tendo em vista cada aluno como um sujeito leitor. Professores e alunos têm histórias diferentes, se não levarmos em consideração essa diferença a leitura pode ser apenas simulada.

Dessa forma, quando produzimos sentidos, na verdade, a partir da relação estabelecida pelos interlocutores durante o discurso, estamos retomando sentidos pré-existentes. Em outras palavras: estamos sempre repetindo, o que levou Orlandi (2005) a distinguir três formas de repetição: a empírica ("efeito papagaio"), a formal ("o dizer com as suas palavras") e a histórica (a que historiciza o dizer e o sujeito). Pensando em termos educacionais, segundo Orlandi (1998) uma das funções da escola deve ser levar os estudantes a passarem da repetição empírica à repetição histórica, passando pela repetição formal.

Além disso, Orlandi (2000) afirma que as palavras não detêm sentidos em si: a linguagem não é transparente. Por exemplo, na escrita de um texto está inscrito um leitor virtual, um leitor imaginário para quem o autor do texto está se dirigindo. Logo, quando o leitor real lê, ele não está interagindo com o próprio texto, mas, na verdade, debatendo, com esse leitor virtual inscrito nele. Logo, ler não é decodificar um texto, tampouco apreender seus sentidos, mas sim produzi-los. Orlandi 2000 afirma que apesar de haver uma multiplicidade de sentidos possíveis, há um processo de determinação histórica dos sentidos, o que faz com que apenas alguns deles possam ser produzidos a partir da leitura. Orlandi (1983, 1987, 1988) fala também de outra característica

essencial do texto que é a sua incompletude, ou seja, o texto é incompleto porque leva em conta a exterioridade (contexto em que se dá a leitura) e outros textos (intertextualidade). Por causa dessa sua natureza incompleta, tanto na produção quanto na leitura de um texto entram esses elementos menos mensuráveis e mais diferenciados (variados) que fazem com que cada produção ou cada leitura de um texto tenha o caráter de um acontecimento inédito: "Isso é Polissemia"(ORLANDI, 1983, pag.143).

Orlandi (1987) distingue três tipos de discurso em seu funcionamento: no discurso lúdico a polissemia é aberta (o exagero seria o non-sense), a reversibilidade é total, isto é, a troca de papéis na interação discursiva é perfeitamente plausível. No discurso polêmico, os participantes procuram dominar seu referente, dando-lhe uma direção. A polissemia é controlada (o exagero seria a injúria) e a reversibilidade se dá sob condições, sendo disputada. No discurso autoritário, o referente está ausente, apagado pelo dizer, há, de fato, apenas um agente exclusivo. A polissemia é contida (o exagero é a ordem, o comando) - tendendo para a monossemia -, e a reversibilidade é estancada. Tomando essa tipologia, a autora caracteriza o discurso pedagógico como comumente autoritário, sugerindo, então, que tentemos torná-lo um discurso polêmico.

Para finalizar, deve-se ressaltar que ao utilizar a AD como aporte teórico nessa proposta pretendo analisar a produção de sentidos (investigada por questionários e gravações) durante as aulas, apresentação das imagens e leituras de textos de DC.

Detalhamento da metodologia que será implementada.

Nesse trabalho propomos aulas teóricas de FMC que visem discutir 5 pontos principais:

1. Quais modelos da Física Clássica que apresentavam problemas teórico-experimentais?
2. Como a explicação do efeito Fotoelétrico responde os problemas dos modelos da Física Clássica?
3. Atividade com imagens utilizando o software PhET Interactive Simulations. Usaremos um site de simulação para exemplificar o

Efeito fotoelétrico. O estudante poderá mudar os parâmetros experimentais e simular gráficos. Veja a Figura 1. Em anexo segue um roteiro para essa atividade

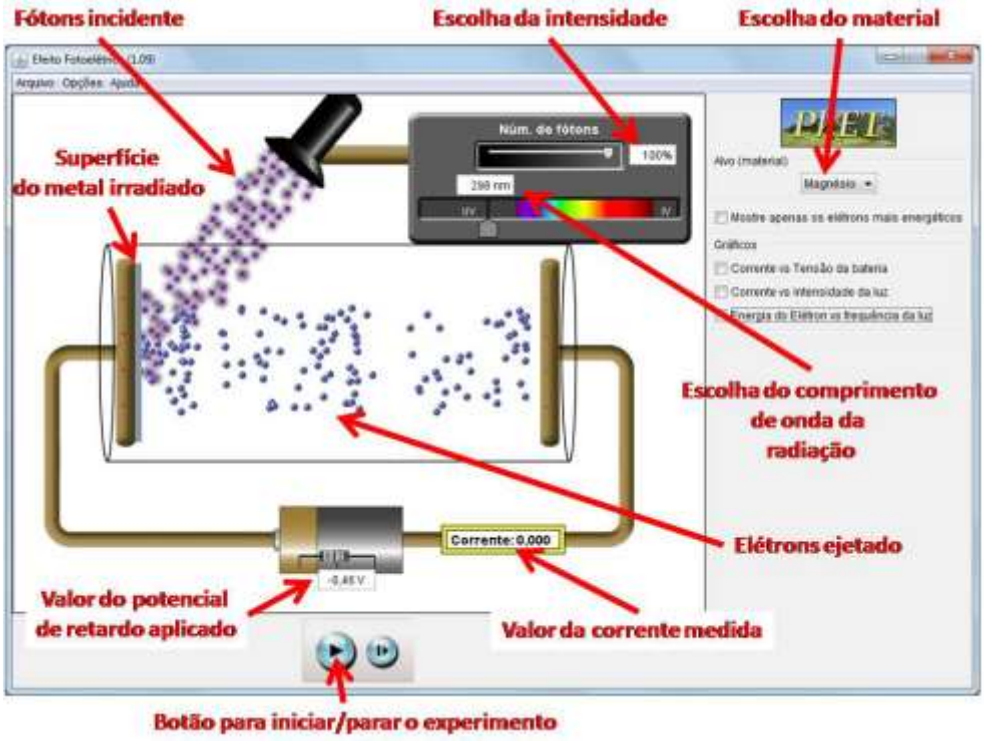


Figura 1: Imagem da tela do computar utilizando o software PhET Interactive Simulations

4. Aplicação do Efeito Fotoelétrico em objetos tecnológicos: Fotosensores.
5. Leitura de textos de DC sobre Fotosensores e suas aplicações na engenharia.

Considerações finais

Nesse contexto pretendo analisar como os estudantes de engenharia se motivaram a entender o Efeito Fotoelétrico e produziram sentidos a partir das aulas, imagens de simulação e a leitura de textos de divulgação científica. Usarei recursos como gravações e questionários. Posteriormente,analisarei os dados de acordo com o aporte teórico da Análise de Discurso.

Referências

ALMEIDA, M. J. P. M. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: Pinto, G. A. (Org.). **Divulgação científica e práticas educativas**. Curitiba, PR: CRV, p. 11-24, 2010.

GAMA, L. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. de. Condições de produção numa leitura de divulgação científica. **Revista Espiral**, ano 7, n. 26, 2006.

1.1.1 MARTINS, I; GOUVÊA, G; PICCININI, C; Aprendendo com imagens. **Ciência e. Cultura**. vol.57 no.4 São Paulo, SP, Oct./Dec. 2005
ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**. 2ª ed. rev. e aum. São Paulo, SP: Pontes, 1987.

ORLANDI, E. P**. Discurso e leitura**. 5ª ed. São Paulo, SP; Campinas, SP: Cortez: Editora da UNICAMP, 2000.

ORLANDI, E. P. Paráfrase e Polissemia: a fluidez nos limites do simbólico. **Rua,** v. 4, p. 9-19, 1998.

ORLANDI, E. P. **Análise de discurso: princípios & procedimentos.** 6ª ed. Campinas, SP: Pontes, 2005.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

ROBILOTTA, R. M. O cinza, o branco e o preto – da relevância da História da Ciência no Ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. especial, p. 7-23, 1988.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo, SP. 1989.

Acesso ao site:
http://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_pt_BR.jar

Anexo 1

Etapa 3 da proposta : Experimentos virtuais com o uso de imagens:

Para executar esta etapa do experimento acesse o site:
http://phet.colorado.edu/sims/photoelectric/photoelectric_pt_BR.jar
Baixe o programa e execute.

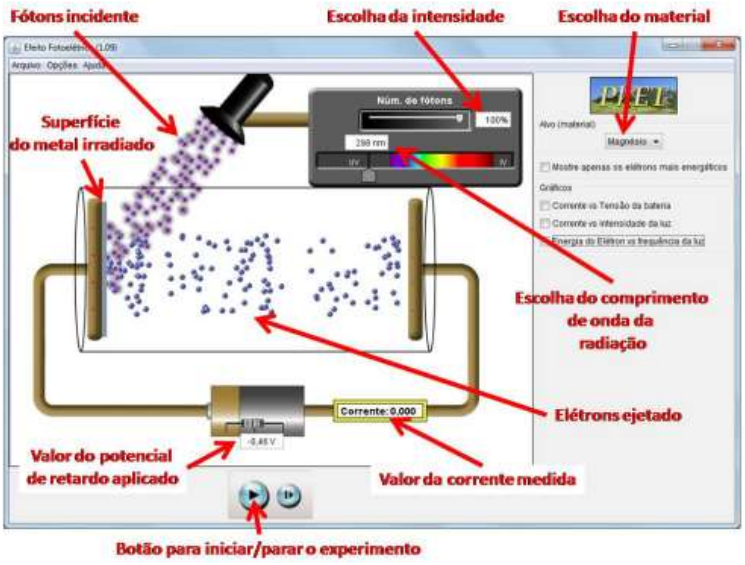


Figura 1: Programa usado para realizar o experimento virtual.

1. Escolha o material (alvo). Use inicialmente o sódio.
2. Escolha intensidade 100%.
3. Escolha a diferença de potencial aplicada entre o cátodo e a placa coletora também conhecido como potencial de retardo igual a zero (esta voltagem pode ser ajustada movendo o cursor ou digitando o valor da voltagem seguido pela letra V. Exemplo: -0.40V. Use o ponto como separador decimal.
4. Escolha uma cor com comprimento de onda suficiente para indicar uma corrente no coletor diferente de zero.
5. Aplique uma voltagem (tensão de retardo) de forma que o valor da corrente volte a zero novamente. Repita este procedimento, pelo menos mais 5 vezes, escolhendo outros valores para o comprimento de onda.
6. Faça um gráfico da tensão de retardo versus a frequência da radiação escolhida.

7. Analise o gráfico e calcule o valor da constante de Planck e o valor da função trabalho para este material.
8. Escolha um valor fixo do comprimento de onda onde a corrente seja diferente de zero, varie a intensidade do feixe de luz e meça o valor da corrente obtida. (anote o valor da corrente para pelo menos cinco valores diferente da intensidade).
9. Faça um gráfico da corrente obtida versus a intensidade do feixe.
10. Repita este procedimento para o Zinco.
11. Repita este procedimento para o Cobre.
12. Repita este procedimento para o Platina.
13. Repita este procedimento para o Cálcio.
14. Repita este procedimento para o magnésio.
15. Compare o valor da função trabalho deste material. Explique porque este valor varia quando mudamos o material.

Contatos:

Priscila Todero de Almeida
Doutoranda em Educação e membro do grupo de estudo e pesquisa em Ciência e Ensino (gepCE) da Faculdade de Educação da Unicamp, Campinas, SP, Brasil. Assessora Pedagógica do curso de Engenharia Civil – Faculdade de Jaguariúna - FAJ assessor.civil@faj.br

Jorge Miguel D.M.C. Pires
Especialista em Segurança do Trabalho pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, Campinas, SP, Brasil. Coordenador do Curso de do curso de Engenharia Civil – Faculdade de Jaguariúna - FAJ engcivil@faj.br

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AMIDO RESISTENTE, INULINA E POLIDEXTROSE APLICADOS EM PÃO DE FORMA

Performance evaluation of resistant starch, inulin and polydextrose in bread

SETIN, Jaciara Coelho
Faculdade de Jaguariúna / Ingredion Brasil Ing. Ind. Ltda.

NUNES DA SILVA, Vera Sônia
Faculdade Jaguariúna / Instituto de Tecnologia de Alimentos.

Resumo: O pão é um alimento presente na mesa das famílias brasileiras e ultimamente esta sendo alvo de estudo para a inclusão de fibras, já que a elas são atribuídos efeitos positivos como a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como obesidade e as doenças cardiovasculares. Além disso, os consumidores estão à procura de produtos mais saudáveis para a manutenção da saúde, além de preservar as características físicas dos produtos convencionais. Dentro deste contexto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver pães de forma com diferentes fontes de fibras (inulina, polidextrose e amido resistente) e avaliar seu desempenho em relação às suas propriedades físicas. O pão com amido resistente apresentou o melhor resultado de volume, sendo que o resultado do atributo “maciez” foi superior ($p<0,05$) às outras amostras. O trabalho atingiu o objetivo proposto, que foi a produção de pães com formulação alternativa, originando produtos de aparência similar ao pão de forma tradicional.

Palavras-chaves: Fibras alimentares; pão; propriedades físicas.

Abstract: Bread is a food present in the table of Brazilian families and lately this being the subject of study for the inclusion of dietary fibers, since these are assigned important factors such as the prevention of chronic noncommunicable diseases (NCDs), such as obesity and cardiovascular disease. Furthermore, consumers are looking for healthier products to maintenance of health, in addition to preserving the physical characteristics of conventional products. Within this context, the aim of this study was to develop pan bread with different sources of dietary fiber (inulin, polydextrose and resistant starch) and evaluate their performance in relation to its physical properties. The bread with resistant starch showed the best result of volume, and the result of the attribute "softness" was higher ($p<0.05$) than other samples. The work reached the proposed goal, which was to produce breads with alternative formulation, resulting in products with similar physical characteristic to the traditional bread.

Key-words: Dietary fiber; bread; physical properties.

---

[1] Estudo publicado em forma de pôster no XIII Encontro de Iniciação Científica - ENIC 2014,

Faculdade de Jaguariúna.

INTRODUÇÃO

O termo panificação se aplica ao desenvolvimento de produtos alimentícios processados com aplicação de calor seco diretamente pela radiação e/ou convecção de forno ou dispositivo de aquecimento similar. Praticamente todos os produtos que utilizam farinhas oriundas de grãos estão ligados diretamente à indústria de panificação. O pão é um dos principais alimentos presente na dieta do homem ocidental desde os tempos pré-históricos (CARVALHO JR, 2008).

Segundo Pomeranz (1987) o pão é uma fonte considerável de carboidratos, proteínas e vitaminas. Seu consumo tornou-se um complemento para uma refeição devido aos costumes da população de baixa renda e pela falta de tempo das pessoas, tornando-se elemento principal por ser constituído de nutrientes básicos, fornecedores de energia, como os carboidratos complementados por outros como lipídios e proteínas. A adição de outros ingredientes como as fibras alimentares, por exemplo, pode tornar este produto ainda mais nutritivo e com propriedades funcionais desejáveis (CARVALHO JR, 2008).

Uma dieta balanceada é fundamental para manutenção de uma vida saudável. Às fibras alimentares são atribuídos benefícios como redução dos níveis de colesterol e glicemia. Além disso, colaboram na manutenção do peso corporal e ajudam a regular as funções do intestino (DAVY et al., 2002; SLAVIN, 2004).

Muitos pães com fibras vendidos no mercado têm aparência escura e apresentam grãos integrais, o que faz com que muitas pessoas não gostem ou não tenham o costume de consumir esse tipo de pão. Como alternativa a estas características rejeitadas pelos consumidores, as fibras solúveis, como amido resistente, inulina e polidextrose, são fibras brancas e consequentemente não alteram a cor e possuem vantagens como alta solubilidade e baixo peso molecular e podem ser adicionadas ao produto sem interferir nas condições de processo (PASSOS & PARK, 2003).

O amido resistente do milho, considerado como fonte de fibra dietética natural, foi definido pela European Food-Linked Agro-Industrial Research-

Concerted Action on Resistant Starch como "*a soma dos produtos de degradação do amido que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis*" (ASP, 1992).

> A inulina é um polímero de glicose que apresenta de 2 a 60 unidades de frutose ligadas a uma unidade de glicose, está presente naturalmente como carboidratos de reserva em plantas como cebola, alho-poró, trigo, chicória, alcachofra e alho (CARPITA, KANABUS & HOUSLEY, 1989), sendo classificada como prebiótico por apresentar caráter bifidogênico.

Já a polidextrose é um polímero altamente solúvel em água formado por moléculas de glicose unidas por ligações de sorbitol e ácido cítrico. É extremamente estável dentro de uma ampla faixa de pH, temperatura, condições de processo e estocagem. Possui baixo índice glicêmico (5-7) quando comparado à glicose (100), sendo indicada para consumidores que buscam uma dieta com menos carboidratos e também pelos portadores de diabetes (CRAIG et al., 1998).

Muitos estudos avaliam a adição de fibras alimentares a diferentes produtos alimentícios por estas conferirem qualidades nutricionais, além das inerentes ao produto original. Adicionalmente à avaliação nutricional, a avaliação das características físicas, químicas e reológicas (KORUS et al., 2009; WITCZAK et al., 2012; MORRIS & MORRIS, 2012) é também muito importante, pois não basta ser um produto saudável, ele deve ser atraente à percepção do consumidor.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de amido resistente, inulina e polidextrose no desenvolvimento de pães de forma, com a intenção de preservar as características físicas (textura e volume específico) análogas ao pão de forma convencional.

1 MATERIAL E MÉTODOS

1.1 ***Material:*** *Os pães tiveram como ingredientes a farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, amido resistente de milho, inulina, polidextrose, glúten vital, gordura vegetal hidrogenada, melhorador de farinha, propionato de cálcio, fermento biológico, açúcar e sal.*

MÉTODOS

1.2 Desenvolvimento das Formulações dos Pães de Forma

Para o desenvolvimento das formulações (Tabela 1), foram feitos testes preliminares para calcular a perda de massa após forneamento, que foi equivalente a 10%.

Tabela 1. Ingredientes utilizados nas formulações dos pães.

Ingredientes	Quantidades (%)*			
	Padrão	**Amido Resistente**	**Polidextrose**	**Inulina**
Farinha de trigo	100,00	83,70	89,46	89,84
Fibra	0,00	16,30	10,54	10,16
Glúten	0,00	2,97	1,92	1,85
Açúcar	8,00	8,00	8,00	8,00
Gordura vegetal hidrogenada	5,00	5,00	5,00	5,00
Sal	2,00	2,00	2,00	2,00
Melhorador de farinha	1,00	1,00	1,00	1,00
Propionato de Cálcio	0,30	0,30	0,30	0,30
Fermento biológico	4,00	4,00	4,00	4,00
Água	56,00	56,00	46,30	47,00

*Ingredientes em relação ao total de farinha trigo.

Os cálculos para a adição das fibras foram baseados nos pães como sendo fonte de fibras, ou seja, contendo 2,5 g de fibras por porção, segundo a RDC 54 de 12 de novembro de 2012 (BRASIL, 2012), referente ao Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. A farinha de trigo foi substituída de acordo com o percentual de fibras de cada fonte de fibra alimentar, conforme apresentado na Tabela 2. A quantidade de glúten adicionada foi em função da adição de fibra para compensar a remoção da farinha de trigo.

Tabela 2. Percentual de fibras de acordo com as especificações do fabricante.

Ingredientes	**Fibras (%)**
Amido Resistente	60,0
Polidextrose	92,7

Inulina	90,0

1.3 Processamento dos Pães

Para o preparo dos pães foi utilizado o método de massa direta, que constitui da mistura dos ingredientes utilizados na formulação em masseira com haste tipo gancho. Os parâmetros do processo estão especificados na Figura 1, onde estão relacionados também a temperaturas de Teto e Lastro, sendo que a temperatura de Teto é a temperatura que é medida na parte superior da esteira ou da bandeja, enquanto que a temperatura de Lastro é a temperatura medida abaixo da mesma.

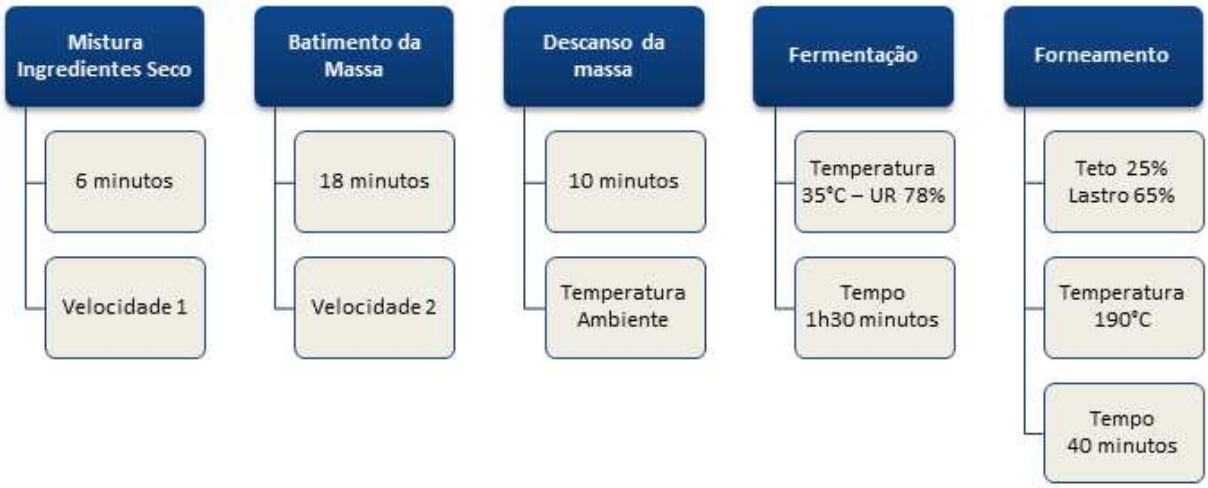


Figura 1. Parâmetros do processamento dos pães.
Fonte: arquivo pessoal.

1.4 Avaliação dos Pães

Os pães foram avaliados quanto à umidade, atividade de água e firmeza nos tempos 0, 7, 14 e 21 dias. O volume específico dos pães foi avaliado somente no Tempo 0.

1.4.1

1.4.2 Análises de Volume Específico

Para a determinação do volume específico ($cm^3.g^{-1}$), os pães foram resfriados até temperatura ambiente durante uma hora após o forneamento. A análise foi feita em triplicata, ou seja, três pães foram pesados em balança semi-analítica e o volume de cada um foi determinado pelo deslocamento de

sementes de painço, conforme o método descrito por Silva, Silva & Chang (1998).

1.4.3 Perfil de Textura

Os pães foram fatiados com uma espessura de 2,5 cm. Cada fatia foi posicionada, de forma que o centro da fatia fosse comprimido pelo sensor. A textura foi avaliada a temperatura ambiente, no Texturômetro TA.XT. *Plus,* em relação à compressão, utilizando o método de *"Determination of bread firmness using the* AACC (2000) *Standard method".* Foi utilizado o "probe" disco cilíndrico de 36mm (P/36R).

1.4.4 Determinação da Atividade de Água (aw)

Para a análise de atividade de água, a amostragem foi realizada em três pães de cada formulação. Os conjuntos (triplicata) foram acondicionados em cápsulas específicas para determinação de atividade de água, cobrindo completamente o fundo. O equipamento utilizado foi o Aqualab CX2 manual.

1.4.5 Análise de umidade

Para a análise da umidade, os pães foram homogeneizados, e cerca de 5 ± 0,1 g da amostra foram pesados em cápsula de alumínio tarada. A amostragem foi realizada em três pães de cada formulação. Os conjuntos (triplicata) foram colocados em estufa a 105ºC por 4 horas de acordo com a AOAC (2012). Posteriormente foram mantidos em dessecador contendo sílica-gel até atingir a temperatura ambiente e então pesados em balança analítica. O procedimento de secagem e pesagem foi repetido até que um valor constante fosse obtido para cada amostra analisada.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey (PIMENTEL-GOMES, 2009), para determinação da diferença significativa entre as médias (nível de significância de $p<0,05$), utilizando o programa SAS – S*tatistical Analysis System® (SAS, Cary, USA, 1983).*

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os volumes específicos dos pães com amido resistente e polidextrose e sem as fibras alimentares não diferiram estatisticamente (*p<0,05*), porém o pão adicionado de inulina (5,97 $cm^3.g^{-1}$) teve um volume específico superior aos demais, como pode ser observado na Tabela 3. Os volumes específicos dos pães obtidos neste estudo foram maiores do que o reportado por Barros & Franco (2014), que foi igual a 4,62 $cm^3.g^{-1}$. Da mesma forma, também foram superiores aos determinados no estudo de Lima et al. (2009), os quais desenvolveram pães enriquecidos com soro de leite em pó, com volumes específicos que variaram entre 4,10 $cm^3.g^{-1}$ e 4,20 $cm^3.g^{-1}$.

Tabela 3. Volume específico dos pães.

Amostras	Volume Específico ($cm^3.g^{-1}$)	Densidade ($g.mL^{-1}$)
Padrão	5,64 ± 0,01 [ab]	0,18 ± 0,00 [a]
Amido Resistente	5,37 ± 0,06 [b]	0,19 ± 0,00 [a]
Inulina	5,97 ± 0,02 [a]	0,17± 0,00 [a]
Polidextrose	5,44 ± 0,06 [b]	0,18 ± 0,00 [a]

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicata. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem significantemente entre si pelo teste de Tukey (*p<0,05*).

No estudo de Brasil et al. (2011) a introdução de 6 e 10% de inulina em pães provocou uma redução do volume em relação a formulação padrão, o oposto ocorreu neste estudo, onde a formulação adicionada de inulina apresentou o maior volume específico dentre as demais. A substituição da farinha de trigo por outra farinha, ainda que em parte, resulta invariavelmente em pães com menor volume (MORRIS & MORRIS, 2012). Os resultados deste estudo demonstraram o oposto, dessa forma, o efeito do uso das fibras estudadas sobre este parâmetro foi positivo.

Esteller & Lannes (2005) afirmam que produtos que apresentam valores elevados de densidade estão associados a um alto nível de umidade e que estes produtos após serem forneados promovem um aumento nos alvéolos da massa. Quanto maior os alvéolos maiores o volume do pão, de acordo com Castiglioni et al. (2014) que produziram pães com substituição da farinha de

trigo por farelo de mandioca e verificaram que a formulação com maior grau de substituição de farinha de trigo foi a que apresentou menor diâmetro médio dos alvéolos. Os pães foram avaliados pelo grau de crescimento da massa, em função da medida (mm) dos diâmetros dos alvéolos de cada pão, em três cortes diferentes da seção transversal capturadas por uma câmera digital (CASTIGLIONI et al., 2014). Na Tabela 3 verifica-se que a densidade não apresentou diferença estatística (*p<0,05)* assim como (Tabela 4) ocorreu para umidade entre as formulações estudadas, embora a inulina tenha apresentado volume especifico superior (*p<0,05)* aos demais grupos.

O estudo realizado em 1997 pelo Moinho Rio Negro que originou uma apostila com parâmetros de avaliação do desempenho para produtos de panificação, baseado no referido estudo foram relacionados alguns parâmetros para efeito de classificação do volume especifico do pão, recebendo a classificação de acordo com a Figura 2.

Volume especifico	6 e 8	5 e 6	4 e 5	Acima de 8	Abaixo de 4
Classificação	muito bom (5 pontos)	Bom (4 pontos)	Regular (3 pontos)	Muito grande (2 pontos)	Muito pequeno (1 ponto)

Figura 2. Classificação do volume específico.
Fonte: Adaptado de Moinho Rio Negro, 1997.

Observa na Tabela 3 que os valores encontrados para o volume especifico mantiveram-se entre 5 e 6, nesta faixa os produtos são classificados como bom (Figura 2). Sendo que o valor máximo esperado seria entre 6 e 8 $cm^3.g^{-1}$ (muito bom), apesar de alguns estudos (FERREIRA et al., 2001; BRASIL, 2011) considerarem o volume específico ideal entre 4 e 5 $cm^3.g^{-1}$.

Segundo Hopek et al. (2006) o aumento do volume pode estar relacionado à maior quantidade de açúcares fermentescíveis nos pães. No estudo de Gutkoski et al. (2010), o emprego de extrato de malte de aveia elevou o volume dos pães, passando de 5,24 $cm^3.g^{-1}$ para 5,55 $cm^3.g^{-1}$ quando

adicionados de 5,0% de extrato de malte. Neste estudo, o amido resistente e a polidextrose quando hidrolisadas, dão origem a unidades de glicose, e a hidrólise da inulina resultará em uma unidade de glicose e várias unidades de frutose. Os monossacarídeos glicose e frutose são considerados substratos essenciais para a fermentação, o que corrobora os elevados valores de volumes específicos encontrados neste estudo. Alguns autores consideram que a qualidade e quantidade dos ingredientes e tipo processamento também são parâmetros importantes que estão diretamente relacionados ao volume do pão (SÁNCHEZ, OSELLA & TORRE, 1998).

Os teores de umidade das formulações padrão e com amido resistente em todos os tempos estudados foram superiores as demais formulações ($p<0,05$), conforme observado na Tabela 4. Já os pães adicionados de inulina e de polidextrose não diferiram estatisticamente (*p<0,05*) entre si. Todos os valores obtidos neste estudo estão abaixo do valor máximo estabelecido para pães pela RDC nº 90 da ANVISA (BRASIL, 2000), que estabelece que pães preparados, exclusivamente, com farinha de trigo comum e ou farinha de trigo especial (sêmola/semolina de trigo) devem conter no máximo 38% de umidade.

Tabela 4. Teor de umidade dos pães.

	Umidade (%)			
Amostras	**t = 0**	**t = 7**	**t = 14**	**t = 21**
Padrão	$36,10 \pm 1,87^{a}$	$33,60 \pm 1,41^{a}$	$34,70 \pm 0,15^{a}$	$33,40 \pm 0,67^{a}$
Inulina	$31,20 \pm 0,58^{b}$	$30,10 \pm 1,37^{a}$	$30,00 \pm 0,35^{b}$	$28,90 \pm 0,71^{b}$
Amido Resistente	$35,40 \pm 1,05^{a}$	$32,90 \pm 1,04^{a}$	$33,10 \pm 0,26^{a}$	$33,20 \pm 0,31^{a}$
Polidextrose	$28,50 \pm 1,80^{b}$	$27,40 \pm 1,15^{b}$	$26,70 \pm 0,81^{c}$	$26,20 \pm 0,15^{c}$

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicata. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem significantemente entre si pelo teste de Tukey (*p<0,05*).

Os resultados de atividade de água (aw) dos pães na Tabela 5 foram todos superiores a 0,9. Estes valores eram esperados, e a alta aw está diretamente relacionada ao curto período de vida de prateleira dos pães, pois facilita reações químicas e o desenvolvimento microbiano, como de bolores e leveduras.

Tabela 5. Atividade de água (aw) dos pães.

Amostras	Atividade de água (aw)			
	t = 0	t = 7	t = 14	t = 21
Padrão	0,936 ± 0,001[a]	0,942 ± 0,002[a]	0,942 ± 0,001[a]	0,941±0,003[a]
Inulina	0,900 ± 0,002[b]	0,915 ± 0,001[b]	0,916 ± 0,001[b]	0,915±0,001[b]
Amido Resistente	0,932 ± 0,003[a]	0,947 ± 0,002[a]	0,943 ± 0,001[a]	0,946±0,001[a]
Polidextrose	0,901 ± 0,001[b]	0,907 ± 0,001[c]	0,905 ± 0,001[c]	0,903±0,002[c]

Resultados expressos como média ± desvio padrão das análises em triplicata. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem significantemente entre si pelo teste de Tukey (*p<0,05*).

1.4.6 Perfil de Textura dos pães

A textura instrumental dos pães foi avaliada através do parâmetro firmeza durante os dias 0, 7, 14 e 21 dias após a fabricação dos mesmos. Para cada teste, foram selecionadas 20 fatias aleatoriamente de 3 pães, média de 6 a 7 fatias por pão (Figura 3), e vinte análises de textura (Figura 4). Nas primeiras análises, foram realizados testes para o estabelecimento das condições adequadas para viabilização deste estudo (Figura 4).

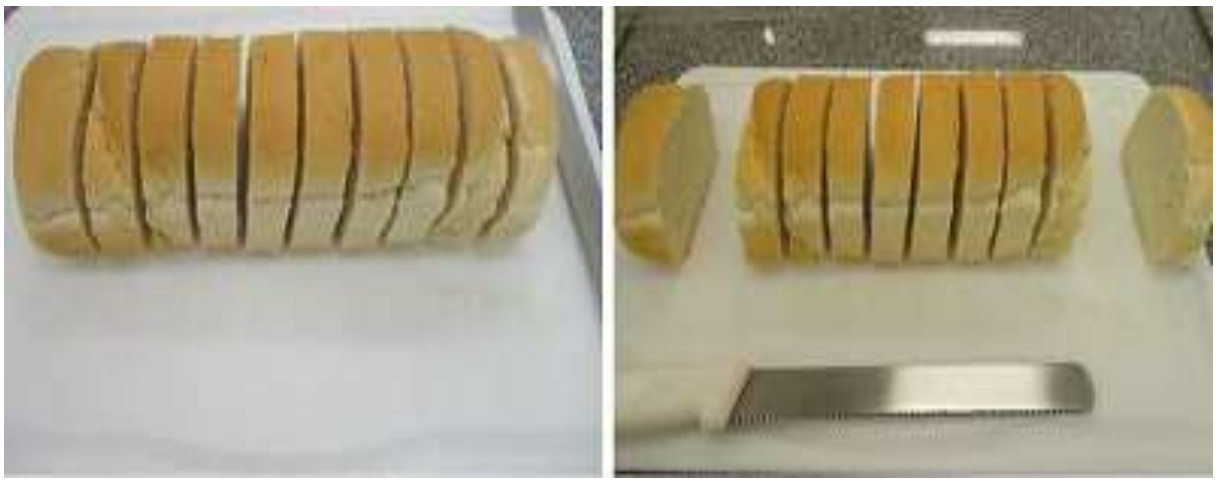


Figura 3. Representação das fatias dos pães.

Fonte: arquivo pessoal.

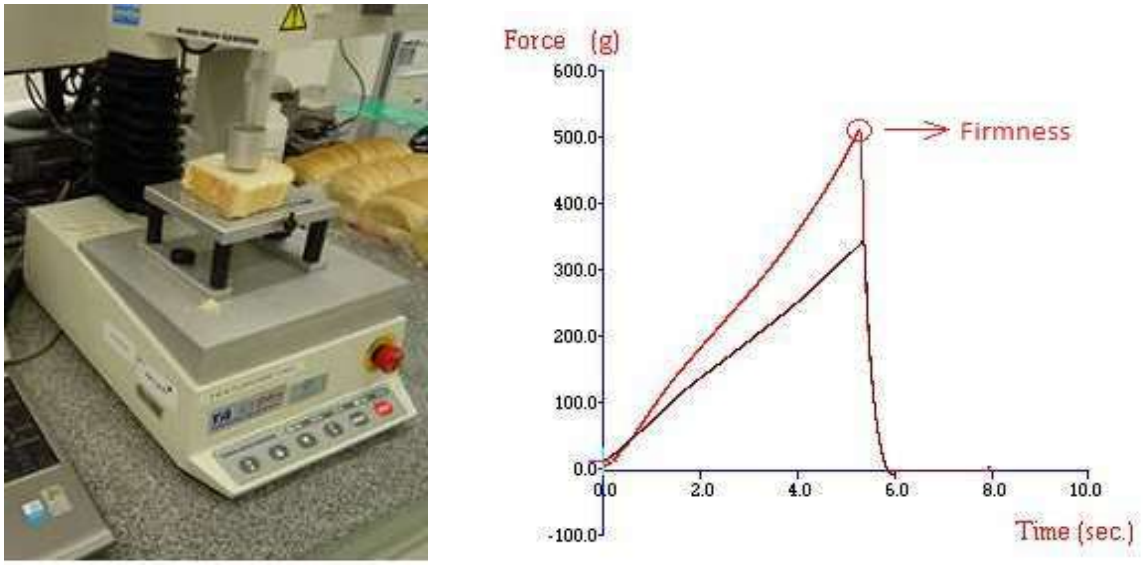


Figura 4. Texturômetro e a representação gráfica da força em função do tempo gerada pelo texturômetro.

Fonte: arquivo pessoal.

Observando os gráficos apresentados na Figura 5, é possível visualizar que o aumento na firmeza das amostras é diretamente proporcional a vida útil (*shelf life*) do produto. No tempo 0 (Figura 6 e Tabela 6), as amostras com amido resistente e com polidextrose não apresentaram diferença estatística ($p<0,05$). No entanto, pão com inulina apresentou o maior valor e o pão padrão o menor valor de firmeza.

No tempo de 7 dias (Figura 5 e Tabela 6), o aumento na firmeza das amostras foi bastante evidente. As amostras do pão com amido resistente e a padrão não apresentaram diferença estatística ($p<0,05$) em sua firmeza, sendo que as mais firmes foram as amostras dos pães adicionados de inulina e polidextrose, respectivamente. Após 14 dias (Figura 5 e Tabela 6), a amostra com inulina apresentou valor de firmeza superior estatisticamente ($p<0,05$) as demais e a amostra padrão apresentou o menor valor de firmeza.

Nota-se que o pão com amido resistente, embora diferente estatisticamente ao padrão, foi o que apresentou firmeza mais próxima a este, dentre os tratamentos avaliados, conferindo maior maciez em relação aos pães adicionados de inulina e polidextrose (Figura 6) ao longo de todo período de avaliação.

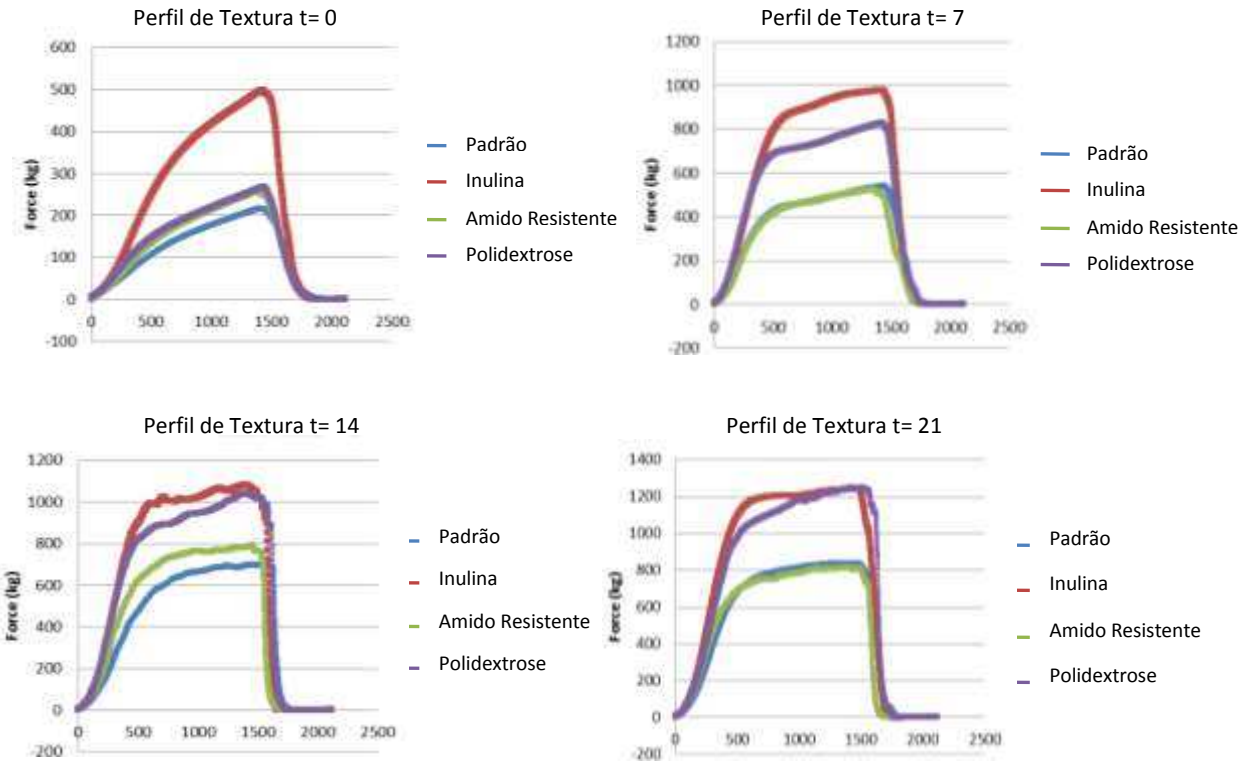


Figura 5. Perfil gráfico das texturas dos pães.

Fonte: arquivo pessoal.

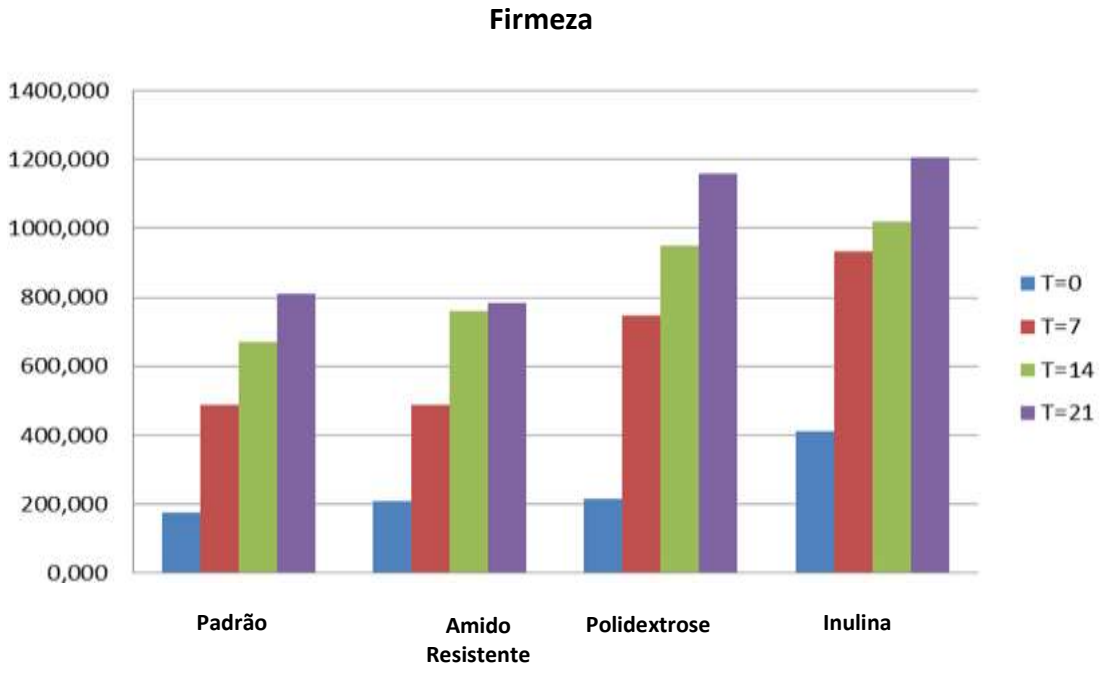


Figura 6. Representação gráfica dos valores encontrados para Firmeza (g.f).
Fonte: arquivo pessoal.

Após 21 dias de fabricação (Figura 5 e Tabela 6), a diferença da firmeza entre o pão padrão e com amido resistente não foi significativa ao nível de significância (*p<0,05*). Da mesma forma, ocorreu entre as amostras de pães com inulina e polidextrose, porém estas diferiram significativamente (*p<0,05*) das amostras padrão e amido resistente em relação à firmeza.

Tabela 6. Valores obtidos no teste firmeza.

Amostras	**Firmeza (g.f)**			
	Tempo 0 dias	**Tempo 7 dias**	**Tempo 14 dias**	**Tempo 21 dias**
Inulina	411,51 ± 44,65[a]	932,48 ± 76,66[a]	1020,77 ± 97,34[a]	1206,60 ± 111,40[a]
Polidextrose	215,12 ± 16,89[b]	747,03 ± 79,24[b]	949,99 ± 84,99[b]	1160,211 ± 69,21[a]
Amido resistente	208,67 ± 14,01[b]	486,35 ± 51,13[c]	759,68 ± 41,93[c]	811,808 ± 59,64[b]
Padrão	173,62 ± 17,41[c]	486,66 ± 33,01[c]	671,10 ± 57,27[d]	783,644 ± 59,74[b]

Resultados estão expressos como média ± desvio padrão, de seis repetições. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Cabe ressaltar a distribuição dos dados, a amplitude dos mesmos, bem como sua variação e traçar um comparativo entre as amostras, como mostra a Figura 7. Observando-se a Tabela 6 no T=0, o pão adicionado de Inulina resulta em uma maior variação quando comparado as demais amostras e com o passar do tempo as amostras se tornam mais homogêneas, perdem umidade para o meio e consequentemente ficam mais firmes.

A umidade (Tabela 4) manteve-se praticamente constante ao longo dos 21 dias de análises, porém o mesmo não ocorreu com a textura (Tabela 6) que apresentou uma acentuada diminuição da maciez durante o mesmo período. Esta mudança da textura reflete no momento do consumo do produto, gerando a impressão de um produto mais seco à percepção do consumidor, já que o

envelhecimento do pão durante o armazenamento leva ao endurecimento do miolo.

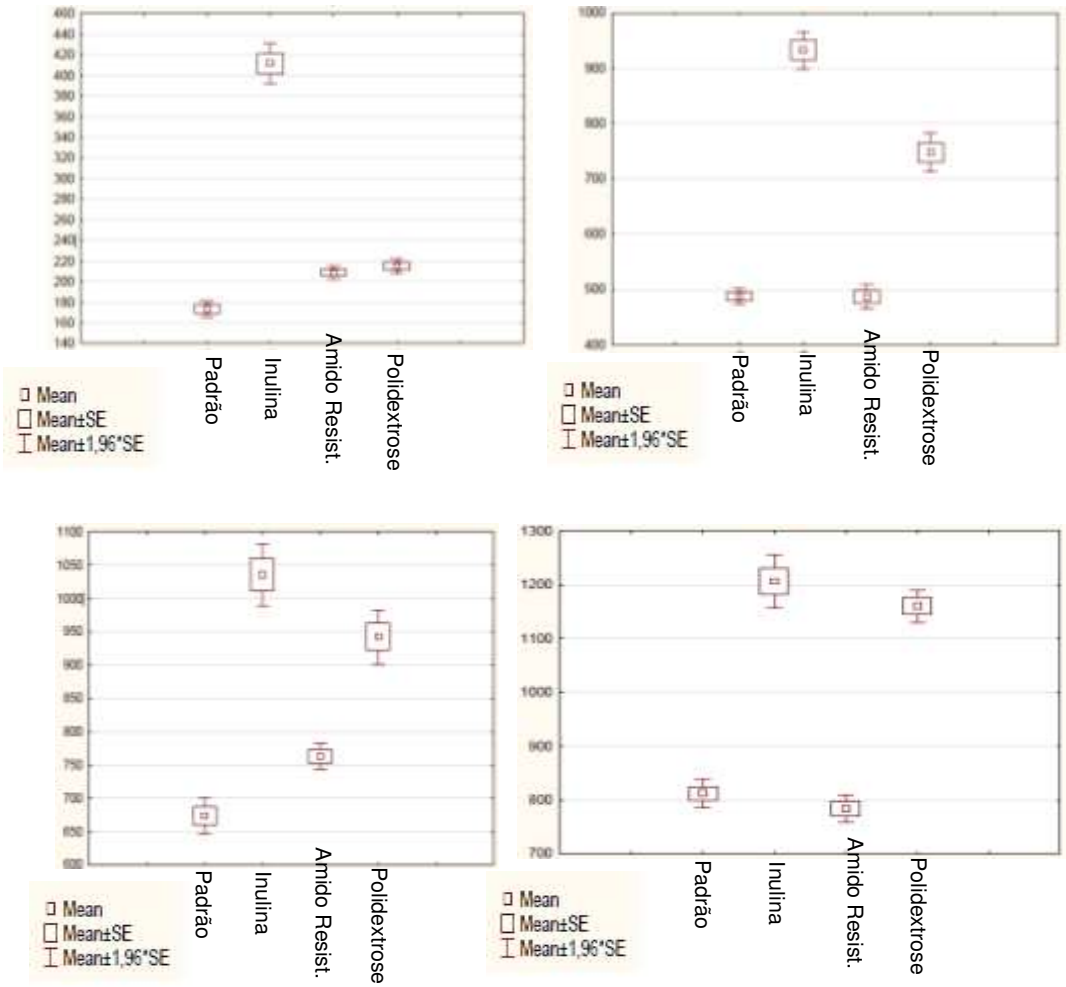


Figura 7. Dispersão dos Resultados de firmeza dos pães.
Fonte: arquivo pessoal.

Neste estudo a adição de amido resistente aos pães de forma conferiu-lhes maior maciez e características essenciais, como: superfície uniforme, miolo de coloração clara, elástico e homogêneo, com poros finos e casca fina e macia (Figura 8). Estes resultados corroboram o estudo de korus et al. (2009), onde os autores relataram que o aumento da quantidade de amido resistente refletiu na diminuição da dureza do miolo do pão. Assim como Tsatsaragkou et al. (2014) desenvolveram pão sem glúten de farinha de arroz substituído com farinha de alfarroba e amido resistente e com base nos resultados experimentais concluíram que o amido resistente pode ser incorporado com sucesso em pães sem glúten, mesmo em doses elevadas.

Tsatsaragkou et al. (2014) concluíram também que além dos parâmetros físicos adequados conferidos aos produtos, foram incorporadas aos mesmos, quantidades importantes de fibras alimentares, é importante ressaltar que o mesmo evento já havia sido constatado por korus et al. (2009), onde a adição de 20% amido resistente elevou significativamente as frações de fibras alimentares insolúveis, solúveis, o que resultou em um conteúdo de fibra alimentar total igual a 6,30%, o que contribuiu positivamente para a qualidade nutricional dos pães, porém este parâmetro não foi avaliado neste estudo por não fazer parte do escopo do projeto da pesquisa.

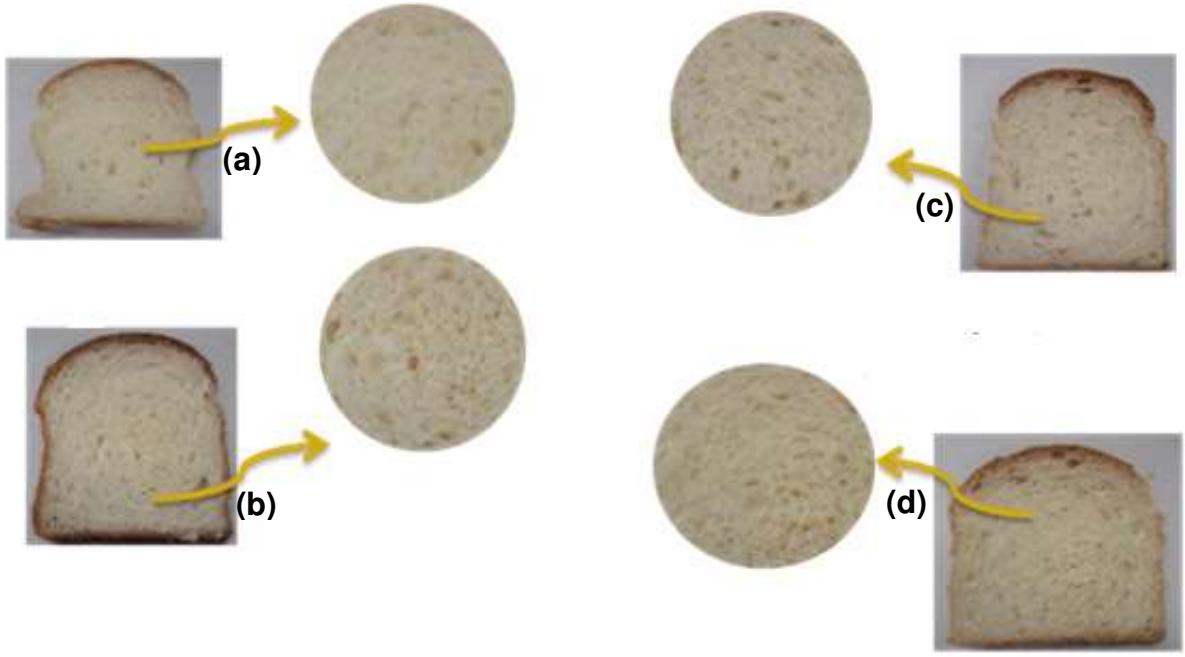


Figura 8. Estruturas e características dos miolos dos pães **(a)** padrão, **(b)** inulina, **(c)** amido resistente e **(d)** polidextrose.

Fonte: arquivo pessoal.

Segundo Esteller (2007) a cor é uma importante característica de produtos panificáveis e que juntamente com a textura e o aroma, são os fatores determinantes para a preferência do consumidor. Todas as fibras utilizadas neste trabalho apresentaram efeitos positivos em relação a cor característica (Figura 8) do pão convencional , o oposto aconteceu no estudo de Oliveira et al. (2015), onde os autores concluíram que a adição de farinha de banana verde influenciou na cor dos pães, resultando em produtos mais escuros em relação a formulação padrão.

Portanto, neste estudo o uso de amido resistente em pão de forma demonstrou resultados importantes de textura, em relação a firmeza, mantendo

praticamente a mesma qualidade em relação ao pão de forma padrão e superior aos demais pães avaliados, e também quando comparado aos resultados obtidos em outros estudos com a utilização de outras fontes de fibras (SILVA, 2009; PERESSINI & SENSIDONI, 2009). Além disso, o amido resistente, inulina e polidextrose por se tratarem de fibras brancas provavelmente não poderão interferir na aparência (Figura 8) esperada pelo consumidor para este tipo de produto.

2 CONCLUSÃO

A formulação com amido resistente apresentou textura macia equivalente ao pão de forma padrão durante todo período de armazenamento (*shelf life*).

Todas as fibras utilizadas neste estudo atribuíram aos pães características físicas positivas análogas ao pão de forma tradicional.

O estudo foi decisivo para comprovar a importância e o impacto positivo da utilização de amido resistente, inulina e polidextrose no desenvolvimento de pães de forma de alta qualidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th. Saint Paul: AACC, 2000. 1200p.

AOAC, **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. LATIMER Jr., G. W. (Ed.). AOAC, 19th Ed. 2012. Gaithersburg, Maryland, 2012.

ASP, N. G. Resistant starch Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European Flair Concerted Action nº 11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. **European Journa Clinicla Nutrition**, 46(2 Suppl):S1, 1992.

BARROS, J. H. T.; FRANCO, C. M. L. **Efeito da adição inulina sobre as características reológicas e térmicas da farinha de trigo**. XX-Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), 2014. Disponível em; http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/efeito-da-adio-inulina-sobre-as-caractersticas-reolgicas-e-trmicas-da-farinha-de-trigo-17072. Acesso em: 23/11/2015.

BRASIL, J. A.; SILVEIRA, K. C.; SALGADO, S. M, LIVERA, ZELYTA PINHEIRO DE FARO, A. V. S.; GUERRA, N. B. Effect of the addition of inulin

on the nutritional, physical and sensory parameters of bread. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.** vol. 47, n. 1, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000.** Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/973c370047457a92874bd73fbc4c6735/RDC_90_2000.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 7 de setembro, 2015

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC 54, de 12 de novembro de 2012, Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar.** Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 25 maio 2015.

CASTIGLIONI, G. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; SOUZA, T. A. C.; SILVA, F. A.; CALIARI. M. Tamanho dos alvéolos e aceitação de pães de forma enriquecidos com farelo de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 2, p. 127-134, 2014.

CARPITA, N. C.; KANABUS, J.; HOUSLEY, T. L. Linkage structure of fructans and fructan oligomers from triticum-aestivum and festuca-arundicacea leaves, **Journal of Plant Physiology**, Germany, v.134, n.2, p.162-168, 1989.

CARVALHO JR, D. J. B. **O trigo e a aplicação de enzimas na industrialização de alimentos derivados**. Curitiba: Granotec do Brasil S.A., 2008.

CRAIG, S. A. S. et al. Polydextrose as Soluble fiber: Physiological and Analytical Aspects. **American Association of Cereal Chemists**. Vol 43, n.05. NY, 1998.

DAVY, B. M.; DAVY, K. P.; H. O. R. C.; BESKE, S. D.; DAVRATH, L. R.; MELBY, C. L. High-fiber oat cereal compared with wheat cereal consumption favorably alters LDL-cholesterol subclass and particle numbers in middle-aged and older men. **American Journal Clinical Nutrition,** 76(2): p.351-358, 2002.

ESTELLER, M. S. **Modificações estruturais de produtos panificados por processos de tratamentos térmico e bioquímico**. São Paulo, 2007. 154p. Tese (Doutor em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ESTELLER, M. S.; LANNES, S. C. S. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.802-806, 2005.

FERREIRA, S. M. R.; OLIVEIRA, P. V.; PRETO, D. Parâmetros de qualidade do pão francês. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos,** v.19, n.2, p.301-318, 2001.

GUTKOSKI, L. C.; MAZZUTTI, S.; DURIGON, A.; COLUSSI, R.; CEZARE, K.; COLLA, L. M. Efeito do extrato de malte de aveia nas características físicas de pão de forma. **Brazilian Jounal Food Technology**, p. 64-69, 2010.

HOPEK, M.; ZIOBRO, R.; ACHREMOWICZ, B. Comparison of the effects of microbial α-amylases and scalded flour on bread quality. **Acta Science**, v. 5, n. 1, p. 97-106, 2006.

KORUS, J.; WITCZAK, M.; ZIOBRO, R.; JUSZCZAK, L. C. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread. **Food Hydrocolloids**, v.23, p. 988–995, 2009.

LIMA, A. S. MACIEL, J. F.; QUEIROGA, R. C. R. E.; NETO, E. A. L.; ANJOS, U. U.; FARIAS, L. R. G. F. Avaliação físico-química e sensorial de pães de forma enriquecidos com soro de leite em pó. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, 68(3), p.66-72, 2009.

MOINHO RIO NEGRO. **Apostila de panificação**. Curitiba, 1997.

MORRIS, C.; MORRIS, G. A. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: A review**. Food Chemistry**. v.133, p.237–248, 2012.

OLIVEIRA, D. A. S. B., MÜLLER, P. S.; FRANCO, T. S.; KOTOVICZ, V.; WASZCZYNSKYJ, N.; AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PÃO COM ADIÇÃO DE FARINHA E PURÊ DA BANANA VERDE. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal** - SP, v. 37, n. 3, p. 699-707, 2015.

PASSOS, L. M. L.; PARK, Y. K. Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p385-390, 2003.

PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. **Journal of Cereal Science** 49(2, p.190 - 201, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15 ed. Piracicaba: FEALQ. 451p. 2009.

POMERANZ, Y. 1987. Bread around the world. En: Pomeranz, Y. (ed). **Modern Cereal Science and Technology**.VCH Publishers, New York, p. 258-333.

SÁNCHEZ, H. D.; OSELLA, C. A.; TORRE, M. A. G. Mejoramiento de la calidad nutricional de pan tipo francés. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición,** v.48, n.4, p.349-353, 1998.

SAS INSTITUTE INC. **SAS Use's Guide. Cary: SAS Institute Inc**. 1028p. 1983.

SILVA, L. 2009. **Efeito da fermentação utilizando Aspergillus oryzae sobre as características funcionais, tecnológicas e físico-químicas da farinha de soja integral e aplicação em pão de forma funcional**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, M. R.; SILVA, M.; CHANG, Y. K. Utilização da farinha de jatobá (Hymenaea stigonocarpa Mart.) na elaboração de biscoitos tipo cookie e avaliação de aceitação por testes sensoriais afetivos univariados e multivariados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 25-34, 1998.

SLAVIN, J. L. Whole grains and human health. **Nutrition Research Reviews**; 17: p. 99–110, 2004.

TSATSARAGKOU, K.; GOUNAROPOULOS, G.; MANDALA, I. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. **LWT - Food Science and Technology**, v.58, p.124-129, 2014.

WITCZAK, M.; JUSZCZAK, L.; ZIOBRO, R.; KORUS, J.; Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. **Food Hydrocolloids**, v.28, p.353-360, 2012.

Sobre os Autores:

Jaciara Coelho SETIN
Graduada em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Jaguariúna – FAJ. Engenheira de Desenvolvimento e Aplicação da Ingredion Ingredientes Alimentícios. **email:** jaciara.coelho@ingredion.com; jaci_eng@yahoo.com.br

Profa. Dra. Vera Sônia NUNES DA SILVA
Doutora em Alimentos e Nutrição e Mestra em Ciência da Nutrição Aplicada a Tecnologia de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP e Graduada em Química pela Universidade Metodista de Piracicaba. Professora da Faculdade de Jaguariúna - FAJ. **e-mail:** nunesdasilva.verasonia@gmail.com e Pesquisadora contratada do Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL. **e-mail:** vera.silva@ital.sp.gov.br

Agradecimentos

A Faculdade de Jaguariúna - FAJ pela oportunidade de desenvolver o projeto.

A Empresa Ingredion Brasil Ingredientes Industriais Ltda pelo apoio à pesquisa e doação do Amido Resistente, Inulina e Polidextrose.

ÍNDICES QUE ANALISAM A AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS

Index to analyze the automation of processes

SORRENTINO, Antonio Almeida
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP

MALERBI, Márcio de Moraes
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP

AGOSTINHO, Oswaldo Luiz
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP

SILVA, Ludmila Corrêa de Alkmin
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP

DEDINI, Franco Giuseppe
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP

Resumo: Nos últimos anos a automação de operações e processos tem criado oportunidades e desafios para empresas que desejam se manter competitivas neste mercado de constantes mudanças. A automação normalmente possibilita obter melhores resultados em termos de qualidade, sobre o controle e segurança das informações, na velocidade na execução de atividades, bem como na redução de custo. Entretanto, a tecnologia sozinha não é capaz de tornar as organizações mais competitivas, eficientes ou orientadas para a qualidade. Muito mais importante do que definir como usar os computadores (ou tecnologia da informação) para melhorar os processos de negócio é identificar quais deles precisam ser aperfeiçoados (João, 2012). O importante é estabelecer como as operações de negócio devem acontecer e quais as exigências chave dos negócios. Depois disso é que deve ser escolhido um software que se adapte melhor às necessidades da empresa (Turban e Volonino, 2011). O risco é investir muito tempo e dinheiro em processos de negócios pouco relevantes (João, 2012). Por isso as ações, iniciativas e investimentos em automação de processos devem considerar a organização como um todo, para que haja equilíbrio e harmonia entre as operações e informações da empresa, evitando assim o desperdício de recursos e o aparecimento de "ilhas de informação" e "gargalos" nos processos. Neste sentido, este artigo propõe a utilização de um modelo para medir e analisar o uso eficiente dos recursos de automação dos processos de uma organização. Para isso, o "modelo de índice de automação" foi aplicado em uma empresa do setor de serviços, e os resultados obtidos permitem avaliar como a empresa está estruturada em relação aos recursos de automação que utilizam para a operação dos seus negócios.

Palavras-chave: Automação de Processos, Processos, Índice de Automação.

Abstract: In the last years the automation of operations and processes has created opportunities and challenges for companies which desire to remain competitive in this changing market. Automation usually provides good results in terms of quality, control and security of information, velocity to execute activities, as well over cost reduction. However technology alone is not able to lead organizations to be more competitive, efficient and quality-oriented. More important than define how to use computers (or information technology) to improve the business processes, is to identify which one need to be improved (John, 2012).The important thing is to establish how the business operations must be done and which are the key business requirements. After that is possible to choose the software that fit the company's needs (Turban and Volonino, 2011). The risk is invest much time and money in business processes that are not important (John, 2012).Therefore actions, initiatives and investments in process automation should consider all the organization, to provide balance and harmony between operations and company information, avoiding waste of resources and produce "islands of information" and "bottlenecks" in the processes.The article proposes the use a model to measure and analyze the use efficient of automation resources of organization's processes. Aiming to demonstrate the "automation index model" the model was applied at a service sector company, and the results obtained allow analyze how the company is structure in terms of automation resources used to business operation.

Key-words: Process Automation, Process, Process Automation Index

1. Introdução

A automação de processos, operações e controles é uma grande tendência nas organizações. Os sistemas de produção são denominados "automatizados" porque executam suas operações com um nível reduzido de participação humana se comparado ao processo manual equivalente (Groover, 2011). Automatizar processos de negócio significa informatizá-los, transformá-los em sistemas baseados na tecnologia da informação (TI) (Stadler *et al*, 2013). A automação inclui apoio informatizado a projetos de engenharia, automação de transportes e armazenamento, operações e processos de fabricação, controle da qualidade, processamento de informações, e vários outros tipos de operações e processos (Torres, 1995).

Para Vieira (2003), a automação busca obter melhor qualidade dos processos, uma redução de tempo e custos. Além disso, a automação aumenta a eficiência, a agilidade e a capacidade de comercialização de novos produtos. Por isso, é a chave para determinar as ineficiências e os gargalos em um processo (Kemsley e Sandy, 2015).

As ações, iniciativas e investimentos em automação devem considerar a organização como um todo, para que não haja desperdício de recursos e o aparecimento de "ilhas de informação" e "gargalos" nos processos. Neste contexto uma "ilha de informação" representa a falta de informações que deveriam ser recebidas ou enviadas por uma determinada área da empresa, que podem afetar um processo ou uma tomada de decisão. Já o termo "gargalo" representa uma restrição relacionada à falta de capacidade de um processo, que também é chamado, sob certas condições, de recurso restritivo de capacidade (Krajewski *et al*, 2009)

Este intenso fluxo de informações que cruza as várias áreas e níveis organizacionais, funciona como elemento integrador que garante a sinergia necessária para que o sistema produza resultados por meio da interação e colaboração das pessoas e órgãos, no que se refere ao alcance dos objetivos organizacionais (Chiavenato, 2010). Esta integração é obtida aplicando o mesmo nível de automação nas diversas atividades dos processos de negócios da organização (Bittar *et al*, 2012).

É possível analisar o nível de equilíbrio e harmonia da automação dos processos, utilizando o **modelo de análise de índices de automação**, desenvolvido por Agostinho (1995). Com este modelo é possível identificar o nível de recursos de automação utilizados para operação do negócio da empresa, e assim identificar quais processos ou conjuntos de atividades precisam ser desenvolvidos, bem como identificar a necessidade de investimento em automação. Está análise poderá ser realizada nos atuais recursos de automação, como também naqueles que se pretende implantar.

A avaliação é feita sobre os conjuntos de processos ou atividades dos departamentos. A organização terá características de integração estrutural quando os índices de automação dos processos forem semelhantes (Bittar *et al*, 2012). O termo "integração estrutural" da organização representa neste contexto, equilíbrio e harmonia, cujos termos serão utilizados neste trabalho.

O modelo foi aplicado em uma empresa do setor de serviços, e os resultados indicam como os recursos de automação estão em equilíbrio e harmonia.

A rápida e eficiente troca de informações entre as áreas analisadas, podem ser validadas com os recursos de automação, gerando vantagens tais como, agilidade nos processos e maior velocidade nas decisões. Observa-se também que a falta de equilíbrio e harmonia na automação dos processos geram desperdícios de recursos, atrasos e demais fatores que influenciam a competitividade da organização.

2. Automação

A tecnologia de informação (TI) automatiza tarefas, auxilia a visualização e gestão do processo, sincroniza atividades, coordena esforços, fornece dados e monitora o desempenho (Gonçalves, 2000).

A tecnologia é efetiva quando a complexidade ou quantidade de informações processada é grande para gerenciar com métodos manuais. A automação reduz tempo e custos, reduz defasagens de tempo e age como um assistente a esforços humanos (Pavani e Scucuglia, 2011).

A automação pode ser classificada em rígida e programável.

2.1 Automação rígida (ou fixa)

A automação é considerada rígida ou fixa quando o atributo humano decorrente do seu esforço mental é substituído por equipamentos mecânicos (Agostinho, 1995). Neste caso a sequência das operações de processamento (ou montagem) é definida pela configuração do equipamento (Groover, 2011).

Automação é rígida quando destinada a um conjunto planejado e predeterminado de tarefas, não sendo possível sua utilização em outros tipos de operações (Torres, 1995).

A automação fixa, que é especialmente indicada para processos em linhas e de fluxo contínuo, produz um tipo de peça ou produto em uma sequência fixa de operações simples. Os gerentes de operações optam pela automação fixa quando os volumes de demanda são altos, os projetos de produtos estão estáveis e o ciclo de vida dos produtos é longo. Essas condições compensam as duas desvantagens primordiais do processo, que são o grande investimento inicial e a relativa inflexibilidade. A automação fixa, porém, maximiza a eficiência e permite os mais baratos custos variáveis por unidade se os volumes forem grandes (Krajewski et al, 2009).

2.2 Automação programável (ou flexível)

A automação é considerada programável ou flexível quando pode ser modificada facilmente para manipular vários produtos. A capacidade de reprogramar máquinas é útil tanto para processos de baixa, quanto de alta customização (Krajewski et al, 2009).

Na automação programável, o equipamento de produção é projetado com a capacidade de modificar a sequência de operações de modo a acomodar diferentes configurações de produtos. (Groover, 2011). Neste caso, o atributo humano decorrente ao seu esforço mental é substituído por um programa de instruções residente em um computador (Agostinho, 1995)

2.3 Índice de Automação dos processos

O modelo de índice de automação permite analisar e classificar o conjunto de atividades quanto ao nível de automação aplicado.

Neste contexto, **processos** são constituídos pelo conjunto das atividades inter-relacionadas que transformam insumos (entradas) em produtos

(saídas) de valor para o cliente, que pode ser interno ou externo (FNQ, 2014). Os processos podem ser classificados em **processos principais** (ou processos-chave) que são aqueles que entregam valor diretamente ao cliente, uma vez que representam as atividades essenciais que uma organização executa para cumprir sua missão; e **processos de apoio** (ou processos secundários) que são aqueles que dão suporte aos processos principais, e não agregam valor diretamente ao cliente (ABPMP, 2013).

Para avaliar o índice de automação, o modelo estabelece uma faixa que inicia em menos um (-1), passa por zero (0), e vai até mais um (+1).

Se um conjunto de atividades for executado pelo homem, sem utilização de recurso de automação, o seu índice de automação será classificado como zero **(0).**

Se o conjunto de atividades, que envolve esforço mental, for substituído por equipamentos mecânicos, o índice de automação será menos um **(-1),** e classificado como **automação rígida**. E por fim, se o conjunto de atividades, que envolve esforço mental, for substituído por um programa de instruções residente em um computador, o índice de automação será mais um **(+1)** e classificado como **automação programável**. (*Figura 1*).

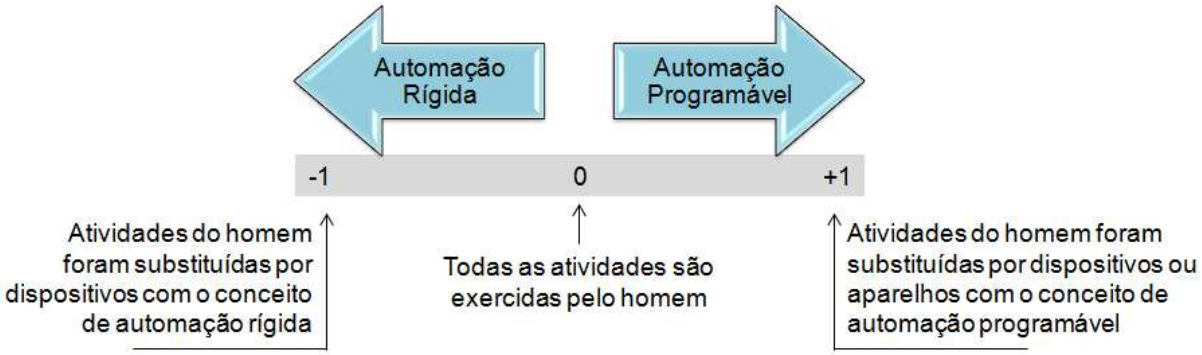


Figura 1 – Índice de automação; adaptado de Agostinho, 1995

Este índice de automação (***i*A**), programável (***i*Ap**) ou rígido (***i*Ar**), é calculado a partir da relação entre o número de atividades automatizadas sobre o total de atividades realizadas:

$$i\,A = \frac{n\,A}{n\,T}$$

onde:

$i\,A$ = índice de automação

$n\,A$ = número de atividades do homem, substituídas por dispositivos ou aparelhos com conceito de automação.

$n\,T$ = número total de atividades exercidas pelo homem

Para facilitar a classificação e análise dos conjuntos de atividades (ou processo), o modelo prevê a utilização de valores numéricos intermediários, formando assim a seguinte escala para o índice de automação *(Figura 2)*:

Índice de automação rígida	Índice de automação programável
- 0,33 baixo	+ 0,33 baixo
- 0,66 médio	+ 0,66 médio
- 1,0 alto	+ 1,0 alto



Figura 2 – Escala de índice de automação; adaptado de Agostinho, 1995

A avaliação do equilíbrio e harmonia na automação dos processos é feita analisando-se simultaneamente três processos (ou conjuntos de atividades), cujos valores são dispostos em três eixos ortogonais, onde $i\,Ap$ representa o eixo dos índices de automação programáveis e $i\,Ar$ representa o eixo dos índices de automação rígida. Aos valores numéricos da escala do índice de automação foram associadas letras, de *A* até *I*, para facilitar a referência e localização dos valores (*Figura 3*).

Para aplicação do modelo e facilitar o entendimento, serão avaliados apenas os **índices de automação programáveis** ($i\,Ap$) (*Figura 4*).

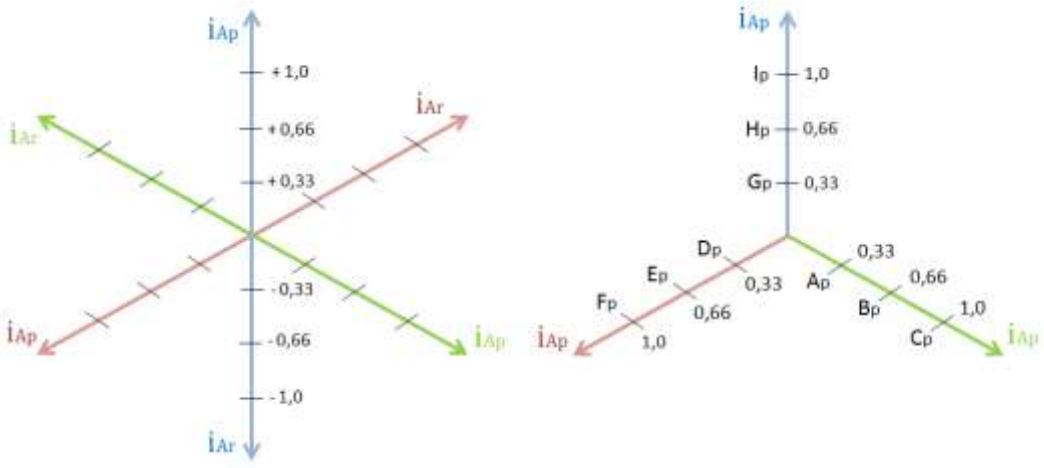


Figura 3 – Eixos dos índices de automação; adaptado de Agostinho, 1995

Figura 4 – Eixos dos índices de automação programáveis; adaptado de Agostinho, 1995

Uma organização terá características de equilíbrio e harmonia na automação dos processos quando os três conjuntos de atividades avaliados, tiverem o mesmo índice de automação nos três eixos. No exemplo abaixo (*Figura 5*), três conjuntos de processos foram analisados e o índice de automação resultou em 0,66, ou seja, um valor de automação médio. O equilíbrio e harmonia ocorrem também se nos três eixos os valores fossem 0,33 (baixo) ou 1,0 (alto). O equilíbrio e harmonia indica que a utilização da automação se aplica aos três processos (ou conjuntos de atividades), colaborando assim, para uma troca eficiente de informações.



Figura 5 – Exemplo de integração estrutural

Este modelo de análise através de índice de automação permite visualizar o *"modus operandi"* das organizações, quanto aos recursos de automação utilizados para operação do seu negócio, o seu nível de equilíbrio e harmonia, e assim identificar os processos e atividades que podem representar as "ilhas de informação" ou "gargalos" cujos processos necessitam ser desenvolvidos ou necessitam investimento em automação.

3. Aplicação do índice de automação

Para demonstrar a aplicação do modelo de índice de automação, foi selecionada uma empresa de médio porte do setor de serviço, denominada aqui, empresa ABC. As atividades realizadas por essa empresa já eram de conhecimento dos autores deste artigo, uma vez que nessa empresa foi

realizado o mapeamento de todos os processos visando identificar oportunidades de melhoria.

Utilizando o modelo de análise de índices de automação foi possível realizar uma avaliação do equilíbrio e harmonia dos processos. Os resultados indicam como esta empresa está estruturada em relação aos recursos de automação que utiliza para a operação dos seus negócios.

Para facilitar o entendimento da aplicação do modelo, foram selecionados apenas três processos relacionados às áreas de (1) Controles Contábeis; (2) Custos e (3) Atividades Legais e Auditorias.

A escolha dos processos e o critério de classificação das atividades para cada um dos índices de automação (baixo, médio ou alto), são feitas pela própria empresa, conforme sua realidade, priorizando os processos principais e posteriormente os processos de apoio.

3.1. Controles Contábeis

Segundo Rezende e Favero (2004), controles contábeis que fazem parte do controle interno, são procedimentos e planos de organização do ativo da empresa e a garantia de que as contas e os relatórios financeiros são merecedores de confiança. Este controle tem como objetivo o registro das transações quando necessárias, permitindo demonstrações e manutenção sobre o ativo da empresa.

Dos controles contábeis realizados pela empresa ABC, foram selecionados três dos principais processos (ou conjuntos de atividades): (1) executar o planejamento financeiro e contábil, (2) gerenciar contabilização da receita e (3) executar contabilidade geral e relatórios.

As características das atividades desenvolvidas nos processos foram analisadas e classificadas quanto ao uso de recurso de automação, ou seja, se as atividades apresentam baixo (0,33), médio (0,66) ou alto (1,0) índice de automação.

A tabela 1 apresenta os critérios utilizados pelos autores para a classificação das atividades dos processos, relacionados aos Controles Contábeis.

Tabela 1 – Classificação das atividades do processo Controles Contábeis

Fazer planejamento financeiro e contábil	
Ausência de registros de dados;	IA 0,33 (baixo)
Ausência de planilhas eletrônicas ou sistemas para registro de dados;	
Ausência de relatórios para identificar resultados e tendências;	
Planejamento das ações futuras é feito manualmente;	
São produzidos relatórios para registros de dados;	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para registro de dados;	
São definidos Indicadores de Desempenho a partir das planilhas eletrônicas;	
Padrões são estabelecidos para registros dos dados das áreas;	IA 1,0 (alto)
Sistema de Informação coleta automaticamente os dados das áreas;	
São gerados automaticamente os Indicadores de Desempenho;	
Relatórios de oportunidades e tendências.	
Gerenciar contabilização da receita	
Não há critérios de classificação e registros das receitas;	IA 0,33 (baixo)
Ausência de planilhas eletrônicas ou sistemas para coleta de dados;	
Ausência de relatórios gerenciais;	
São definidos critérios para classificação e registro das receitas	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para coleta de dados;	
A produção de relatórios gerenciais é demorada e feita manualmente;	
São utilizados os critérios para classificação e registro das receitas	IA 1,0 (alto)
Sistema de Informação coleta os dados atualizados;	
São produzidos relatórios gerenciais detalhados e atualizados.	
Executar contabilidade geral e relatórios	
Não há critério de classificação das contas contábeis;	IA 0,33 (baixo)
Não há registro e relatórios das contas contábeis;	
São definidos critérios para classificação e registro das contas contábeis;	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para registro das contas contábeis;	
Relatórios contábeis são produzidos anualmente;	
São utilizados os critérios para classificação e registro das contas contábeis;	IA 1,0 (alto)
Sistema de Informação coleta os dados atualizados das contas contábeis;	
São produzidos relatórios contábeis detalhados e atualizados.	

Os resultados do índice de automação dos processos relacionados aos Controles Contábeis (*Figura 6*) indica que há utilização de recursos de

automação no processo de gerenciamento (Bp 0,66) e no processo de execução (Ep 0,66), entretanto, para o processo de planejamento, o uso de recurso de automação é menor (Gp 0,33). O ideal é que este último índice de automação também seja 0,66 para gerar equilíbrio e harmonia na aplicação dos recursos de automação.

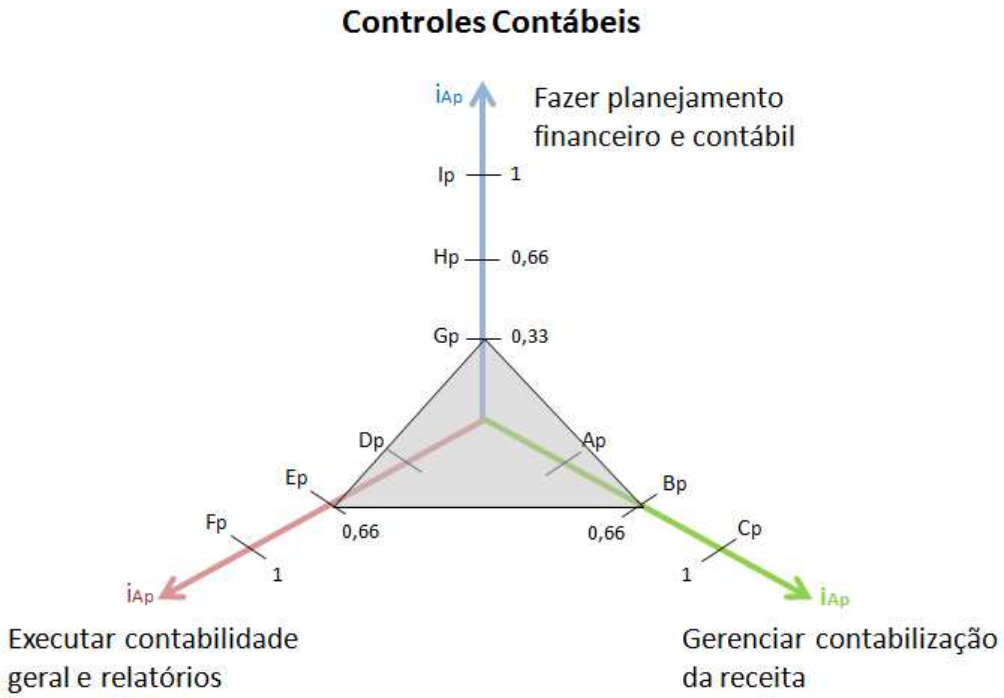


Figura 6 – Índices de automação nos Controles Contábeis

3.2. Custos

A rápida evolução tecnológica que vem ocorrendo desde o final do século XX, em resposta a um ambiente competitivo mais intenso, tem obrigado as empresas a reformular continuamente suas estratégias e a se preocupar cada vez mais com a gestão de custos. Os custos de uma empresa resultam da combinação de diversos fatores, entre os quais a capacitação tecnológica e produtiva no que diz respeito a processos, produtos e gestão; o nível de atualização da estrutura operacional e gerencial; e a qualificação da mão de obra (Migliorini, 2011).

Desta forma, tornam-se relevantes o uso de automação no planejamento, gestão e contabilização dos custos Referente aos custos, foram selecionados três dos principais processos (ou conjuntos de atividades): (1) realizar planejamento, orçamentos e previsões; (2) realizar contabilidade de custos e controle; e (3) realizar a gestão de custos.

A tabela 2 apresenta os critérios utilizados pelos autores para a classificação das atividades dos processos, relacionados a Custos.

Tabela 2 – Classificação das atividades do processo Custos

Realizar planejamento, orçamentos e previsões	
Não há registro de orçamentos;	IA 0,33 (baixo)
Ausência de planilhas eletrônicas para registro dos dados;	
Não há previsão orçamentária e relatórios gerenciais.	
São definidos procedimentos para execução de orçamentos;	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para a previsão orçamentária;	
A produção de relatórios gerenciais demanda muito tempo.	
Sistema de informação registra os dados para a elaboração dos orçamentos;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação integra os dados das áreas para planejamento periódico orçamentário;	
São gerados automaticamente relatórios gerenciais.	
Realizar contabilidade de custos e controle	
Não há registro dos custos;	IA 0,33 (baixo)
Ausência de planilhas eletrônicas para registro dos custos;	
Não há previsão de custos e relatórios gerenciais.	
São utilizadas planilhas eletrônicas para registros dos custos;	IA 0,66 (médio)
O cálculo dos custos dos produtos e serviços demanda muito tempo e esforço;	
A produção de relatórios gerenciais demanda muito tempo.	
Sistema de informação registra os dados para cálculo dos custos;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação integra os dados das áreas e calcula automaticamente os custos dos produtos e serviços;	
São gerados automaticamente relatórios gerenciais dos custos de produtos e serviços.	
Realizar gestão de custos	
Não há registro de custos para cálculo de indicadores gerenciais;	IA 0,33 (baixo)
Ausência de planilhas eletrônicas para gerar relatórios de controle;	
São definidos os indicadores de desempenho para gestão dos custos;	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para registro dos dados e cálculo dos indicadores;	
São gerados relatórios de controle dos custos.	
Sistema de informação é utilizado para registro das informações de cada área;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação integra os dados das áreas para cálculo dos indicadores;	

São gerados automaticamente relatórios gerenciais.	

Os resultados do índice de automação dos processos relacionados a Custos (*Figura 7*) indica a utilização de recursos de automação para realizar a contabilidade de custos e controle (Bp 0,66), porém, são utilizados menos recursos de automação nas atividades de Planejamento (Gp 0,33) e Gestão (Dp 0,33). O modelo ideal para este caso ocorre quando se utiliza o recurso de automação existente para as atividades de Planejamento (Hp 0,66) e Gestão (Ep 0,66).

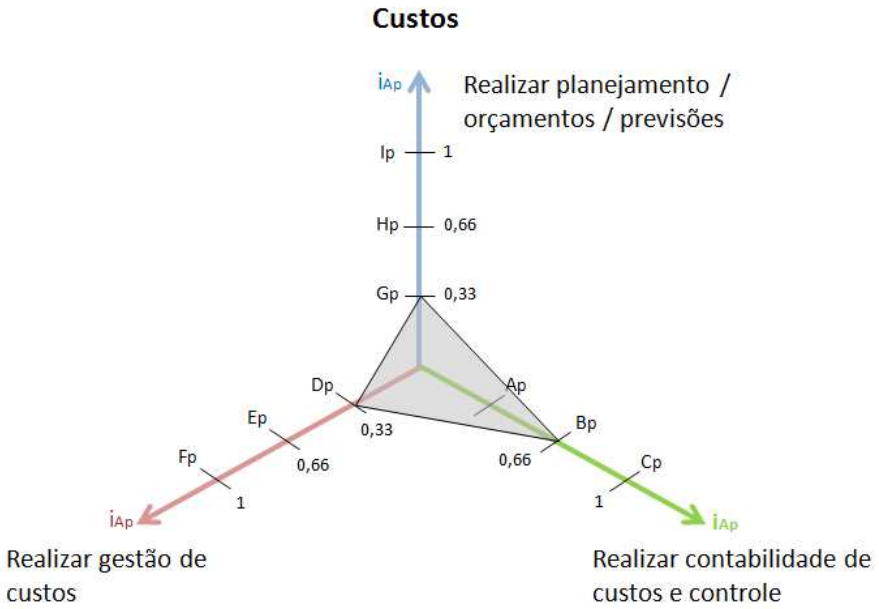


Figura 7 - Índices de automação em Custos

3.3. Atividades Legais e Auditorias

As atividades de auditoria e atividades legais exercem um papel importante para o bom funcionamento da organização, por contribuir para a confiabilidade e transparência das informações, para a conduta ética nos relacionamentos com clientes, fornecedores e acionistas, e para a adequação às normas, procedimentos e regulamentações do setor de atuação da empresa.

Para análise dos índices de automação foram selecionados três dos principais processos (ou conjunto de atividades): (1) gerenciar problemas legais e éticos; (2) proteger propriedade intelectual; e (3) gerenciar programas de relações públicas.

A tabela 3 apresenta os critérios utilizados pelos autores para a classificação das atividades dos processos, relacionados às Atividades Legais e Auditorias.

Tabela 3 – Classificação das atividades do processo Atividades Legais e Auditoria

Gerenciar problemas legais e éticos	
Ausência de padrão ético formalizado;	IA 0,33 (baixo)
Não há sistema de informação para comunicação direta com os funcionários;	
Não há cobrança do comportamento ético dos funcionários.	
São estabelecidos e formalizados padrões mínimos de comportamento ético;	IA 0,66 (médio)
Utilizado email para disponibilizar aos funcionários os padrões estabelecidos;	
São definidos critérios para acompanhamento do cumprimento dos padrões éticos.	
Sistemas de informação são utilizados para disponibilizar e divulgar os padrões éticos estabelecidos;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação mantém atualizado e disponível os documentos relacionados ao comportamento ético (procedimentos, código de conduta);	
Sistema de informação registra os dados para acompanhar o grau de eficiência no cumprimento dos padrões estabelecidos pela organização.	
Proteger Propriedade Intelectual	
Não há informações sobre patente ou direito imaterial;	IA 0,33 (baixo)
Não há sistema de informação para registro de propriedade intelectual;	
Não há preocupação quanto ao registro das informações e etapas do desenvolvimento do produto.	
São estabelecidos critérios sobre patente ou direito imaterial;	IA 0,66 (médio)
Disponibilizada solução de tecnologia (Ex.: email) para propor novas ideias e soluções;	
São utilizadas soluções de tecnologia (Ex.: planilha eletrônica, MS Project) para registrar as etapas do desenvolvimento do produto ou serviço.	
Sistema de informação é utilizado para divulgar os critérios definidos sobre patente ou direito imaterial;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação é utilizado para cadastro de informações dos produtos e verificação de produtos similares no mercado;	
Utilizado uma Base de Dados contendo o registro de todas as etapas do desenvolvimento do produto ou serviço.	
Gerenciar Relacionamento com Fornecedores e Prestadores de Serviço	
Não há critérios para escolha de fornecedores e contratação de terceiros;	IA 0,33 (baixo)
Não há critério para acompanhar a *performance* dos fornecedores e terceiros;	

Não há sistema de informação para cadastro e acompanhamento de fornecedores.	
São definidos critérios e procedimentos para o desenvolvimento e qualificação de fornecedores;	IA 0,66 (médio)
São utilizadas planilhas eletrônicas para cadastrar as informações dos fornecedores e terceiros;	
A produção de relatórios sobre o desempenho dos fornecedores demanda muito tempo.	
São definidos critérios e procedimentos para o desenvolvimento e qualificação de fornecedores e prestadores de serviço;	IA 1,0 (alto)
Sistema de informação é utilizado para registrar e controlar as informações dos fornecedores e prestadores de serviço;	
Sistema de informação produz automaticamente relatórios atualizados sobre os índices de desempenho dos fornecedores e prestadores de serviço.	

Os resultados do índice de automação dos processos relacionados às Atividades Legais e Auditorias (*Figura 8*) indica a existência de mais recursos de automação para as atividades relacionadas ao gerenciamento de problemas legais e éticos (Hp 0,66), e menos recursos de automação para as atividade de proteção da propriedade intelectual (Ap 0,33) e gerenciar relacionamento com fornecedores e prestadores de serviço (Dp 0,33). Neste caso o modelo ideal ocorre quando forem utilizados mais recursos de automação nestes últimos dois processos mencionados, elevando os valores para 0,66 (Bp e Ep).

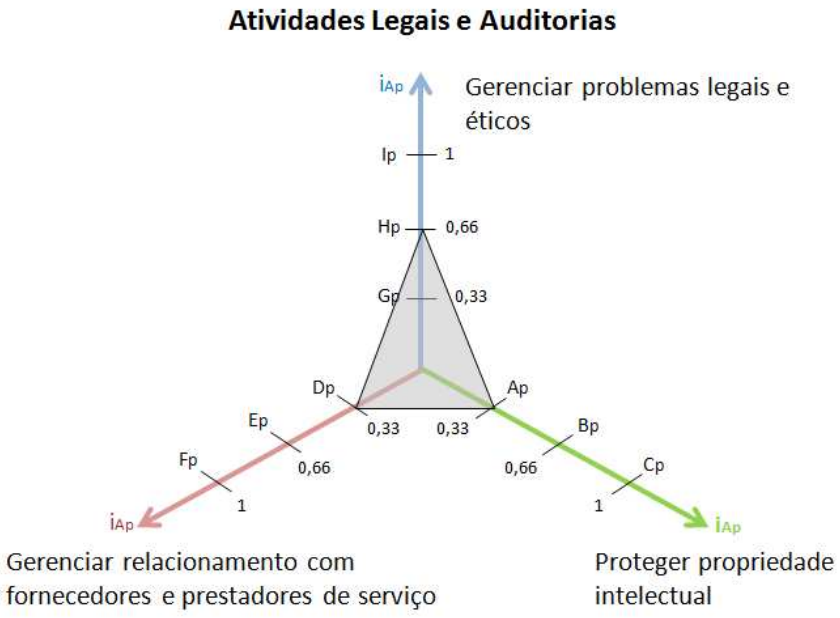


Figura 8 - Índices de automação nas Atividades Legais e Auditorias

3.4. Análise simultânea dos três processos

Além da análise da utilização de automação em processos da mesma área de atividade, pode-se comparar a aplicação de automação em processos de áreas diferentes, mas de preferência, que tenham uma relação direta. Para exemplificar, foram comparados os processos das áreas Controles Contábeis; Custos; e Atividades Legais e Auditorias, conforme representado na *Figura 9*.

O resultado da análise pode indicar, além da falta de integração estrutural, quais áreas da organização são contempladas com mais recursos financeiros em automação, em detrimento dos outras, no momento da análise.

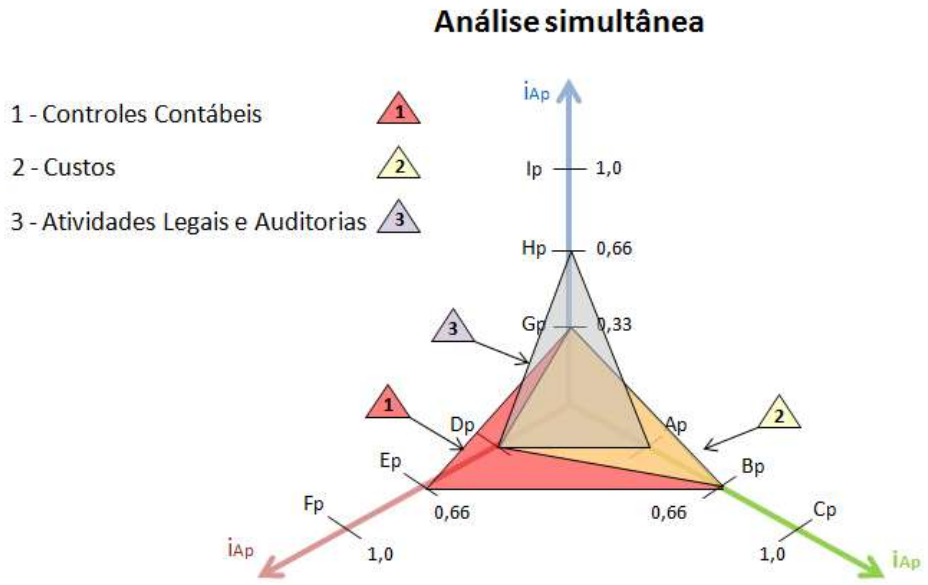


Figura 9 – Análise simultânea dos três processos

O estudo se torna cada vez mais completo ao analisar os demais processos principais da empresa, possibilitando uma visão sistêmica da empresa. Neste trabalho foram analisados apenas três processos que já apresentam oportunidades de melhoria. Para a empresa ABC analisada, haverá uma melhor integração quando forem aplicados nesses três processos mais investimentos em automação.

4. Considerações finais

A aplicação do índice de automação para análise do equilíbrio e harmonia dos recursos de automação utilizados (integração estrutural) mostrou-se uma ferramenta confiável e de fácil aplicação. O trabalho foi desenvolvido para uma empresa de serviço, porém, poderá ser aplicado à

todas as empresas que desejarem identificar e aplicar recursos de automação forma otimizada, para gerar competitividade no mercado.

Conclui-se que a análise pode ser feita para os processos de algumas áreas, como foi feito neste trabalho, mas também pode ser aplicado nas diversas áreas da empresa, dando uma visão sistêmica da automação na empresa.

Haverá um crescimento harmônico em automação quando o investimento ocorrer nos três processos, ou seja, nos três eixos.

Por fim, destacam-se três benefícios da análise da automação dos processos utilizando o "modelo de índice de automação": (1º) pode ser utilizado como uma ferramenta de tomada de decisão, uma vez que auxilia os dirigentes a decidir sobre investimento em automação; (2º) é também uma ferramenta de melhoria, uma vez que indica quais processos devem ser desenvolvidos para obter maior velocidade nas transações e na troca de informações; (3º) permite evitar um fato que ocorre normalmente nas organizações, o investimento em automação realizado de forma isolada, privilegiando alguns departamentos (processos) em detrimento de outros.

Referências Bibliográficas:

AGOSTINHO, O. L.; **Manufatura como pré-requisito de competitividade**; Tese de Livre Docência - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas: s.n., 1995.

ASSOCIATION OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT PROFESSIONALS – ABPMP International; **Common Body of Knowledge v3.0**; 2013

BITTAR, R. C. S. M., AGOSTINHO, O. L., FERNANDES, G.; **Extended Enterprise Integration Model Associated with Automation Index**; ICCGI 2012 : The Seventh International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, p. 243-249, 2012.

CHIAVENATO, I.; **Iniciação a Sistemas, Organização e Métodos** - SO&M, Barueri, SP: Manole, 2010.

CRAINER, S., DEARLOVE, D.; **Estratégia: Arte e Ciência na Criação e Execução**; Editora, Bookman, 2014.

DAVENPORT, T. H., KIRBY, J.; **Beyond Automation** – Strategies for remaining gainfully employed in an era of very smart machines; Harvard Business Review, June 2015 (disponível em https://cb.hbsp.harvard.edu)

DAVENPORT, T., PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998

FUNDAÇÃO NACIONAL DA QUALIDADE – FNQ; **Prêmio nacional da qualidade, ciclo 2014**; (disponível em http://www.fnq.org.br/)

GONÇALVES, J. E. L.; **As empresas são grandes coleções de processos**; Revista de Administração de Empresas - Jan/Mar 2000, São Paulo, v. 40 - n.1 - p. 6-19 (disponível em http://www.uff.br/sta/textos/fs010.pdf)

GRANT, R. M.; **Toward a Knowledge - Based Theory of the firm**; *Strategic management journal* 17.S2 (1996): 109-122.

GROOVER, M. P; **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**; 3ª edição, Pearson, 2011.

HAMEL, G.; **Grandes metas para a administração**; Harvard Business Review, 1969.

JOÃO, BELMIRO N. (organizador); **Sistema de informação**; Editora Pearson, 2012.

KAZAN, H.; ÖZER, G.; ÇETIN, A. T.; **The effect of manufacturing strategies on financial performance,** Measuring Business Excellence, 2006.

KEMSLEY, S. SANDY; **Go beyond process modeling**; Bizagi Withepaper, Fevereiro de 2015.

KRAJEWSKI, L., RITZMAN, L., MALHOTRA, M.; **Administração de produção e operações**; Editora Pearson, 8ª Edição, 2009.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P.; **Sistemas de informação gerenciais**, 7ª edição, Pearson Prentice Hall, 2007.

LLATAS, M. V.; **OSM – Organização, Sistemas e Métodos**; Pearson, 2011.

MEDEIROS, E. M. S.; SAUVÉ, J. P; **Avaliação do impacto de Tecnologias da Informação Emergentes nas Empresas**; Qualitymark, 2003.

MEDINA, R. M., CRISPIM, S. F.; **Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria brasileira de autopeças**; Gestão & Produção, São Carlos, v. 17, n.3, p. 567-578, 2010.

MEGLIORINI, E.; **Custos - Análise e Gestão**; Prentice Pearson Hall; 2007

MOGGI, J., BURKHARD, D.; **O espírito Transformador: a essência das mudanças organizacionais do século XXI**; São Paulo: Infinito, 2000.

ORLIKOWSKI, W. J. **CASE tools as organizational change: Investigating incremental and radical changes in systems development**. MIS quarterly, p. 309-340, 1993.

PASSOS, Q. C.; **A importância da Contabilidade no Processo de Tomada de Decisão das Empresas;** UFRGS, 2010; artigo do curso de ciências contábeis da UFRGS.

PAVANI, O. J., SCUCUGLIA, R.; **Mapeamento e Gestão por Processos – BPM** (*Business Process Management*); Editora M. Books, 2011

PORTER, M. E.; **Estratégia competitiva**: técnicas para análise de indústrias e da concorrência; Elsevier, 2004.

RUSSO, J. E.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Tomada de decisões: armadilhas**; Saraiva, 1993.

SARI, B.; SEN, T.; KILIC, E.; **Formation of dynamic virtual enterprises and enterprise networks**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology; 2007.

SENGE, P. M. ; **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende;** Best Seller, Editora Campus, 2006.

SENGE, P., PRAHALAD, C. K., CHOWDHURY, S.; **Administração no século XXI** – O Estilo de Gerenciar Hoje e no Futuro; Prentice Hall, 2003.

SOUZA, D. B.; **Novas tecnologias aplicadas à gestão do conhecimento**; V Convibra-Congresso Virtual Brasileiro de Administração; 2008.

STADLER, A., MUNHOZ, A. S., GUERREIRO, K., M. S., FERREIRA, R. F.; **Gestão de processos com suporte em tecnologia da informação**; Editora Intersaberes, 2013

TORRES, N. A; **Competitividade Empresarial com a Tecnologia de Informação**; Makron Books, 1995.

TURBAN, E., VOLONINO, L.; **Tecnologia da Informação para Gestão** – Em busca do melhor desempenho estratégico e operacional; Editora Bookman, 8ª edição, 2011.

VIEIRA, M.; **Gerenciamento de projetos de tecnologia da informação**; Elsevier, 2003.

Sobre os autores

Antonio Almeida Sorrentino
Engenheiro Mecânico (FEI), Administrador (USJT); Mestrando em Engenharia Mecânica (Unicamp); MBA em Gestão Humana de Gestores (FGV); Liderança Horizontal (IMO- Instituut voor mens & Organisatieontwkkling – Holanda); Consultor de Desenvolvimento Empresarial; Master Coach Executivo (Adigo, Ecosocial, Integrated Coach Institut), formação em Neuro Coaching (Neuro Business Coaching); Mentoring Training (Center for Advanced Coaching), Consultor de Assessment (Etalent e Alpha Assessment); Docente em pós graduação e MBA em universidades da RMC; Docente Formador na Unicamp; Especialista de desenvolvimento de produtos para a indústria automotiva; gestor de empresas multinacionais do seguimento automotivo (Ford e VW); Consultor no Instituto de Pesquisas e Estudos da Consciência (IPEC Campinas); coordenador de cursos e treinamentos para Líderes e Gestores. (email: sorrentino2016@gmail.com)

Márcio de Moraes Malerbi
Graduado em Engenheiro Mecânico pela Escola Municipal de Engenharia de Piracicaba (1986); especialização em Administração da produção, produtos e matérias pelo INPG (1992); MBA em Gestão Empresarial pela FGV (1986); mestrando pela Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas/SP. Em atividades empresariais, onze anos de experiência em empresa nacional de grande porte atuando em projetos para Operadoras de Telefonia, Nextel, Petrobrás, Banco do Brasil e General Motors; Gerente de Implantação na operadora de telefonia Tess; Gerente de empresas de serviço; Consultor em gestão empresarial e melhoria de processos; docente em cursos de graduação e pós-graduação. (email: malerbi@terra.com.br)

Oswaldo Luiz Agostinho
Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1966), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (1979) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (1985), Livre Docência em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professor associado da Universidade Estadual de Campinas, e professor doutor da Universidade de São Paulo. Em atividades empresariais, foi Gerente Corporativo de Tecnologia da Informação da Eaton América do Sul; atualmente é sócio proprietário da ORA Consultoria em Gestão Empresarial Ltda. As linhas de pesquisa são Competitividade, Estratégias ligadas a Competitividade, Gestão de Tecnologia para Competitividade, Flexibilidade e Integração dos Sistemas Produtivos, Planejamento processo, Automação, Estratégias para Competitividade. (email: agostinh@fem.unicamp.br)

Ludmila Corrêa de Alkmin Silva
Formou-se em engenharia mecânica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2004), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2007), doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas(2011) e pós-doutorado pela Universidade Estadual de Campinas(2015). Os principais temas de seu trabalho estão no campo de sistemas dinâmicos, controle, acessibilidade e metodologia projeto. (email: ludmila@fem.unicamp.br)

Franco Giuseppe Dedini
Formou-se em engenharia mecânica pela Universidade de Campinas (1980), Doutorado em engenharia mecânica pela Politecnico di Milano, Itália (1993). Os principais temas de trabalho estão no campo de dinâmica, controle, powertrain, acessibilidade e metodologia do projeto. Ele é o autor ou co-autor de várias publicações e patentes. (email: dedini@fem.unicamp.br)

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO FÍSICA DE ATLETAS

Development of remote performance monitoring system and physical evaluation of athletes

http://dx.doi.org/10.21116/2016.3

MARQUEZINI FILHO, Paulo Afonso
Faculdade de Jaguariúna

DELGADO NETO, Geraldo Gonçalves
Faculdade de Jaguariúna

Resumo: A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema para auxílio no monitoramento remoto de desempenho e avaliação física de atletas. O sistema de monitoramento será desenvolvido para atender à necessidade de profissionais de educação física em obter em tempo real os resultados de um ou mais atletas durante os testes de avaliação física, além de suprir as necessidades da possibilidade de monitoramento de atletas nos mais diversos esportes. A descrição do projeto do sistema de monitoramento será desenvolvida através do roteiro crítico de projeto com descrito por Delgado Neto, Alkmin e Silva, Cabral Vieira e Dedini (2010), o roteiro crítico de projeto é todo desenvolvimento em etapas, com informações e explicações, que auxiliam o projetista. As etapas para desenvolvimento do projeto serão dívidas 3 etapas, o Estudo de Viabilidade, realizada através de pesquisa de campo e pesquisa bibliográfica. Projeto Preliminar, através de modelagem e interface, explicações e coletas de dados, construção de um modelo experimental físico, e Projeto Detalhado, onde serão especificadas peças, partes e desenhos para montagem e fabricação. Espera-se com o desenvolvimento do sistema de monitoramento a melhora na coleta de dados, a possibilidade de tornar mais dinâmica a avaliação dos resultados durante atividades físicas e a melhora na interface e integração de sistemas.
Palavras-chaves: Monitoramento remoto; metodologia de projeto; avaliação física.

Abstract: The purpose of this work is the development of a system to facilitate remote monitoring of performance and physical evaluation of athletes. The monitoring system will be developed to meet the need for physical education professionals to obtain in real time the results of one or more athletes during physical assessment tests, as well as meet the needs of the possibility of monitoring athletes in various sports. A description of the monitoring system project will be developed through critical script project described by Delgado Neto, Alkmin e Silva, Vieira Cabral and Dedini (2010), the critical roadmap development project is all in stages, with information and explanations, that assist the designer. The steps for development of the project will be debt 3 steps, the Feasibility Study, conducted through field research and literature review. Preliminary design through modeling and interface, explanations and data collection, construction of a physical experimental model and Detailed Design, where spare parts and assembly drawings for manufacturing and will be specified. It is hoped that the development of the monitoring system to improve data collection, the possibility of making more dynamic evaluation of

results during physical activities and improved interface and systems integration.
Key-Words: Remote monitoring; project methodology; physical assessment.

INTRODUÇÃO

Com uma predileção especial pelas práticas esportivas, o brasileiro sua a camisa em muitas modalidades de esporte, mostrando um gosto que vai muito além do futebol, (GURGEL, 2011). Segundo a pesquisa Dossiê Esporte, feito sob encomenda do canal de televisão *SportTV*, 94% dos brasileiros se interessam por esporte, considerando os que praticam e os que assistem as atividades esportivas. Do total de participantes da pesquisa, 23% afirmam praticar esportes sempre, 31% regularmente, 22% às vezes e 24% nunca fazem atividades esportivas. Conforme resultado da pesquisa, 74% dos brasileiros sabem que o esporte tem relação direta com a saúde e 53% declararam gostar da sensação de esforço que o esporte proporciona e 48% procuram um bom condicionamento físico. A avaliação e o acompanhamento de um profissional de educação física são essenciais para as pessoas atingirem os resultados esperados sem riscos. Os educadores físicos, através da avaliação física, podem determinar a condição física e ter parâmetros para verificar a curto, médio ou longo prazo as dificuldades e qualidades de seus alunos. Segundo Trishter (2003), avaliação é realizada através de testes que avaliam a aptidão física, habilidades esportivas, estresse do exercício e lesões esportivas. Para se avaliar primeiro é necessário estabelecer um critério, realizar a coleta e interpretação dos dados e, então fazer o julgamento dos resultados e escolher as possíveis formas de ação. O julgamento dos resultados é realizado através da comparação com diretrizes ou padrões, podendo ser realizadas comparações entre o resultado de duas pessoas, comparação com um critério padrão ou através da comparação com diferentes resultados da mesma pessoa. Os dados são colhidos através do uso de instrumentos de medição que são selecionados levando-se em consideração sua pretensão de uso, exatidão e custo. Para Trishter (2003), os instrumentos de medição devem ter como qualidade a validade, ou seja, integridade e segurança na coleta de dados, fidedignidade, ou seja, consistência na coleta

de dados, objetividade, ou seja, exatidão e liberdade de tendência em avaliação, ou seja, imparcialidade.

O módulo de monitoramento do sistema pretende ser um instrumento de medição de dados em tempo real que serão enviados via rede sem fio para uma interface computacional a ser utilizado pelo educador físico, e este poderá realizar o julgamento dos resultados durante a avaliação física. O módulo será uma ferramenta que auxiliará na aplicação do teste de aptidão cardiorrespiratória durante a avaliação física ou no monitoramento durante uma atividade.

Para que o educador físico possa se valer dos dados colhidos e através deles fazer julgamento dos resultados, e também para que os dados sejam salvos para consulta futura, promovendo assim a possibilidade de comparações entre os resultados de duas pessoas diferentes ou a possibilidade da comparação de resultados de testes distintos realizados pela mesma pessoa, os dados serão apresentados através de um programa computacional específico conhecido como Supervisório ou Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*), (SANDRINI LUZ, 2012). Este programa será executado em um computador pessoal e receberá os dados remotamente e em tempo real através de uma rede de comunicação sem fio. Os sistemas supervisórios são utilizados normalmente em ambiente industrial, onde funcionam como uma ferramenta de interface entre o processo a ser controlado e o operador, provendo a este, os dados relativos ao processo através de gráficos, histórico de eventos importantes e possibilidade de intervenção. Fazendo uma analogia, na nova utilização do programa computacional supervisório em auxilio ao sistema de monitoramento remoto de atletas, este servirá como interface entre o educador físico e o atleta, provendo os dados do atleta relativos ao teste de aptidão cardiorrespiratória através de gráficos, histórico de eventos importantes e possibilidade de intervenção nos testes.

OBJETIVO

Para auxílio no início do desenvolvimento, e com objetivo de analisar todas as funções que o sistema deve ter para alcançar todos os seus objetivos e também, como forma de analisar as tecnologias que deverão ser

empregadas, foi desenvolvido e é apresentado na figura 1 o diagrama de bloco do sistema.

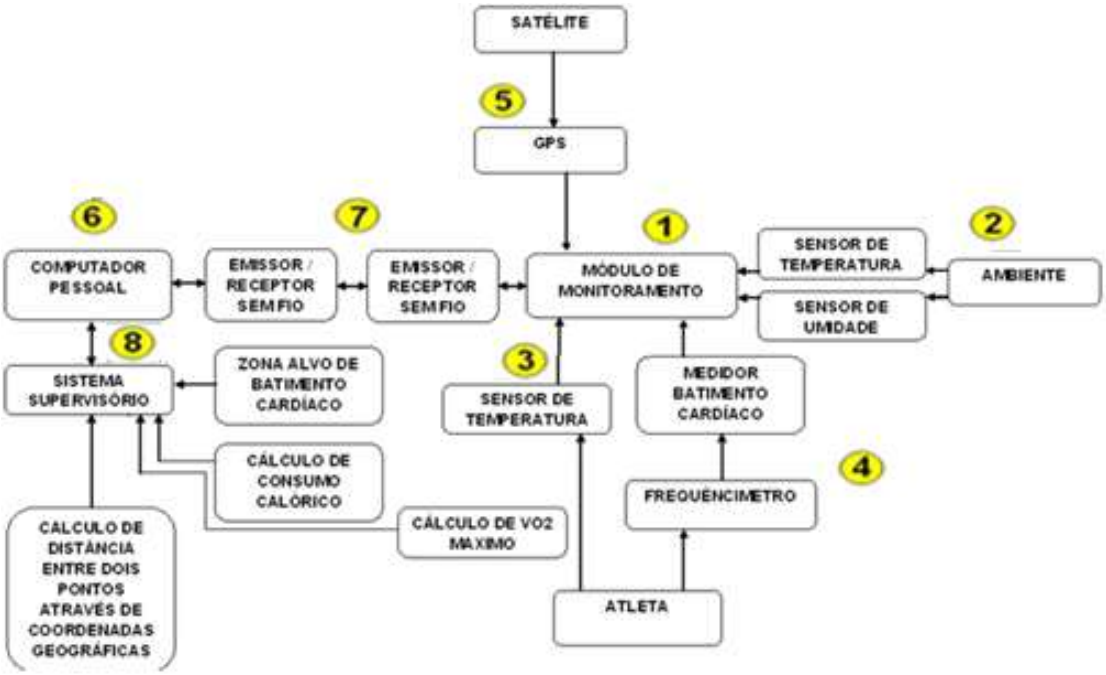


Figura 1 - Diagrama de Blocos

Descrição

Como pode ser observado no diagrama de blocos da figura 1, o sistema será basicamente um módulo a ser utilizado pelo atleta durante os testes, que enviará as informações via rede sem fio para um computador pessoal onde estará sendo executado o sistema computacional supervisório. No módulo microprocessado, será instalado um sistema GPS responsável por enviar os dados de localização através de coordenadas geográficas, altitude em relação ao nível do mar e velocidade. Também será instalado no módulo um sensor de temperatura e umidade, que serão responsáveis por enviar os dados colhidos do ambiente. No atleta, um sensor será responsável pela leitura da temperatura corporal e um frequêncímetro, fará a leitura da frequência cardíaca, enviando-a a um medidor que enviará os dados ao módulo. O módulo será responsável por tratar os dados e enviá-los via rede sem fio a um computador pessoal, onde os dados serão receptados por um sistema computacional supervisório. No sistema supervisório, serão implementados os cálculos de consumo calórico, zona alvo de batimento cardíaco, cálculo de

distâncias através de coordenadas GPS. Todo o sistema poderá ser divido em três partes fundamentais: *software, hardware e firmware*. *Hardware* são todos os componentes físicos construídos para o sistema de monitoramento, *software* são instruções geradas para auxílio de interface com o usuário e *firmware* são instruções geradas para controle de *hardware*, (FERNANDES, 2002).

Descrição e legenda da Figura 1

1 - O módulo conterá um microprocessador que terá a tarefa que receber os dados vindos dos sensores e criar um protocolo de comunicação.

2 - Sensores que ficarão em contato direto com o ambiente, permitindo assim que as condições climáticas sejam consideradas nos testes.

3 - A temperatura corpórea do atleta também será medida através de um sensor de temperatura que ficará em contato direto com seu corpo

4 - O frequêncímetro, que também ficará em contato direto com o corpo do atleta, tem por finalidade a medida da frequência de um sinal, (BRAGA).

5 - GPS (*Global Positioning System)* ou sistema de posicionamento global. O módulo GPS a ser utilizado, uma vez conectado ao satélite, indicará sua posição geográfica através da latitude e longitude, a altura em relação ao nível do mar e a sua velocidade em km/h. Essas informações serão repassadas ao módulo que as acrescentará às informações ao protocolo de comunicação para que sejam enviadas para o sistema supervisório que realizará o cálculo de distância percorrida através desses dados. O sistema GPS livremente comercializado tem precisão entre 3 metros a 5 metros.

6 - O computador pessoal será um equipamento padrão IBM PC (*Personal Computer*) com interface tipo USB (*Universal Serial Bus*), que será a porta de entrada dos dados recebidos pelo emissor/receptor de rede sem fio.

7 - Para integrar os dados lidos pelo módulo com o computador pessoal, onde estará executando o sistema supervisório que fará a interface como o educador físico e possibilitando liberdade de movimentação do atleta que usará o módulo, será utilizado uma rede de comunicação sem fio para transmissão dos dados

8 - O sistema supervisório, será um *software* computacional executado em ambiente *Windows*. Este terá a função de interface com o usuário, onde poderá encontrar de forma organizada todos os dados necessários para o monitoramento.

O sistema a ser desenvolvido terá as funções de aquisição dos dados vindos do atleta, exibição e auxílio do monitoramento pelo educador físico. Considerando os testes realizados pelo atleta como um processo e o educador físico como o operador deste processo, o sistema servirá como interface entre esses. Portanto, será um sistema supervisório, pois possui as características que podem definir um *software* como tal.

Nike *Running* e Adidas *miCoach* (figura 2) são exemplos *softwares* similares ao que será desenvolvido, diferenciando pelo fato de que foram desenvolvidos para utilização em dispositivos móveis, como celulares. Ambos são aplicativos para avaliação e acompanhamento do desenvolvimento da saúde de atletas profissionais ou não, utilizando sensores e ferramentas para coletas de dados (*RedBull*).



Figura 2 - Nike+ Running e Adidas miCoach

Como poderá ser observado no diagrama de blocos no item Descrição (figura 1), que apresenta as principais funções do sistema de monitoramento, o módulo de monitoramento é responsável por coletar os dados do atleta, enquanto um computador pessoal é responsável pela exibição dos dados ao educador físico, ou seja, será interface entre o sistema e seu operador conforme descrito anteriormente. Para o módulo de monitoramento realizar suas funções como descrito na legenda da figura 1 no item Descrição, é necessário que seja desenvolvido um conjunto de instruções programadas para que tais funções sejam executadas. Estas instruções não servirão como interface ao usuário como foi o caso do *software* descrito anteriormente, mas realizarão funções ligadas diretamente ao *hardware* do sistema, portanto estas serão descritas como *firmware* do sistema.

DESENVOLVIMENTO

Análise de Necessidade

Sendo os profissionais de educação física o público alvo de utilização do módulo, foi realizada a Análise de Necessidade conforme Delgado Neto, Alkmin e Silva, Cabral Vieira e Dedini (2008), através de uma pesquisa. Para pesquisa, foi realizado através de um questionário respondido com a colaboração de profissionais de educação física com o objetivo de identificar os instrumentos utilizados e as necessidades mais críticas que os instrumentos

existentes no mercado atual não atendem. Quanto aos instrumentos mais utilizados, foram levantados os seguintes dados apresentados através do gráfico 1 e as necessidades de mercado apresentadas na tabela 1.



Gráfico 1 – Instrumentos mais utilizados

• Precisão no cálculo da distância percorrida, permitindo a utilização em esportes com deslocamentos em pequenas distâncias.
• Leitura dos dados em tempo real.
• Possibilidade de monitoramento de mais de um atleta ao mesmo tempo.
• Autonomia de uso devido à carga da bateria.
• Precisão da leitura de batimento cardíaco.
• Preço.

Tabela 1 - Necessidades de mercado

Uma vez levantados os instrumentos mais utilizados no mercado, com as mesmas características a que o módulo a ser desenvolvido se propõe, foi realizada a Análise de Similares conforme Delgado Neto, Alkmin e Silva, Cabral Vieira e Dedini (2008)

As características que existem em comum, as características particulares, os pontos considerados fracos e fortes podem ser consultados na tabela 2 do trabalho de conclusão de curso “Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas”.

Através dos dados levantados pela Análise de Similares e considerando as características, pontos fortes e pontos fracos dos itens analisados, o objetivo do projeto será desenvolvimento do sistema de monitoramento remoto de desempenho e avaliação física de atletas, agregando as principais características disponíveis no mercado, mantendo os pontos

fortes e procurando soluções para os pontos fracos, possibilitando o uso no sistema nas mais diversas modalidades de esporte.

Explorar Sistemas Envolvidos

A ferramenta que auxiliará a explorar os sistemas envolvidos que poderão ser incorporados ao módulo é o Mapa Mental conforme figura 4, onde serão mapeados todos os sistemas necessários e opções existentes no mercado. Para desenvolvimento do Mapa Mental foram listados todos os sistemas necessários ao seu funcionamento e depois todas as opções de tecnologias existentes.

Conforme apresentado no Mapa Mental (figura 3), o Módulo de Monitoramento é o componente central do sistema. Este terá a função de captar todos os sinais gerados pelos Sistemas Necessários em seu entorno, tratar esses sinais tornando-os um protocolo, possibilitando assim que os dados sejam interpretados pelo sistema de interface com o usuário.

Quanto aos Sistemas Necessários apresentados no Mapa Mental (figura 3), a Leitura de Batimento Cardíaco terá a função da leitura da freqüência cardíaca e sua transmissão ao Módulo de Monitoramento. A Leitura da Distância Percorrida, Leitura de Altimetria, Leitura de Velocidade, tem a função de medir a distância desde o início até o final do trajeto percorrido pelo atleta, medir a diferença de altura durante seu trajeto e a de medir a velocidade do atleta respectivamente, e o envio das informações ao Módulo de Monitoramento. O sistema referente à Ergonomia terá a função de possibilitar o bem estar ao atleta durante seus treinamentos, preocupando-se com as dimensões e peso dos componentes. O sistema de Fixação tem a função de definir a melhor forma de fixação do Módulo de Monitoramento ao corpo do atleta, possibilitando assim bem estar e facilidade de movimento durante as atividades físicas. Os sistemas de Leitura da Temperatura Corpórea e da Leitura da Temperatura e Umidade do ambiente tem a função da leitura de temperatura em ambos os casos descritos e enviá-las ao Módulo de Monitoramento, tornando-se dados importantes para a interpretação do desempenho do atleta durante suas atividades. O sistema Controlador é aquele que comandará as funções do Módulo de Monitoramento, terá a função de coordenar todas suas atividades, como por exemplo a aquisição dos sinais, tratamento de erros de leitura, montagem do protocolo e coordenação da

transmissão de dados. O sistema de Interface é aquele responsável por apresentar os dados lidos ao usuário do sistema, é necessário que a apresentação dos dados seja precisa e em tempo real.

O sistema de Transmissão de dados é responsável pela transmissão dos dados através do protocolo de comunicação desde o Módulo de Monitoramento até o sistema de Interface com o usuário. O sistema de Armazenamento de Dados tem a função de armazenar os dados colhidos durante um treinamento, possibilitando assim que estes sejam recuperados posteriormente.

Soluções Alternativas

Através do auxílio do Mapa Mental (figura 3), foram verificadas todas as soluções alternativas para o projeto, estas foram divididas conforme o sistema em que funcionarão. Suas características foram tabeladas e serão confrontadas com as características que o módulo precisa ter para seu funcionamento, auxiliando assim na escolha da melhor opção. Esta tabela pode ser consultada no trabalho de conclusão de curso “Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas”, tabela 3.

Viabilidade Física

Levando em consideração as possibilidades levantadas através das soluções alternativas, todas as configurações possíveis foram listadas (figura 4) e as possibilidades de construção, levando em conta as configurações, foram reproduzidas.

Diante as possibilidades de configuração, foi realizado o levantamento sobre o tipo de transmissão de dados e como o módulo irá se fixar no atleta levando em conta seu bem-estar durante a prática esportiva, estes foram considerados os itens mais críticos para diante as possíveis configurações.

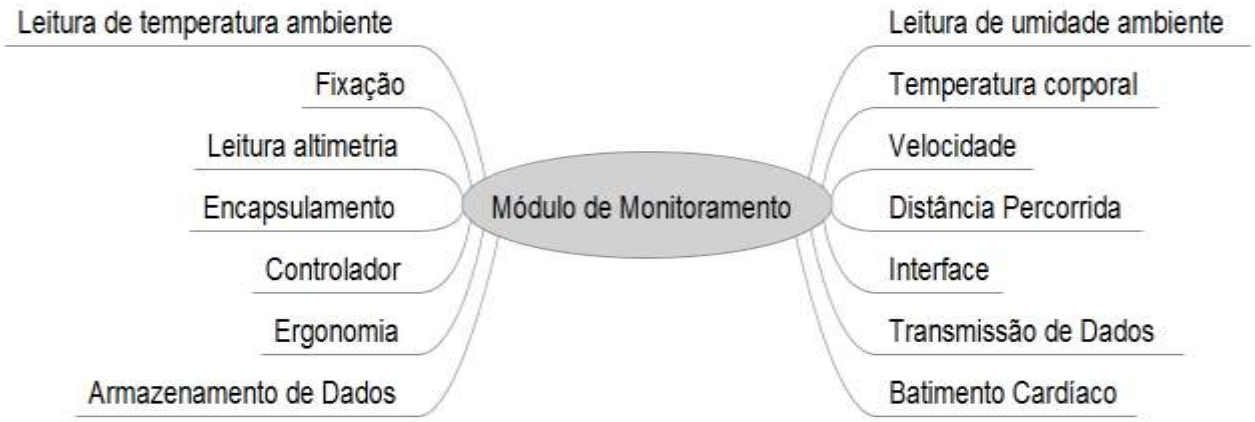


Figura 3 - Mapa Mental

Legenda Mapa Mental:

No Centro : Módulo de Monitoramento

Nas laterais: Sistemas necessários

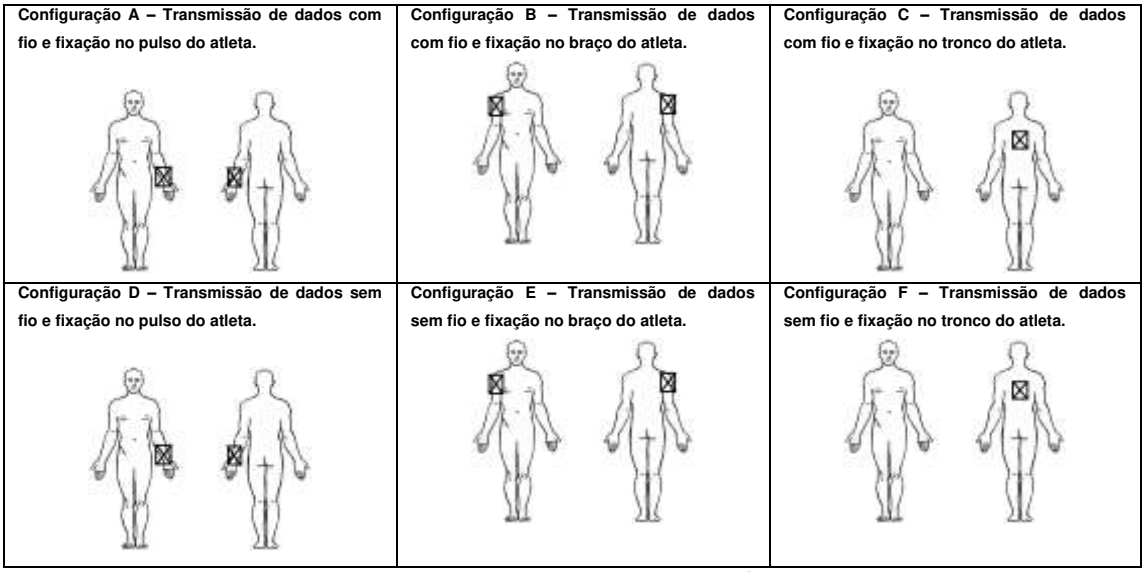


Figura 4- Configurações possíveis

PROJETO PRELIMINAR

Seleção da Melhor Opção

Das seis configurações levantadas para o módulo, a escolha da melhor opção, levará em conta somente critérios técnicos de características

levantadas no item Análise de Necessidade. Grande parte das características já estará presente no módulo, pois fazem parte de sua configuração básica. As características que podem variar dependendo da configuração escolhida são as seguintes:

- **Meio de transmissão de dados.**
- **Quantidade de atletas a serem monitorados ao mesmo tempo.**
- **Modo de leitura de dados.**

Segundo Análise de Necessidade as características que darão ao módulo um diferencial no mercado e, portanto, deverão estar presentes no módulo e serão critérios para escolha, são as seguintes:

- **Meio de transmissão de dados sem fio.**
- **Possibilidade de monitoramento de mais de um atleta ao mesmo tempo.**
- **Possibilidade da leitura de dados em tempo real.**

Levando-se em conta os critérios de escolha, as configurações que atendem as características são as seguintes:

- **Configuração D.**
- **Configuração E.**
- **Configuração F.**

O diferencial entre cada uma das configurações é o ponto de fixação no corpo do atleta. Fica definido a partir de agora que o ponto de fixação será opcional ao usuário, que poderá escolher entre cada um dos três pontos definidos nas configurações dependendo do esporte praticado.

Uma vez definida as configurações a serem adotadas, ficam definidas as alternativas de sistemas que serão utilizados. Porém, conforme tabela 3, ainda existem opções aos sistemas adotados. A escolha entre as opções seguirá ao critério estabelecido tabela 8 coluna “Requisitos”.

Formulação do Modelo Matemático

O modelo matemático a ser desenvolvido constará das funções lógicas que deverão ser implementadas no sistema computacional e também para controle de *hardware* com o objetivo que o todo o sistema exerça plenamente as funções pretendidas.

O sistema computacional (*software*), tem a função de recepcionar todos os dados gerados pelo módulo junto ao atleta, exibi-los na tela do

computador através de animações e gráficos que auxiliarão o educador físico a diagnosticar o desempenho do atleta durante as atividades físicas. O sistema terá função de armazenar os dados em um arquivo de dados, possibilitando a recuperação dos dados para visualização posterior, para comparação, e geração de relatórios.

O sistema de controle de *hardware,* a *firmware*, tem a função da geração de dados e transmissão ao computador pessoal onde está rodando o sistema computacional supervisório (*software*).

Desenvolvimento do Modelo Matemático

Neste tópico serão apresentados as funções do *software* e *firmware* no sistema de monitoramento de atleta, e os métodos utilizados para construção dessas funções.

Funções do *Software*

O *software* desenvolvido para o sistema de monitoramento será executado em um computador pessoal que será utilizado pelo profissional de educação física. Este terá as funções de recepção, interpretação do protocolo de comunicação, tratamento e exibição dos dados transmitidos pelo módulo de monitoramento ao educador físico. As funções do *software* podem ser vista no diagrama de blocos da figura 5.

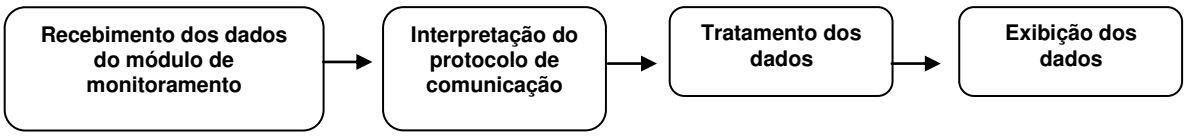


Figura 5 - Diagrama de blocos das funções do software

Funções do *Firmware*

O *firmware* desenvolvido para o sistema de monitoramento será executado no módulo de monitoramento que ficará fixo ao atleta. Este terá as funções de coleta dos dados gerados pelos sensores fixos ao atleta, tratamento, montagem do protocolo de comunicação e transmissão dos dados ao computador pessoal utilizado pelo educador físico (figura 6).

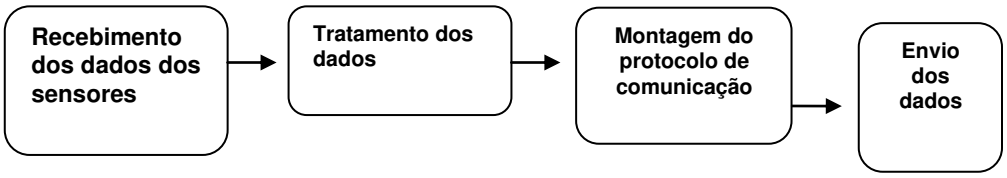


Figura 6 - Diagrama de blocos das funções do firmware

Protocolo de comunicação

O protocolo é uma regra de comunicação entre o *firmware* do módulo de monitoramento e o *software* executado em um computador pessoal. Nele são carregados os dados do módulo de monitoramento até o computador. Somente um sistema capaz de montar ou interpretar o protocolo, poderá compartilhar ou receber os dados transmitidos pelo sistema. A regra ou protocolo criado para o sistema constam de um conjunto de caracteres onde os dados estão inseridos. Esta regra será criada pelo módulo de monitoramento através de sua *firmware* e interpretado pelo computador através de seu *software*. O protocolo criado por ser visto na figura 7.

AN0:0055:TMP:0151:BAT:068:VEL:000.00:ALT:0220.00:LAT:-22.44283:LOG:-046.81641:TEMPER:24:UMI:38:BIT:00000111:FIM

Figura 7 – Protocolo de comunicação

Legenda da figura 7:

AN0:0055 – AN0 é o cabeçalho do protocolo de comunicação, estes caracteres são a primeiro identificação do protocolo de comunicação, e indicarão para o receptor do protocolo (*software*) que a transmissão de dados foi iniciada. O valor “0055” indica um valor vindo de uma das entradas do micro-controlador do sistema de monitoramento, sem função.

TMP:0151 – TMP indica que o próximo valor corresponde ao sensor de temperatura que será responsável pela leitura da temperatura corporal do atleta.

BAT:068 – BAT indica que o próximo valor corresponde ao sensor que mede o batimento cardíaco do atleta.

VEL:000.00 – VEL indica que o próximo valor corresponde a velocidade atual do atleta.

ALT:0220.00 – ALT indica que o próximo valor corresponde a altura atual do atleta em relação ao nível do mar.
LAT:-22.44283 – LAT indica que o próximo valor corresponde a latitude da posição geográfica atual do atleta.
LOG:-046.81641 – LOG indica que o próximo valor corresponde a longitude da posição geográfica atual do atleta.
TEMPER:24 – TEMPER indica que o próximo valor corresponde a temperatura do ambiente onde está o atleta.
UMI:38 – UMI indica que o próximo valor corresponde a umidade do ambiente onde está o atleta.
BIT:00000111 – BIT indica que os próximos valores binários indicam estado de comunicação com os sensores de batimento cardíaco, temperatura e umidade do ambiente e GPS dos sistema.
FIM – FIM indica o final do conjunto de caracteres, ou seja, o final do protocolo de comunicação.
":" – Os dois pontos servem como separadores de cada informação transferida.

Como pode ser observado na figura 7, o protocolo é um conjunto de caracteres com as informações pertinentes ao sistema inseridos em lugares determinados. Como será visto adiante, a montagem do protocolo pelo *firmware*, será a montagem deste conjunto de caracteres e, a interpretação do protocolo pelo *software*, será a extração das informações contidas no conjunto de caracteres. A utilização do protocolo, além de auxílios funcionais para o sistema, proporciona segurança, uma vez que somente sistemas programados a interpretação dos dados, terão acesso aos mesmos.

Descritivo para construção das funções do *Software*

Recebimento de dados vindos do módulo de monitoramento

Como foi visto em anteriormente, os dados chegarão ao software através do protocolo de comunicação. Cada caracter do protocolo será enviado pelo módulo de monitoramento e chegará de maneira serial para o software, ou seja, um de cada vez, um após o outro. Portanto, para o recebimento, primeiro é necessário que o software receba cada caracter individualmente e monte um

conjunto de caracteres, formando assim todo o protocolo de comunicação. Como será visto posteriormente, o protocolo de comunicação terá a quantidade de 112 caracteres, característica providenciada por funções do firmware do módulo de monitoramento. E também sempre será iniciado pelos caracteres “AN0” e finalizado pelos caracteres “FIM”. Portanto, o recebimento de dados vindos do módulo de monitoramento devem ser realizados conforme descrito abaixo:

- **CADA CARACTER RECEBIDO PELO SOFTWARE DEVE SER ARMAZENADA EM UM VARIÁVEL DO TIPO CARACTER.**
- **CADA CARACTER RECEBIDO DEVE SER INCREMENTADO EM UMA VARIÁVEL TIPO CONJUNTO DE CARACTERES.**
- **A CADA NOVO CARACTER RECEBIDO PELO SOFTWARE DEVE SER TAMBÉM INCREMENTEADO NA VARIÁVEL TIPO CONJUNTO DE CARACTERES.**
- **QUANDO A VARIÁVEL CONJUNTO DE CARACTER ESTIVER A QUANTIDADE DE 112 CARACTERES, ESTÁ DEVERÁ DEIXAR DE SER INCREMENTADA.**
- **DEVERÁ SER COMPARADOS OS TRES PRIMEIROS CARACTERES E OS TRES ÚLTIMOS CARACTERES NA VARIÁVEL COM “AN0” E “FIM” RESPECTIVAMENTE.**
- **CASO OS CARACTERES SEJAM IGUAIS, SIGNIFICA QUE O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO FOI RECEBIDO CORRETAMENTE.**
- **CASO OS CARACTERES SEJAM DIFERENTES, SIGNIFICA QUE O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO NÃO FOI RECEBIDO CORRETAMENTE. PORTANTO, É PRECISO QUE AS INFORMAÇÕES TRANSMITIDAS SEJAM IGNORADAS DEVIDO A UM ERRO DE COMUNICAÇÃO.**

Interpretação do protocolo

Uma vez recebido o protocolo de comunicação, a próxima função do *software* é a de realizar a interpretação dos dados, ou seja, interpretar os dados contidos nos protocolo. Para isso, será utilizado o caracter “:”, que serviu

no protocolo de comunicação como separador das informações. Observando a figura 14, o protocolo de comunicação será divido e numerado, levando – se em conta a separação de cada informação pelo caracter ":".

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

AN0:0055:TMP:0151:BAT:068:VEL:000.00:ALT:0220.00:LAT:-22.44283:LOG:-046.81641:TEMPER:24:UMI:38:BIT:00000111:FIM

Figura 8 – Protocolo de comunicação com as informações divididas

Pode –se observar na figura 8 que cada dado pertinente corresponde a um valor no protocolo, este valor pode ser obtido utilizando uma função de separação de caracteres de acordo com um caracter de referência, no caso o caracter ":". Portanto para realizar a função de tratamento dos dados, é necessário desenvolver uma rotina conforme descrita abaixo:

- **A VARIÁVEL DO TIPO CONJUNTO DE CARACTERES QUE CONTÉM O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO DEVERÁ SER DIVIDIDA UTILIZANDO COMO REFERÊNCIA O CARACTER ":".**

- **CADA CONJUNTO DE CARACTERES ORIGINÁRIOS DESTA DIVISÃO, DEVERÁ SER ALOCADO EM OUTRAS VARIÁVEIS DO TIPO CONJUNTO DE CARACTERES .**

Tratamento dos dados

Os dados recebidos e interpretados, agora precisam ser tratados. Algumas informações, depois de interpretadas, já estão prontas para uso. Porém em outras, é necessário seu tratamento para exibição correta da informação que contém, como é o caso da temperatura corporal do atleta. Esta vem em uma escala de 0 à 1023, porém está informação contém temperatura entre 0ºC a 50ºC. Para que seja exibida corretamente, é necessário tratar esta informação através de uma função matemática.

A função matemática a ser utilizada por ser vista abaixo:

Y = (50/1023)*X, onde X = informação entre 0 a 1023, Y = informação entre 0 a 50

Portanto, é necessário desenvolver no software uma rotina conforme descrito a seguir:

- **A VARIÁVEL QUE CONTEM A INFORMAÇÃO DE TEMPERATURA DEVERÁ SER CONVERTIDA DO TIPO CONJUNTO DE CARACTERES PARA O TIPO NUMÉRICO.**

- **A VARIÁVEL DO TIPO NUMÉRICO QUE CONTÉM A INFORMAÇÃO DA TEMPERATURA DEVERÁ SER INSERIDA NA FORMULA ACIMA E SEU RESULTADO ARMAZENADO EM UMA NOVA VARIÁVEL DO TIPO NUMÉRICO.**

Exibição dos dados

Uma vez os dados tratados, será necessário exibi-los para o usuário. A exibição de dados se dá através de ferramentas visuais que auxiliam o usuário em sua interpretação. A utilização de ferramentas visuais se dá através de parametrização de alguns de seus parâmetros. Para alguns dados serão utilizados gráficos, outros serão utilizados *gauges* , animações de imagem e outros serão utilizados caixas de texto.

Fluxograma para construção das funções do *software* (figura 9)

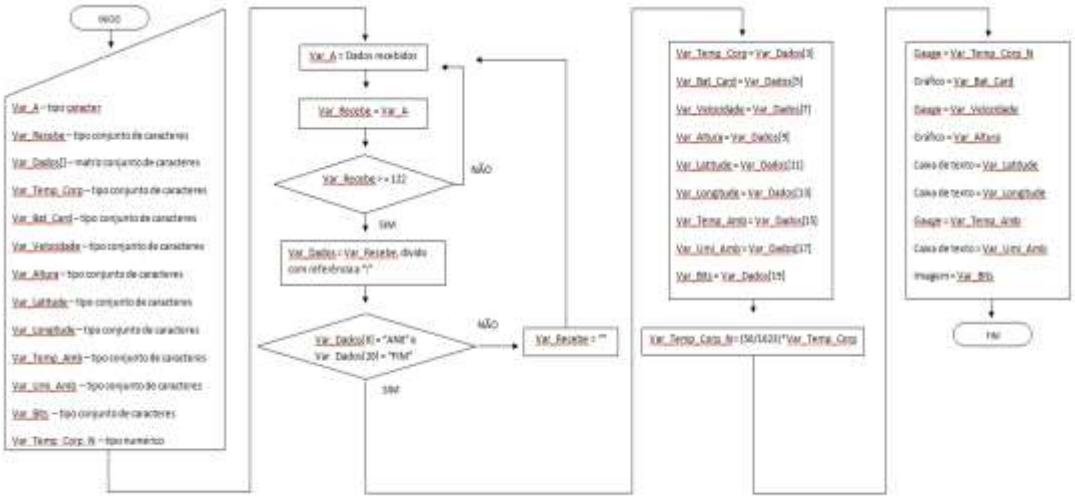


Figura 9 – Fluxograma para construção do *software*

Descritivo para construção das funções do *Firmware*

Recebimento de dados

Uma das funções do *firmware* quando executado no módulo de monitoramento é a requisição e recebimento dos dados gerados pelos sensores. Os dados gerados deverão ser recebidos pelo módulo de monitoramento, a rotina a ser escrita no firmware para execução desta função é descrita abaixo:

- **OS DADOS RECEBIDOS DEVERÃO SER ARMAZENADOS EM MEMÓRIAS. PARA CADA DADO, UMA MEMÓRIA .**

Tratamento dos Dados

Os dados recebidos e alocados em memória necessitam ser tratados. O tratamento consta de fazer com que cada dado tenha sempre o mesmo tamanho de caracteres, fazendo com que o protocolo de comunicação também sempre tenha o tamanho de 112 caracteres, facilitando assim as funções do software conforme descrito anteriormente. Abaixo será descrito a rotina que se repetirá para todos os dados, tomando como exemplo o recebimento dos dados de batimento cardíaco.

- **OS DADOS DO BATIMENTO CARDÍACO DEVERÃO SEMPRE TER O TAMANHO DE TRÊS CARACTERES, PORTANTO CASO O DADO TENHA O VALOR MENOR QUE 100, ESTE DEVERÁ SER COMPLETADO DE UM CARACTER "0". CASO O DADO TENHA O VALOR MENOR QUE 10, DEVERÁ SER COMPLETADO DE DOIS CARACTERES "0".**

Montagem de protocolo de comunicação

A montagem do protocolo de comunicação é a alocação de cada um dos dados no formato conforme descrito no item "Protocolo de Comunicação". Abaixo segue a descrição do procedimento para montagem do protocolo.

- **OS DADOS DEVERÃO SER ALOCADOS NA SEQUÊNCIA CONFORME DESCRITO NO ITEM "PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO" E DEVERÃO SER ACRESCENTADOS OS CABEÇALHOS DE CADA UM DOS DADOS, OS CARACTERES QUE MARCAM O INÍCIO E O SEU FIM, COMO TAMBÉM O CARACTER DE**

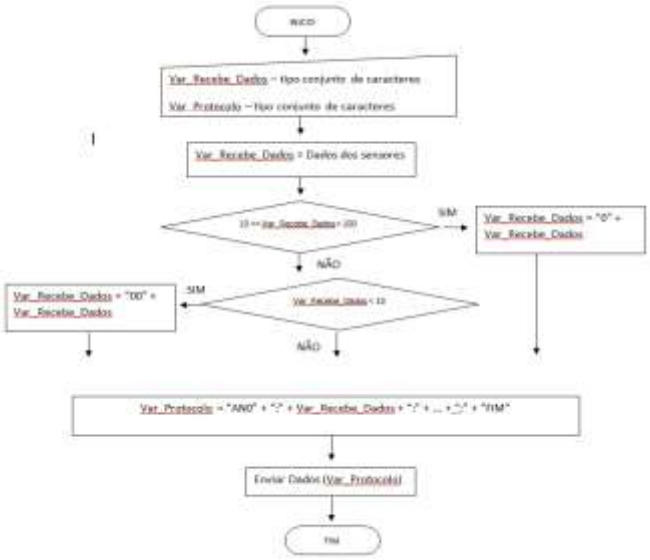
SEPARÃO QUE AUXILIARÁ NO MOMENTO EM QUE O SOFTWARE FARÁ O TRATAMENTO DOS DADOS.

Envio dos dados

Uma vez o protocolo de comunicação formado, este deverá ser enviado para o computador que fará sua recepção. Para o envio, deverá ser programada uma rotina no firmware conforme abaixo.

- **O PROTOCOLO DEVERÁ SER ALOCADO EM UMA MEMÓRIA AUXILIAR E ENVIADO ATRAVÉS DE UMA FUNÇÃO DE ENVIO ESPECÍFICA DA LINGUAGEM UTILIZADA.**

Fluxograma para construção das funções do *firmware* (figura 10)



Fluxograma 10 – Fluxograma para construção do *firmware*

Sensibilidade e Compatibilidade

A compatibilidade de todos os componentes, ou seja, a interconexão de todos ao projeto de modo que cada um exerça sua função para que o sistema realize tudo o que é pretendido e sua sensibilidade ao projeto, ou seja, a verificação que suas funções são exercidas dentro de um limite pré – estabelecido, serão verificadas através de processos de validação. Para o processo de validação, será montado um protótipo do módulo (figura 11), onde todos seus componentes serão conectados. E para este, será desenvolvido um

código de programação para *firmware* e *software*, atendendo os requisitos especificados no item Formulação do Modelo Matemático.

Para auxilio na validação do sistema, deverá ser criada uma lista de todas as funções que deverão ser ensaiadas, assim como o resultado pretendido, levando – se em conta as funções de cada um dentro do projeto, como também a precisão de cada componente.

O resultado de cada análise será verificado através dos testes de validação de *Firmware* e *Software*, onde serão exibidas as leituras de cada um. A descrição das validações pode ser vista no trabalho de conclusão de curso "Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas" no item Sensibilidade e Compatibilidade.

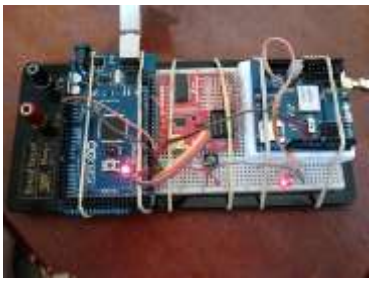


Figura 11 - Protótipo do Módulo de Monitoramento

Otimização dos Parâmetros

Como pode ser observado na tabela 10 do trabalho de conclusão de curso "Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas", dois dos itens tiveram algumas observações a respeito de seus desempenhos: o Sensor de Temperatura Corporal e o módulo GPS. Quanto ao Sensor de Temperatura Corporal, observou que o mesmo apresentou variação em sua leitura e ocorreu um desvio ao padrão do Sensor de Temperatura Ambiente que serviu como referência. Já o módulo GPS observou que no inicio de sua conexão ao satélite em ambientes fechados, apresenta um tempo para estabilização de sua leitura o que pode levar ao erro de algumas funções de *software* que dependam de suas informações.

Para otimização da leitura do Sensor de Temperatura Corporal, será acrescentado ao *software* à fórmula 1, onde um parâmetro de ajuste será

somado ao seu dado de leitura, visando assim suprir o erro em relação do Sensor de Temperatura Ambiente.

$$Var_Temp_Corp_N = ((50/1023)*Var_Temp_Corp) + AJ$$

Onde,

Var_Temp_Corp = leitura da temperatura corporal de 0 a 1023

AJ = ajuste de temperatura para correção de erro de leitura

Var_Temp_Corp_N = leitura da temperatura corporal de 0 a 50 ºC

Fórmula 1 – Correção da Leitura de Temperatura

Quanto ao módulo GPS, a característica descrita acima foi observada principalmente em sua utilização em ambientes fechados que podem prejudicar sua conexão com os satélites fazendo com o referido tempo de estabilização ocorra, porém esta é uma característica do módulo utilizado. Para este será acrescida a informação quanto a esta característica, indicando que seja preferencialmente utilizado em ambientes abertos ou, no caso da utilização em ambientes fechados, que a presença do erro que poderá ocorrer.

Testar Processo Prever Desempenho

A utilização do módulo se dará estando este fixado ao corpo do atleta que estará distante do computador receptor dos dados, em movimento e também variando de posição constantemente. Este é o processo a ser desenvolvido pelo módulo e seu desempenho que será testado.

Para realizar testes de desempenho simulando o processo que será realizado, o protótipo montado foi fixado ao corpo de uma pessoa e o computador receptor dos dados instalado em local determinado. A pessoa participante dos testes realizou exercícios de caminhada e corrida, alterando sua posição em relação do receptor por um trajeto pré - determinado. O local de realização dos testes, como também o posicionamento do computador receptor e o espaço de movimentação da pessoa participante dos testes pode ser vista na figura 12.



Figura 12 - Local de Testes

Legenda:

Posicionamento do receptor e computador com *software* de monitoramento

Trajeto percorrido durante os testes

Durante o teste os dados foram enviados pelo módulo ao seu computador receptor. Espera – se que nenhum dos dados sejam perdidos durante a transmissão e que o formato do protocolo de comunicação não seja perdido devido à falhas de sensores ou transmissão.

Os dados chegaram ao computador receptor mantendo o formato do protocolo ou sem a perda de qualquer dado. Portanto, verifica – se que o sistema tem o desempenho esperado, enviando e recepcionando os dados mesmo que em movimento e com alteração constante de movimento.

Uma vez selecionado as melhores opções dos componentes a serem utilizados, formulado o modelo de funcionamento, verificada a sensibilidade e compatibilidade dos componentes, trabalhada a otimização de parâmetros e testado os processos a serem realizados procurando prever seu desempenho, o projeto preliminar está finalizado e o próximo passo é o detalhando do projeto.

PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado do sistema de monitoramento pode ser consultado no trabalho de conclusão de curso “Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas”.

PRODUTO FINAL

Módulo de Monitoramento e Recepção de dados (figura 14)



Figura 14 - Módulo de monitoramento e recepção de dados

Software de monitoramento (figuras 15 à 18)

***Software* de Supervisão**



Figura 15 – Tela inicial *software* de supervisão

Legenda:

1 – Menu de opções

2 – Informações do *software*

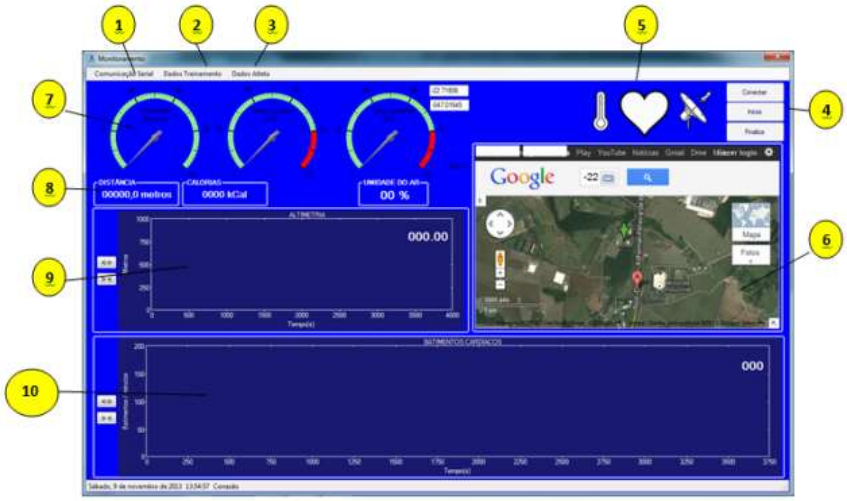


Figura 16 - Tela de monitoramento

Legenda:

1 – Menu de configuração de comunicação

2 – Menu para salvação dos dados do treinamento

3 – Menu para acesso ao formulário de inserção dos dados do atleta

4 – Botões para inicio e fim de comunicação e treinamento

5 – Animações para estado de leitura do GPS, batimento cardíaco e sensor de temperatura e umidade

6 – Mapa com posição atual do atleta

7- Animações para velocidade, temperatura corporal do atleta e umidade e temperatura ambiente

8 – Cálculos de distância percorrida e calorias

9 – Gráfico da altimetria

10 – Gráfico do batimento cardíaco



Figura 17 - Tela de dados do atleta

Legenda:

1 – Formulário para inserção dos dados do atleta



Figura 18 - Tela de recuperação dos dados

Legenda:

1 – Menu para abertura de dados de treinamentos

2 – Aba de escolha dos dados dos atletas (possibilidade da abertura de dados de até 4 atletas)

3 – Gráfico com os dados da temperatura corporal

4 – Gráfico com os dados da umidade ambiente

5 - Gráfico com os dados da temperatura ambiente

6 – Gráfico com os dados da velocidade

7 – Gráfico com os dados da altimetria

8 – Gráfico com os dados do batimento cardíaco

9 – Resultado do consumo máximo de oxigênio

10 – Resultado do consumo calórico

11 – Resultado do tempo de atividade

12 – Resultado da distância percorrida

13 - Dados do atleta e cálculo de IMC

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto ao sistema de monitoramento de atletas desenvolvido, o sistema de transmissão de dados sem fio, mostrou estabilidade mesmo que à longa distância e em movimento. O sistema de leitura de batimento cardíaco mostrou precisão de funcionamento. O sensor de temperatura e umidade mostrou funcionamento satisfatório. O sistema GPS utilizado mostrou restrição ao uso pretendido devido precisão de 5 metros, que não é satisfatória para utilização para monitoramento de atletas em praticas de esporte cujo movimento na maioria das vezes não seja superior a esta distância, também seu uso em ambiente fechado mostrou demora na conexão e imprecisão, o que causou grande variação até que o sistema se estabilizasse com o satélite, o

que trouxe como conseqüências erros em medições e cálculos que dependiam de seus dados. O sensor de temperatura, utilizado para leitura da temperatura corporal, apresentou grandes variações de medição, devido à precisão do canal analógico do microcontrolador, somado a possíveis variações da tensão de alimentação do sensor. O *software* de monitoramento apresentou bom funcionamento de suas animações, cálculos realizados, recepção, salvamento e recuperação de dados. Quanto ao método de desenvolvimento de projeto adotado, este se mostrou uma ótima ferramenta de desenvolvimento, auxiliando para que os objetivos do projeto fossem muito bem definidos e atingidos. A Análise de Necessidade ajudou a levantar as expectativas de possíveis usuários do Sistema de Monitoramento quanto à características e funcionabilidades que acreditam serem necessárias e que ainda não existem no mercado. A Análise de Similares auxiliou na comparação de produtos similares àquele que seria desenvolvido e que já estão disponíveis no mercado, possibilitando à comparação de funcionabilidades e auxiliando no levantamento de características que poderiam ser implementadas como um diferencial. Explorando os Sistemas Envolvidos no projeto, através da ferramenta do Mapa Mental foi um auxilio a definir as varias opções que poderiam ser adotadas para atender todas as características e funcionabilidades que o Sistema de Monitoramento de Atletas deveria ter, e verificando as Soluções Alternativas, poder definir a melhor opção existente. Com a Formulação do Modelo Matemático pode – se projetar as fórmulas e lógicas que dariam as funções ao Sistema de Monitoramento através da execução de seu *Firmware* e *Software.* Com a Sensibilidade e Compatibilidade do projeto pode – se prever o desempenho dos diversos módulos que compõe todo o sistema, prevendo seu funcionamento e caso não satisfatório, reverem seus processos a fim de chegar ao resultado necessário. A etapa do Projeto Detalhado permitiu que fossem gerados toda a documentação para que o produto projetado fosse produzido e replicado.

Foi atingido o objetivo do Sistema de Monitoramento de Atletas com poucas ressalvas, o módulo de monitoramento foi capaz de enviar os dados ao módulo de recepção mesmo que em movimento e a grandes distâncias. Conforme discutido no item “Resultados”, as ressalvas existentes dizem respeito do módulo GPS e do sensor de leitura de temperatura corporal.

Quanto ao módulo GPS adotado para o projeto, este é do tipo mais ofertado no mercado, como objetivo de utilização geral e não especifico para o tipo de aplicação que foi implementado. A precisão de 5 metros de leitura de posicionamento geográfico do módulo atende muito bem a aplicações da utilização do GPS como, por exemplo, para navegação em automóveis, onde uma variação 5 metros não influenciará em seu funcionamento e onde na maior parte do tempo ficará em ambiente aberto. Portanto, uma melhoria do Módulo de Monitoramento é a implementação de um sistema GPS com maior precisão e que não tenha seu funcionamento influenciado pelo ambiente em que trabalhará. Outra ressalva do projeto foi o funcionamento do sensor de temperatura, que apresentou variações constantes, esta característica encontrada poderá ser sanada através da utilização de outro modelo de sensor de temperatura ou sua implementação em um micro – controlador cuja a entrada analógica possua maior precisão do que o adotado ou ainda, a utilização de um regulador de tensão para alimentação do sensor de temperatura, visando assim uma maior estabilidade. O método de desenvolvimento adotado, roteiro crítico de projeto com descrito por Delgado Neto, Alkmin e Silva, Cabral Vieira e Dedini (2010), trouxe passos lógicos e necessários ao desenvolvimento do projeto. As etapas e as ferramentas utilizadas possibilitaram que, uma vez idealizado o produto a ser projetado, este pode ser comparado a outros similares disponíveis no mercado, possibilitou que fossem realizadas pesquisas com o público alvo do sistema e assim descobrir necessidades e novas funcionabilidades a serem adotadas. Auxiliou também para que fossem listados e depois definidos todos os possíveis sistemas que poderiam ser adotados para se chegar aos objetivos necessários. Depois, numa próxima etapa, desenvolver os métodos matemáticos e lógicos para funcionamento de todo o sistema e depois foi um auxílio para que fossem previstos o desempenho do que foi adotado e se caso necessário fossem revistos. E numa próxima etapa, a geração de toda a documentação necessária à produção do que foi projetado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

DELGADO NETO, Geraldo Gonçalves; DE ALKMIN E SILVA, Ludmila Corrêa; CABRAL VIEIRA, Vivianne; DEDINI, Franco Giuseppe. **Aplicação de Roteiro Crítico de Projetos em Curso de Graduação**. Revista de Ensino de

Engenharia, v.29, n.2, p. 35-42, 2010. Disponível em: HTTP://www.abenge.org.br/revista/index.php/abenge/article/download. Acesso em: 16 mar. 2013.

MARQUEZINI FILHO, Paulo Afonso. **Sistema de Monitoramento Remoto de Desempenho e Avaliação Física de Atletas**. Faculdade de Jaguariúna, 2013.

BRAGA, Egídio Alberto. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

SANDRINI LUZ, Carlos Eduardo. **Criação de Sistemas Supervisório em Visual C# 2010**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

TRISTHER, K. **Medida e Avaliação em Educação Física e Esportes**. São Paulo: Editora Manole, 2003.

FIGUEIREDO, Lígia J.; GAFANIZ, Ana R.; LOPES, Gustavo S.; PEREIRA, Ruben. **Aplicações de Acelerómetros**, 2007. Monografia – Engenharia Biométrica do Instituto Superior Ténico, Av. Rovisco Pais, Lisboa, Portugal. Disponível em: HTTP://nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/375. Acesso em: 18 mar. 2013.

BRAGA, Newton C. **O que são frequencímetros**. [S.1.], 20--. Disponível em: HTTP://www.newtoncbraga.com.br/index.php/instrumentacao/108-artigos-diversos/2747-ins133. Acesso em: 18 mar. 2013.

PRADA, Rodrigo. **O que é um acelerômetro**. [S.1.], 2009. Disponível em: HTTP://www.tecmundo.com.br/curiosidade/2652-o-que-e-um-acelerometro-.htm?utm_source=outbrain&utm_medium=recomendados&utm_campaign=outbrain=obinsite. Acesso em: 26 mar. 2013.

DECICINO, Ronaldo. **GPS: Sistema de Posicionamento Global tem diferentes utilidades**. [S.1.], 2009. Disponível em: HTTP://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/gps-sistema-de-posicionamento-global-tem-diferentes-utilidades.htm. Acesso em: 26 mar. 2013.

GURGEL, Anderson. **Esporte – Pátria das bicicletas, quimonos, raquetes e chuteiras**. Revista Desafios do Desenvolvimento, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, São Paulo, 2011. Disponível em: HTTP://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1149:reportagens-materias&Itemid=39. Acesso em: 22 abr. 2013.

Dossiê Esporte. Disponível em: http://globosat. globo. com/sportv/hotsite/dossie /dossie_esporte. htm. Acesso em 22 abr. 2013.

FERNANDES, Jorge. **O que é um programa (software)?**. [S.1.], 2002. Disponível em : HTTP://www.cic.unb.br/~jhcf/MyBooks/iess/software/oqueehsoftware.html. Acesso em: 29 mar. 2013.

PAIOLA, Carlos E.G.. **O papel do supervisório no atual contexto tecnológico**. Revista Intech, n. 132, p.6-18, 20--.

Nike+ Running ou Adidas MiCoach: Qual APP é melhor?. http://www.redbull.com.br/cs/Satellite/pt_BR/Article/Nike-Running-ou-Adidas-miCoach-qual-app-%C3%A9-melhor-021243317269572. Acesso em: 14 set. 2013.

Sobre os autores

Paulo Afonso Marquezini Filho

Engenheiro de Controle e Automação
paulo_marquezini@hotmail.com

Prof. Dr. Geraldo Gonçalves Delgado Neto

Possui graduação em Desenho Industrial Projeto do Produto pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001), mestrado, doutorado e pós-doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2005, 2008 e 2012, respectivamente), Fez parte da equipe de desenvolvimento de projeto de produto no LabSIn (Laboratório de Sistemas Integrados) - Unicamp. Professor Visitante UNICAMP - FEAGRI ate janeiro de 2015. Atuou em outras parcerias importantes: CTI - Centro da Tecnologia da Informação e Technische Universitat Darmstadt. Assessor Pedagógico do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Jaguariúna (FAJ), Coordenador da área de pesquisa Ciências Exatas e Tecnológicas do Núcleo de Estudos e Pesquisas Interdisciplinar (NEPI) Graduação e Pós-graduação - Faculdades Jaguariúna (FAJ) e Max Planck. Professor Titular em Metodologia de Projeto do Produto e participa do Conselho Editorial da Revista INTELLECTUS - Revista Acadêmica Digital da FAJ. Possui experiência em Design Projeto do Produto, Engenharias de Produção, de Controle e Automação e Mecânica. Trabalha em áreas relacionadas à gestão da inovação, gestão da qualidade, metodologia e gerenciamento de projeto do produto, manufatura, ergonomia, acessibilidade e design universal (projeto inclusivo). Possui experiência em Design Projeto do Produto, Design Universal, Promoção da Saúde, Engenharias de Produção, de Controle e Automação e Mecânica. Professor e pesquisador pela Faculdade Jaguariúna FAJ, Coordenador de pesquisa NEPI da área de exatas e tecnológicas. Coordenador do Grupo de Estudo de Desenvolvimento de Alta Tecnologia - GEDAi (Design Universal e tecnologia). Coordenador do Grupo de Estudo de Práticas Pedagógicas para Eng. De Produção - GEPPEP (Metodologias de aprendizagem e práticas da engenharia).Coord. do Grupo de Estudo de Engenharia e Arte - MOMENTO (através da cultura criar vínculos entre alunos e a Faculdade).
ggeraneto@gmail.com

DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA E DA TANGENTE DE PERDA DA PASTA DE CIMENTO EM FREQUENCIAS DE MICROONDAS

Determination of dielectric constant and loss tangent in cement paste at microwave frequencies

PFEIFER, Weila Packer
Faculdade de Tecnologia - UNICAMP

LINTZ, Rosa Cristina Cecche
Faculdade de Tecnologia - UNICAMP

GACHET-BARBOSA, Luisa Andreia
Faculdade de Tecnologia - UNICAMP

BRAVO-ROGER, Leonardo Lorenzo
Faculdade de Tecnologia – UNICAMP

Resumo: O artigo apresenta um estudo experimental que tem como finalidade a determinação da constante dielétrica e da tangente de perda da pasta de cimento. A pasta de cimento é um elemento comum nas construções de alvenaria, seja na argamassa de assentamento ou na composição dos próprios elementos construtivos, como por exemplo, paredes feitas de tijolos de barro, blocos de concreto, placas pré-moldadas, etc, que afetam as comunicações sem fio nos ambientes internos das edificações. Uma análise apurada da redução dos níveis de sinais provocadas por essas barreiras artificiais, foi analisada nesse estudo, onde se utilizou a faixa de frequência de 2,45 GHz (frequência de operação das redes sem fio). O resultado mostra que o método utilizado é apropriado para caracterizar a permissividade de pastas de cimento.

Palavras-chave: pasta de cimento; permissividade; comunicação em interiores.

Abstract: This article shows an experimental study that aims to determine the dielectric constant and the cement paste loss tangent. The cement paste is a common element in masonry construction, whether in the mortar or in the composition of constructive elements, such as walls made of clay bricks, concrete blocks, precast slabs, etc., that affect wireless communications in indoor environments of buildings. An accurate analysis of the reduction of signal levels caused by these artificial barriers has performed in this study, in which a band in the 2.45 GHz range (wireless networks operation frequency) was used. Results show that the perform method is appropriate to characterize the permittivity of cement pastes.

Keywords: Cement paste; Permittivity; indoor communications.

INTRODUÇÃO

A partir de 1990 a necessidade de comunicação instantânea, combinado com o movimento constante do ser humano, levou ao avanço tecnológico especialmente no segmento de telecomunicações, o que resultou no desenvolvimento abrupto de telefones móveis e recursos de conexão e aplicações [1]. Atualmente abundam aplicativos usados em telefones, *laptops*, *tablets* e outros meios de comunicação que permitem a comunicação instantânea via rede sem fio (*wireless*), onde o sinal é transmitido através de radiofrequência, podendo ser atenuado ou bloqueado por vários tipos de barreiras, sendo elas naturais ou artificiais, [2]. Notavelmente, usuários dessa rede percebem que ao passar de um ambiente para outro no interior dos edifícios, o sinal proveniente da rede sem fio que atinge o dispositivo sofre atenuação do sinal, sugerindo que a alvenaria que divide um ambiente do outro está agindo como uma barreira. Já existem estudos que mostram que as paredes construídas com tijolos furados apresentam menor absorção do sinal em comparação com paredes de tijolos sólidos [3].

Desenvolvimentos mais recentes têm utilizado do sistema Steel Frame (paredes de placas de cimento), reduzindo o tempo de execução, o trabalho e a geração de resíduos [4-5]. A pasta de cimento é a base para a fabricação de produtos de construção civil. Sendo assim, este artigo contribui para a caracterização experimental eletromagnética da pasta de cimento, o que permitirá estudar o efeito das paredes internas feitas desse material sobre as ondas de radiofrequência na banda utilizada pelas redes sem fio (frequência central de 2,45 GHz).

Utilizando a técnica da cavidade cilíndrica ressonante perturbada [8], esse dispositivo foi projetado e construído para medir os parâmetros dielétricos de amostras de pasta de cimento. Para tornar possível essa medição e análise, inicialmente foi realizada a medição de frequência de ressonância da cavidade vazia. Em seguida, uma amostra de material foi colocada no centro da cavidade, e novamente foi medida a frequência de ressonância, agora com a cavidade perturbada (como se costuma dizer). De posse dos valores da frequência de ressonância e do volume da amostra é calculada a constante dielétrica, enquanto que a tangente de perda é calculada a partir do fator de qualidade com e sem

amostra. A amostra trabalhada/analisada nesse artigo foi fabricada sob a forma de um cilindro.

A parte real e imaginária da permissividade pode então ser calculada a partir da mudança na frequência de ressonância e o fator de qualidade. O restante do artigo foi organizado da seguinte forma: a Seção 2 explica a análise teórica para a determinação da constante dielétrica e da tangente de perda; a Seção 3 descreve os procedimentos de fabricação e preparação de amostras; os resultados teóricos e experimentais para a pasta de cimento são apresentados na Seção 4 e nessa mesma seção se apresentam as medições realizadas para uma amostra de Teflon, de características conhecidas, com o objetivo de validar o experimento; as observações finais deste trabalho são descritas na Seção 5.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O método da cavidade ressonante é amplamente utilizado na medição da constante dielétrica e da tangente de perdas dos materiais [6]. A ideia básica da cavidade é a mudança na configuração geral geométrica dos campos eletromagnéticos com a inserção de uma amostra que deve ser pequena. As seguintes equações possibilitam os cálculos teóricos da frequência de ressonância, f_c da cavidade cilíndrica, para modo TM_{010} [7]:

$$f_{nml} = \frac{c}{2\pi}\left[\left(\frac{x_{nm}}{a}\right)^2 + \left(\frac{H\ \pi}{d}\right)^2\right]^{1/2} \qquad (1)$$

Onde: f_{nml} é a frequência de ressonância da cavidade no modo *nml*, *c* é a velocidade da luz, X_{nm} é a raiz da função Bessel (utiliza-se a raiz de primeira ordem), *a* é o raio da cavidade cilíndrica, *d* é a profundidade da cavidade e por último, *H* é a altura total da cavidade.

Através da inserção de uma amostra simetricamente na região de campo elétrico máximo dentro da cavidade, as partes real e imaginária da permissividade relativa complexa, são calculadas por [7]:

$$\varepsilon' = 1 + \frac{V}{2v}\left(\frac{f_1 - f_2}{f_2}\right) \qquad (2)$$

$$\varepsilon'' = \frac{V}{4v}\left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_2}\right) \qquad (3)$$

Onde, f_1 é a frequência de ressonância da cavidade em vazio, f_2 é a frequência de ressonância da cavidade perturbada com o espécime, Q_1 e Q_2 são os fatores de qualidade da cavidade, sem e com amostra em seu interior, respectivamente; e finalmente, V e v são os volumes de cavidade e a da amostra, respectivamente. O fator de qualidade, Q em ambos os casos é determinado através da medição da frequência de ressonância (f_0) e da largura de banda de meia potência Δf_{3dB}, pela equação seguinte:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta_{f_{3dB}}} \qquad (4)$$

A tangente de perda (*tan δ*) pode ser calculada por:

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \qquad (5)$$

PROCESSO DE FABRICAÇÃO E PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

A. *FABRICAÇÃO DA CAVIDADE CILINDRICA*

Para realizar o ensaio é necessário, inicialmente, dimensionar a cavidade para receber o material a ser testado. Esta cavidade deve ser feita de material metálico para evitar que as ondas de radiofrequência saiam da cavidade para o exterior da mesma. A cavidade pode ser feita de materiais metálicos, tais como latão ou alumínio.

A equação (1) foi utilizada para conceber a cavidade, tendo sido calculados tanto o diâmetro interno quanto a profundidade da cavidade para a gama de frequências pretendida. A frequência utilizada para o cálculo do diâmetro interno foi de 2,45 GHz, o que resultou em a = 48 mm, d = 54 mm, H = 62 mm e um volume interno V = 520,888.32 mm^3. A Fig.1 mostra a cavidade cilíndrica fabricada.



FIG. 1 A CAVIDADE CILÍNDRICA FABRICADA.

FONTE: AUTORES.

A radiofrequência foi excitada no interior da cavidade utilizando-se o excitador mostrado na Fig. 2, inserido no centro da tampa superior da cavidade. O conector SMA fêmea, permite ligar o excitador ao Analisador Vetorial de Rede, através de um cabo coaxial. Tendo as dimensões apropriadas da cavidade para trabalhar com a frequência de redes sem fio, o software HFSS foi utilizado para otimizar o comprimento do excitador da cavidade e o tamanho correto das amostras a serem testadas. Com base em simulações foi definido como 8,5 mm o melhor comprimento para o excitador.



FIG. 2 CONECTOR SMA FÊMEA COM O EXCITADOR DE RADIOFREQUÊNCIA SOLDADO.

FONTE: AUTORES

B. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a fabricação das amostras de pasta de cimento, foi utilizado cimento Portland de alta resistência inicial (CPV- ARI), cujas características físicas, químicas e propriedades mecânicas cumprem as exigências da norma NBR 5733:1991, e a densidade é 3,08 (g/cm^3), testado de acordo com a norma NBR NM 23:2001. A composição do CPV - ARI é dada por 95% a 100% de clínquer e gesso, com adição de uma percentagem de até 5% de enchimento calcário. Este cimento é mais fino na

sua composição do que o CP – III, devido à diferença de dosagem do calcário e da argila na produção do clínquer, e ao processo de moagem.

Esta produção resulta em propriedades de alta resistência nos primeiros dias após a aplicação, e também por esta razão, é amplamente utilizada em pesquisa tecnológica que precisa de resultados rápidos e de alta resistência para rápida aplicação no mercado. Outros dados e exigências físicas e mecânicas do cimento CPV-ARI são mostrados na Tabela I, enquanto que os requisitos químicos são apresentados na Tabela II.

TABELA I. REQUISITOS FÍSICOS DO CIMENTO CPV-ARI

Finura		**Tempo de Pega**		**Expansividade**		**Resistência à Compressão**			
Resíduo na peneira 75mm (%)	Área especifica (m^2/kg)	Início (h)	Fim (h)	Frio (mm)	Quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 14	≥ 24	≥ 34	-

FONTE: ADAPTADO DE [2].

TABELA II. REQUISITOS QUÍMICOS DO CIMENTO CPV-ARI

Resíduo insolúvel (%)	**Perda Inicial (%)**	**MgO (%)**	**SO_3 (%)**	**CO_2 (%)**	**S (%)**
≤ 1.0	≤ 4.5	≤ 6.5	≤ 3.5 ≤ 4.5(*)	≤ 3.0	-

(*)SO_3 É IGUAL A 3.5% QUANDO $C_3A \leqslant$ 8.0 E 4.5% QUANDO $C_3A \geqslant$ 8.0%

FONTE: ADAPTADO DE [2].

Nas simulações, foram trabalhadas amostras com dimensões que variam de 30 mm de diâmetro por 30mm de altura até 6mm de diâmetro por 10mm de altura, definindo-se assim que o tamanho apropriado a ser adotado para as amostras a serem fabricadas é de 6 mm de diâmetro x 10 mm de altura. Para a fabricação da

amostra de pasta de cimento foram utilizados os critérios e regulamentos [1] com uma relação água/cimento de 0,4. Devido à necessidade de uma fabricação de amostras em uma escala reduzida, inferior às menores amostras normatizadas que são de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, todos os materiais e moldes foram adaptados. Neste caso, foram usados para moldes tubos de plástico das dimensões requeridas.

Entre os corpos produzidos foi escolhido o de melhor acabamento superficial para os ensaios de RF, conforme mostra a Fig. 3a. Uma amostra das mesmas dimensões foi fabricada em Teflon conforme a Fig.3b.Como a tangente de perda e a constante dielétrica do Teflon são já conhecidos [4] conforme apresentado na linha cinco da Tabela III, essa amostra de teflon foi usada como referência para a validação dos testes.



(a) amostra de pasta de cimento usada para ensaio em RF.



(b) amostra de Teflon usada para ensaio em RF.

FIG. 3 AMOSTRAS DE CIMENTO E TEFLON

FONTE: AUTORES

TABELA III. CARACTERÍSTICAS DOS PARÂMETROS DIELÉTRICOS DOS MATERIAIS EM FREQUÊNCIA DE 2.45 GHZ.

Material	Constante Dielétrica	Tangente de perda
Alumina	9	0.0006
Concrete (dry)	4.5	0.0111
Quartz	4	0.0001
Nylon	2.4	0.0083
Teflon	2.1	0.0003
Wood	1 – 2.5	0.004

FONTE: ADAPTADO DE [4].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Analisador Vetorial de Redes, *Agilent Technologies E5071C*, foi calibrado para funcionar na gama de frequência das redes sem fio. Notou-se a necessidade de secagem com ar quente, tanto da cavidade quanto das amostras, para evitar que a umidade causasse imprecisão nas medições. O primeiro teste foi realizado com a cavidade vazia, seguido de um teste com uma amostra de teflon centralizada no interior da cavidade. A Fig. 4 mostra a cavidade de ressonância cilíndrica ligada ao analisador de redes.



FIG. 4 ANALISADOR DE REDE COM CABO COAXIAL LIGADO À CAVIDADE RESSONANTE CILÍNDRICA

FONTE: AUTORES

Os resultados das medições com amostras de Teflon coincidiram com os valores esperados de acordo com a Tabela I. Isso significa que o método de medição da cavidade de ressonância foi validado para amostras nessas dimensões e na frequência de 2,45GHz. Sendo assim, a amostra de Teflon foi substituída pela amostra de pasta de cimento. Com os valores centrais de frequência de ressonância, as perdas de retorno em dB, e os valores de frequência obtidos nos pontos de 3dB da cavidade em vazio, relacionados com os mesmos valores da cavidade perturbada (valores estes obtidos através do ensaio com o Analisador de Redes ligado à cavidade ressonante), tornou-se possível calcular a constante dielétrica e a tangente de perda para cada amostra, utilizando-se (2), (3) e (4), tal como descrito em [6].

A frequência central de ressonância da cavidade em vazio resultou na gama de 2.3769694 GHz e a perda de retorno na ordem de -21,3 dB. As frequências dos pontos de 3 dB foram 2,376561GHz e 2,372876 GHz, como mostra a Fig. 7. Ao

perturbar a cavidade com a amostra de Teflon, a nova frequência central de ressonância foi de 2,37 GHz, com uma perda de retorno de -19,5 dB e as frequências nos pontos de 3dB foram 2,3742689 GHz e 2,3749010 GHz, conforme mostrado na Fig. 8. A aplicação dos valores obtidos nos ensaios, conforme ilustram as Fig. 7 e 8, em (2), (3) e (4) permite obter os valores ilustrados na coluna central da Tabela IV. Comparando-se esses resultados com os valores de referência oferecidos na coluna central da Tabela III, observa-se uma correspondência satisfatória das medições do Teflon. Isso permitiu a validação do método, tornando confiáveis os resultados obtidos para a amostra de pasta de cimento que são oferecidos na última coluna da Tabela IV.

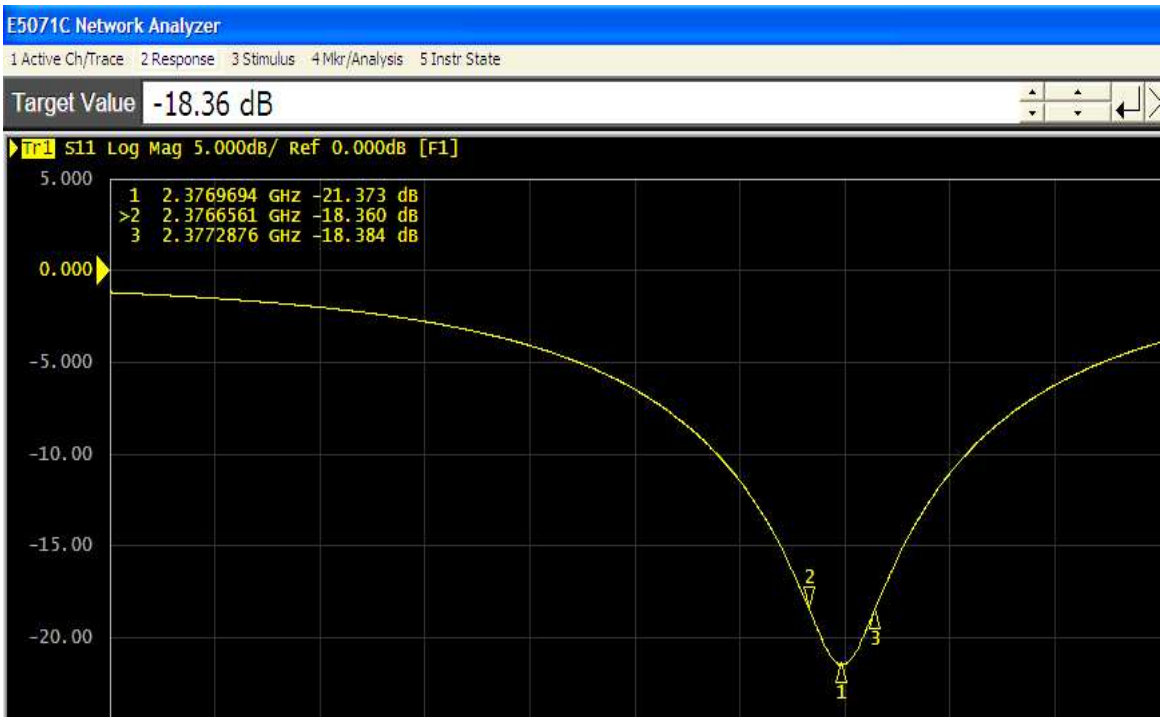


FIG. 7 – GRÁFICO DA CAVIDADE RESSONANTE ANALISADA EM VAZIO, OBTIDA NO ANALISADOR DE REDES.

FONTE: AUTORES.

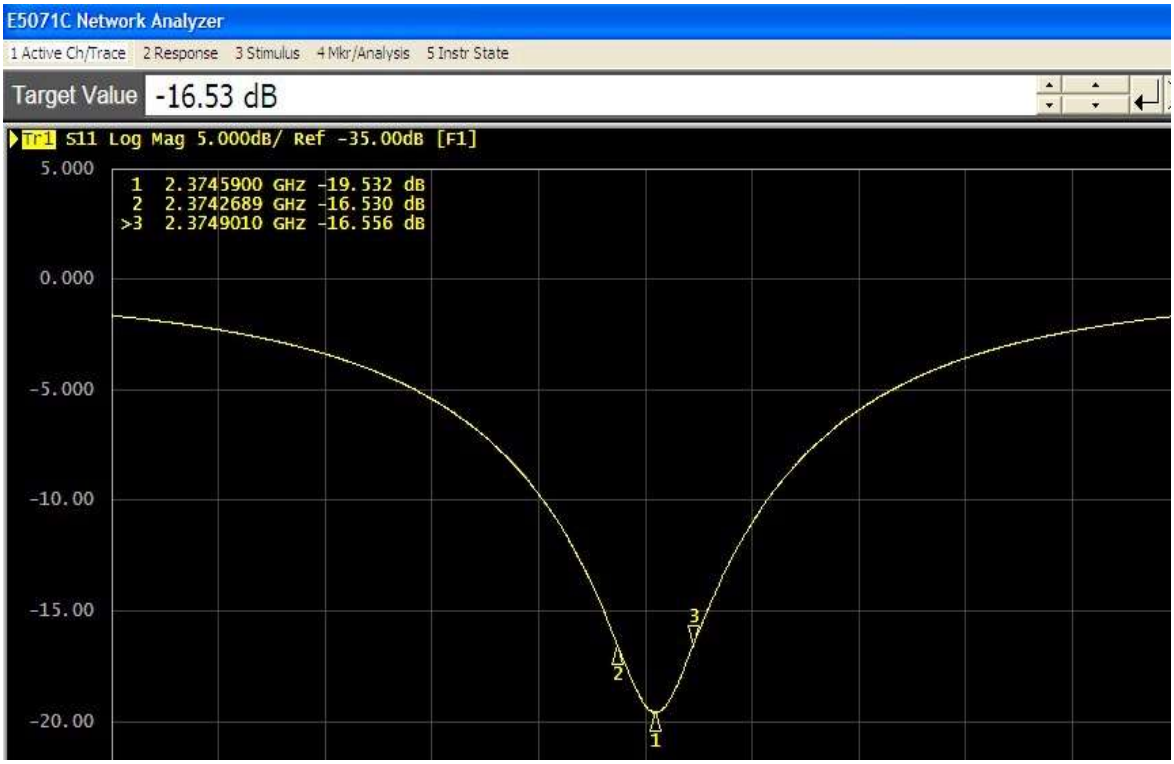


FIG. 8 - GRÁFICO DE FREQUÊNCIAS DO ENSAIO DA CAVIDADE DE RESSONÂNCIA COM A AMOSTRA DE TEFLON OBTIDA NO ANALISADOR DE REDES.

FONTE: AUTORES.

TABELA IV – VALORES DAS CONSTANTES DIELÉTRICAS E TANGENTE DE PERDA CALCULADO COM OS VALORES MEDIDOS.

Descrição do corpo de prova	**Teflon**	**Pasta de Cimento**
(v) Volume do Corpo de Prova em mm^3	282.6	263.195159
V/v	2092.653451	1979.095368
Cálculo do Fator de Qualidade	3756.668249	891.1821711
ε' (Constante Dielétrica)	2.048446179	6.299965269
ε"	j0.000271463	j0.423739458
Tangente de Perda	0.000132521	0.067260602

CONCLUSÃO

Conseguiu-se com sucesso, dimensionar o tamanho adequado de amostras de pasta de cimento que permitiram utilizar o método da cavidade para obter uma caracterização eletromagnética desse material na banda de radiofrequência utilizadas pelas redes sem fio, instaladas nos interiores dos edifícios. As dimensões apropriadas tanto das amostras como da cavidade foram determinadas por meio de simulações, utilizando o simulador eletromagnético de alto desempenho, HFSS versão 15.0. Observou-se que as dimensões das amostras, para serem compatíveis com a utilização do método de caracterização da cavidade, implicaram na necessidade de fabricar amostras de pasta de cimento em escalas muito pequenas, se comparadas com as dimensões e escalas trabalhadas usualmente na construção civil. O resultado mostra que a constante dieléctrica do material pode ser obtida com precisão através da cavidade projetada. Com a caracterização da pasta de cimento em radiofrequência é possível agora quantificar a atenuação experimentada pelo sinal de radiofrequência quando atravessa paredes construídas com esse material. Ao mesmo tempo, abre-se um leque de oportunidades de pesquisa visando possíveis novos produtos da construção civil que provoquem menor impacto sobre as ondas de rádio frequência *wireless* (popularmente conhecidas por WiFi), melhorando-se assim a qualidade da comunicação no interior dos edifícios.

1.1.1.1.1

1.1.1.1.2 REFERENCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA. ABNT NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistencia a compressão. Rio de Janeiro, 1997.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia Basico de Fabricação do Cimento Portland. Dezembro, 2002 – São Paulo, SP.

[3] Agilent E5071C ENA Network Analyzer, Agilent Technologies, Inc. 2013 – 2014 Published in USA, Março 5, 2014. http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-5478EN.pdf.

[4] ETERPLAC, Catalogo Técnico de fabricação de placas de cimento, São Paulo, 2010. http://www.eternit.com.br/userfiles/ETERPLAC_final%20060110.pdf.

[5] GALLO, Michael A.; HANCOCK, W. M.: Comunicação de computador e Tecnologia de Rede, São Paulo, 2003

[6] A. Kumar and S. Sharma, “Measuriment of dieletric constant and loss factor of the dielectric material at microwave frequencies”, *Progress In Electromagnetics Research, PIER*, nº 69, pp.47–54, 2007.

[7] R. E. Collin, “Foundations for Microwave Enginneering”, 2ª nd, McGraw-Hill, 1992

[8] OLIVEIRA, Jesiel A.; PINHO, João T. Medição da Permissividade Elétrica de Produtos Naturais, 2002. Anais do Simpósio Brasileiro de Microondas e Otica – Grupo de Estudos e Departamento de Engenharias Alternativas / Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. http://www.ufpa.br/gedae/SBMO2002_02.PDF

[9] PELLEGRINI, Alberto L. M. Análise de propagação de sinais de Rádio Frequência em redes wireless utilizando cabos irradiantes com configurações diferentes em ambiente indoor, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia da Computação, Universidade de Brasília ; Brasília, DF, 2010.

[10] SILVA, Anderson Porto; SOARES, Bruno Tarouco. A. Wi-Fi e WiMAX. I: As tecnologias de Rede Sem Fio, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009.

Mini Curriculum dos autores:

W. P. Pfeifer Doutoranda em Tecnologia e Inovação em sistemas de comunicação pela Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, tendo recebido o titulo de Mestre em Tecnologia e Inovação em 2014 pela Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, e o titulo de Tecnologa em Construção Civil pelo Centro Superior de Ensino Tecnologico da UNICAMP em 2006.

Weila.pfeifer@pos.ft.unicmap.br
(19) 2113-3487

R. C. C. Lintz. Possui Graduação pela FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1994), mestrado em CIENCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS pela Universidade de São Paulo (1997) e doutorado em Materiais e Processos Fabricação pela UNICAMP (2003). Atualmente é professor Pleno da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. Tem experiência na área de Construção Civil, com ênfase em Engenharia Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: desenho, reaproveitamento de materiais alternativos em compósitos e elementos de alvenaria, concreto elevado desempenho, dosagem de concreto, estruturas de concreto.

rosacclintz@ft.unicamp.br

L. A. Gachet-Barbosa. Possui Graduação em Tecnologia Sanitária pelo Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) da UNICAMP (1990), e também graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (1993), mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas, pela Universidade Estadual de Campinas-FEC/UNICAMP (1997) e doutorado em Engenharia Civil, área de concentração Estruturas, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- POLI/USP (2002). Atualmente é professor MS-3 da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP) e Coordenador do curso de Graduação de Tecnologia da Construção Civil. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia de Estruturas, atuando principalmente nos seguintes temas: estruturas de concreto armado, concreto armado, concreto de alta resistência, concreto auto adensável, materiais de construção, reciclagem de materiais e sustentabilidade.

gachet@ft.unicamp.br

L. L. Bravo-Roger recebeu o B. S. e M.Sc. em Sistemas de Telecomunicações na Universidade de Oriente (UO), Santiago de Cuba, em 1985 e 1998, respectivamente, e o Ph.D. em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil, em 2003. Desde 2004, ele está com Escola Superior de Tecnologia da UNICAMP, Limeira, São Paulo, Brasil. Suas atividades de pesquisa estão nas áreas de tecnologias de RF, microondas, sistemas de detecção de Radar e Redes de Sensores Sem Fio.

leobravo@ft.unicamp.br