

- Nival Nunes de Almeida, Adriana Tonini,  
Luiz Paulo Brandão* 2 APRESENTAÇÃO
- Cláudio Gonçalves de Oliveira,  
Ivete Peixoto Pinheiro Silva* 3 OS ESTUDOS TRIBOLÓGICOS NO ENSINO  
DE ENGENHARIA MECÂNICA  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p3-10
- Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa,  
Sílvia Hauelsen Figueiredo,  
Sidnea Eliane Campos Ribeiro* 11 ESTUDO COMPARATIVO DA TECNOLOGIA  
CAD COM A TECNOLOGIA BIM  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p11-18
- Ana Paula Arezo Souza, Maurício César Delamaro,  
Andreia Maria Pedro Salgado, Arminda Campos* 19 A VALORIZAÇÃO DAS COMPETÊNCIAS NA FORMAÇÃO  
E NA ATUAÇÃO DE ENGENHEIROS: A VISÃO DE  
ESTUDANTES DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p19-30
- João Cláudio Ferreira Soares,  
Frederico Nicolau Cesarino* 31 ESTUDO DE CASO: INFLUÊNCIA DO  
PROLONGAMENTO DO CORDÃO DE SOLDA  
GMAW (MIG/MAG) NA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO  
DO CONTORNO DA REGIÃO SOLDADA EM  
ESTRUTURAS TUBULARES SUJEITAS À FLEXÃO  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p31-44
- José Luís Farinatti Aymone* 45 GEOMETRIA DESCRITIVA, MATEMÁTICA E COMPUTAÇÃO  
GRÁFICA PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE TELHADOS  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p45-52
- Ana Beatriz de Figueiredo Oliveira,  
Henor Artur de Souza* 53 SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS NOS  
CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
ARQUITETURA DO BRASIL  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p53-60
- Maria Alice Veiga Ferreira de Souza,  
Sotério Ferreira de Souza* 61 O POTENCIAL DA PONTE DE WHEATSTONE PARA  
A PRODUÇÃO DE CONHECIMENTOS EM SISTEMAS  
LINEARES: UMA SITUAÇÃO DIDÁTICA  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p61-69
- Karine S. de Almeida, Tassalon F. da Silva,  
Daniel G. Costa* 71 UMA FERRAMENTA PARA SUPORTE AO  
ENSINO DO PROTOCOLO AODV  
DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p71-81

## APRESENTAÇÃO

Neste segundo número do ano de 2015, a *Revista de Ensino de Engenharia* traz oito artigos que discutem assuntos relacionados à educação em engenharia no contexto contemporâneo.

Esta edição se inicia com o artigo OS ESTUDOS TRIBOLÓGICOS NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA, de autoria de Cláudio Gonçalves de Oliveira e Ivete Peixoto Pinheiro Silva, que abordam o trinômio atrito, desgaste e lubrificação, com vistas a uma melhor compreensão dos mecanismos que levam a perdas operacionais e financeiras causadas pelo desgaste, uma das maiores preocupações das indústrias em todo o mundo.

Na sequência, um ESTUDO COMPARATIVO DA TECNOLOGIA CAD COM A TECNOLOGIA BIM, de Giovanni Ribeiro da Costa, Sílvia Figueiredo e Sidnea Campos Ribeiro apresenta o desenvolvimento de um mesmo projeto utilizando o *software* AutoCAD, com a tecnologia CAD, e, posteriormente, com o Revit, que utiliza a do BIM, discutindo-se, então, as vantagens e desvantagens de cada uma.

O artigo A VALORIZAÇÃO DAS COMPETÊNCIAS NA FORMAÇÃO E NA ATUAÇÃO DE ENGENHEIROS: A VISÃO DE ESTUDANTES DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA, de Ana Paula Souza, Maurício Delamaro, Andreia Salgado e Arminda Campos, tem por foco os resultados de uma pesquisa tipo *survey* realizada com formandos em engenharia, para verificar a visão desses alunos quanto à valorização e à importância das competências propostas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais em dois ambientes distintos: o da universidade e o das empresas.

De autoria de João Cláudio Soares e Frederico Cesarino, ESTUDO DE CASO: INFLUÊNCIA DO PROLONGAMENTO DO CORDÃO DE SOLDA GMAW (MIG/MAG) NA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO DO CONTORNO DA REGIÃO SOLDADA EM ESTRUTURAS TUBULARES SUJEITAS À FLEXÃO tem por objetivo apresentar um estudo desenvolvido numa indústria do Polo Industrial de Manaus (PIM), no segmento de motocicletas. A pesquisa aborda a problemática da concentração de tensões no contorno do cordão de solda, em ponto de solicitação mecânica de flexão em estrutura tubular soldada.

O artigo GEOMETRIA DESCRITIVA, MATEMÁTICA E COMPUTAÇÃO GRÁFICA PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE TELHADOS, de José Luís Aymone, propõe dois problemas de cálculo da área de telhados. Para a solução, são utilizados conhecimentos de geometria descritiva, matemática e computação gráfica.

Apresentando o artigo SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA DO BRASIL, Ana Beatriz Oliveira e Henor de Souza mostram como os sistemas construtivos industrializados se caracterizam como uma alternativa eficiente à construção *in loco*, ressaltando, porém, que seu uso no mercado brasileiro é pequeno se comparado ao seu potencial.

Para contribuir com a educação em engenharia, o artigo O POTENCIAL DA PONTE DE WHEATSTONE PARA A PRODUÇÃO DE CONHECIMENTOS EM SISTEMAS LINEARES: UMA SITUAÇÃO DIDÁTICA, de Maria Alice Veiga Ferreira de Souza e Sotério Ferreira de Souza, analisa como os sistemas lineares integram diferentes conteúdos do Ensino Superior e constituem importante ferramenta descritiva e de decisão em diferentes situações nas engenharias.

Finalizando esta edição da Revista, o artigo UMA FERRAMENTA PARA SUPORTE AO ENSINO DO PROTOCOLO AODV, de Karine S. de Almeida, Tassalon F. da Silva, Daniel G. Costa, apresenta o desenvolvimento de um *software* para o ensino do protocolo de roteamento AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*), muito utilizado em diversas aplicações de redes de telecomunicações sem fio, a fim de possibilitar o encaminhamento de dados entre os dispositivos de origem e destino, quando uma infraestrutura de comunicação não está disponível.

Agradecemos a todos que colaboraram com a preparação e publicação desta edição, esperando que a leitura possa contribuir com a reflexão para a ação educacional da engenharia no Brasil.

**Nival Nunes de Almeida – Presidente da ABENGE**

**Adriana Tonini e Luiz Paulo Brandão – Editores da Revista da ABENGE**

# OS ESTUDOS TRIBOLÓGICOS NO ENSINO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p3-10

Cláudio Gonçalves de Oliveira,<sup>1</sup> Ivete Peixoto Pinheiro Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

Considerando que as perdas operacionais e financeiras causadas pelo desgaste são uma das maiores preocupações das indústrias em todo o mundo, e, partindo-se do pressuposto de que, para os engenheiros mecânicos, o atrito, o desgaste e a lubrificação são o trinômio com o qual sempre irão se deparar em todas as fases de desenvolvimento de um projeto, a compreensão de seus mecanismos e o desafio de propor soluções para tais problemas tornam-se imprescindíveis para sua completa formação profissional. O artigo problematiza a tênue abordagem da “Tribologia” – entendida como a ciência que estuda os mecanismos do atrito, do desgaste e da lubrificação – nos cursos de Engenharia Mecânica, apresenta um levantamento teórico-conceitual acerca do desgaste abrasivo e ilustra, com um exemplo prático, a análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio, usadas em equipamentos de mineração.

**Palavras-chave:** Tribologia; Ciência do desgaste; Engenharia Mecânica.

## ABSTRACT

### TRIBOLOGICAL STUDIES IN MECHANICAL ENGINEERING EDUCATION

Considering that the operational and financial losses caused by wear is a major concern of industries around the world, starting from the assumption that for mechanical engineers, friction, wear and lubrication is the triad with which always will come across in all development phases of a project, understanding its mechanisms and the challenge of proposing solutions to such problems become important for your complete training. The article discusses the tenuous approach to “Tribology” – understood as the science that studies the mechanisms of friction, wear and lubrication – in Mechanical Engineering courses, presents a theoretical and conceptual survey about the abrasive wear and illustrates with a practical example and critical analysis of a technique used to evaluate the wear resistance of high chromium white cast iron parts with the addition of niobium used in mining equipment.

**Keywords:** Tribology; Science wear; Mechanical Engineering.

1 Doutorando em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG); Mestre em Engenharia de Materiais; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG; claudiogon@bol.com.br

2 Professora; Doutora em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG); Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais; Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG; ivetepinheiro@deii.cefetmg.br

## INTRODUÇÃO

Os cursos de Engenharia Mecânica, de maneira geral, dão inexpressiva importância aos estudos tribológicos em seus currículos, constando de apenas uma ou duas disciplinas introdutórias,<sup>1</sup> nas quais se abordam conceitos básicos de Tribologia. Tais disciplinas apresentam superficialmente os tipos e mecanismos de desgaste de materiais, sem o devido aprofundamento teórico, e tampouco dão espaço a estudos práticos e a exemplos empíricos. É privilegiada uma abordagem hermenêutica, visando levar os futuros engenheiros à compreensão da natureza física dos atritos e suas consequências, por meio de uma visão geral dos conceitos básicos e dos princípios tribológicos.

Considerando que as perdas operacionais e financeiras causadas pelo desgaste constituem uma das maiores preocupações das indústrias em todo o mundo, e, partindo-se do pressuposto de que, para os engenheiros mecânicos, o atrito, o desgaste e a lubrificação são o trinômio com o qual sempre irão se deparar em todas as fases de desenvolvimento de um projeto, muito além da compreensão de seus mecanismos, o desafio de propor soluções para tais problemas torna-se ainda mais vital para sua atuação profissional. Portanto, urge uma reflexão acerca de uma abordagem mais completa e crítica dessa ciência no ensino da Engenharia Mecânica, e, assim, o reconhecimento de sua importância como parte imprescindível e privilegiada nos currículos dos cursos.

Nesse sentido, o presente artigo visa contribuir para o ensino da Tribologia nos cursos de Engenharia Mecânica apresentando os conceitos e mecanismos do desgaste abrasivo, ilustrando com um exemplo prático de uma análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio, utilizadas em equipamentos de mineração.

Discutir os conceitos teóricos e apresentar exemplos de experimentos de ordem prática pode elevar a formação dos futuros engenheiros mecâni-

cos a patamares mais altos e torná-los aptos a exercerem sua profissão com competência e produtividade.

## TRIBOLOGIA: CONCEITO E BREVE HISTÓRICO

“Tribologia” vem do grego “*Τριβο*” e “*Λογος*”, respectivamente, “tribos”, que significa roçar-esfregar, e “logos”, estudo. Em uma tradução literal, Tribologia significa “estudo do atrito”, ou a “ciência que estuda o atrito”. Segundo Hutchings (1992), Tribologia é o estudo do atrito, desgaste e lubrificação.

Em 1966, o termo “Tribologia” foi utilizado oficialmente, pela primeira vez, em um relatório feito por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação, para definir “A ciência e tecnologia da interação entre superfícies em movimento relativo e das práticas com elas relacionadas”.<sup>2</sup> Por meio de um estudo que quantificou as perdas econômicas provenientes dos desgastes, na Inglaterra, Jost evidenciou o quanto poderia ser economizado anualmente se os princípios da Tribologia fossem corretamente aplicados (cf.: DOWSON, 1979, p. 1).

Conforme Sinatora (2005), a Tribologia se dedica ao estudo do desgaste, do atrito e, por conseguinte, da lubrificação, como forma tradicional de minimizar seus efeitos negativos. Apoiando-se na mecânica, física, química e ainda nas ciências dos materiais, não traz, portando, nenhum conhecimento novo.

Embora a palavra “tribologia”, em sua atual conotação, seja relativamente nova, datada no século XX, o assunto a que se refere não o é, incluindo os tópicos relativos ao atrito, ao desgaste e à lubrificação. Desde a invenção da roda, que é anterior a qualquer registro histórico existente, há uma preocupação do homem em reduzir o atrito nos movimentos de rotação e de translação (STOETERAU, 2004).

Para Winer (1990), o que se fez em 1966 foi apenas conferir um foco, um fator unificador, que é a aplicação dos conhecimentos básicos para prever o comportamento de sistemas físicos, ou seja, de

<sup>1</sup> Por exemplo, evidenciam-se os cursos de Engenharia Mecânica da PUC-MINAS, com a disciplina “Tribologia”, de 32 h/a; do CEFET-MG: “Fundamentos de Tribologia”, 60 h/a; da Universidade Federal de Uberlândia: “Introdução à Tribologia”, 30 h/a, entre outros.

<sup>2</sup> Nossa tradução para: “the science and technology of interacting surfaces in relative motion and the practices related thereto”.

triboelementos que são utilizados em sistemas mecânicos.

Segundo Stoeterau (2004), as pesquisas sobre os problemas tribológicos de atrito e os desgastes resultantes são perfeitamente justificáveis, na medida em que esses fenômenos afetam quase todos os aspectos da vida humana, não sendo restritos apenas a problemas mecânicos de máquinas e seus mancais:

Segundo Dowson (1979), em seu livro intitulado *History of tribology*, os pioneiros da Tribologia foram Guillaume Amontons (1663-1705), John Theophilus Desaguliers (1683-1744), Leonard Euler (1707-1783), Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) e Charles Hatchett (1760-1820), Osborne Reynolds (1842-1919), Heirich Rudolph Hertz (1869-1851), George Vogelpohl (1900-1975), e Frank Philip Boluden (1903-1968). Esses cientistas e muitos outros deram importantes contribuições para o desenvolvimento da Tribologia.

Para Stoeterau (2004, p. 12), desde o início do século XX,

impulsionados pela demanda industrial, o conhecimento em todas as áreas da Tribologia expandiu-se enormemente e apresenta diferentes interesses nas diversas áreas do conhecimento tecnológico, com uma série de disciplinas científicas se ocupando de problemas tribológicos, tais como: a ciência dos materiais, com o desenvolvimento de materiais tribológicos especiais; a química, com o estudo de lubrificantes, aditivos e problemas de camada limite; a física, com estudos de novos materiais e processos de revestimentos, e estudo do atrito no nível atômico/quântico; a fabricação, com o estudo da qualidade superficial proveniente da fabricação e suas relações com a Tribologia; a metrologia, com a qualificação das superfícies tribológicas e a automação de sistemas; o projeto, com a aplicação de superfícies tribológicas; a automação, com o estudo da influência do atrito em sistemas de controle; entre outras.

## Princípios básicos da Tribologia

De acordo com Blau (1997), os estudos tribológicos têm sido realizados para: (i) compreender o comportamento do desgaste em uma família particular de materiais; (ii) auxiliar na seleção de materiais para uma determinada aplicação; (iii) compreender os efeitos de certas variáveis num modo

particular de desgaste; (iv) desenvolver modelos para prever ou descrever o desgaste em tribosistemas específicos.

Para Zum Gahr (1987), a falha de um componente ou de uma estrutura pode estar associada aos danos causados por quatro mecanismos fundamentais: a deformação plástica, a formação e propagação de trincas, a corrosão ou o desgaste.

## Definições de desgaste e seus impactos econômicos

Para a American Society for Testing and Materials (ASTM), o desgaste é definido como a degradação da superfície de um sólido, e geralmente envolve perda progressiva de material, devido ao movimento relativo dessa superfície com uma ou mais substâncias em contato.

Para Castro (2010, p. 16), “normalmente o termo desgaste refere-se a dano ao equipamento, geralmente envolvendo perda de material, devido ao movimento relativo entre superfícies em contato direto ou entre superfície e substâncias existentes entre as mesmas”.

Rigney (1990) define desgaste como o deslocamento ou a remoção de material resultante de processos tribológicos. E, segundo a Norma Brasileira NBR 12042, “desgaste é a desagregação superficial e remoção de partículas de um determinado material submetida à força de atrito” (ABNT, 2012).

Acerca dos impactos econômicos do desgaste, Sinatora (2005), em seu estudo da arte sobre Tribologia, faz um detalhado estudo em diversos países do mundo. Estimativas recentes para a Alemanha mostram perdas de 5% do PIB, ou 35 bilhões de Euros por ano. O mesmo estudo dá exemplos da eficácia do investimento na redução dos desgastes realizados na China. Os retornos sobre os investimentos foram de 1:40 na mineração de carvão contra 1:64 nos Estados Unidos. Na indústria siderúrgica, os retornos calculados para a China foram de 1:76.

Com base nessas informações, e considerando-se o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, de 1,7 trilhões de reais, em 2004, obtêm-se estimativas de perdas por desgaste entre 17 (1%) a 104 (6%) bilhões de reais por ano. As economias nacionais possíveis (reduções de custos produtivos), apenas

com a aplicação do conhecimento existente sobre desgaste, seriam de 3,4 a 20 bilhões de Reais anuais (SINATORA, 2005). Também os estudos realizados pela ASME, nos Estados Unidos, apontam uma perda econômica de 1% a 2,5% do PIB devido ao desgaste.

Segundo Zum Gahr (1987), na Alemanha, uma pesquisa da década de 1980 revela que desgaste e corrosão, juntos, contribuem com a perda de 4,5% do PIB. E, conforme afirma Leite (2008, p. 6), “com a crescente produção industrial nas últimas décadas, estima-se que o potencial de perdas econômicas devido ao desgaste tenha aumentado proporcionalmente nas indústrias.”

Para Zum Gahr (1987), os custos devido à fricção e ao desgaste podem ser reduzidos através do controle das condições de trabalho e vibração, limpeza do ambiente, manutenção e reparos.

## Desgaste abrasivo

O desgaste se desenvolve de acordo com vários mecanismos, que podem ser classificados de diversas maneiras, dependendo do ponto de vista de cada pesquisador, sendo mais frequentes os desgastes: abrasivo (3 corpos), erosivo, por deslizamento (2 corpos) e por fadiga de contato.

Por se tratar do tipo de desgaste a ser abordado no estudo de caso do presente artigo, será dada ênfase na discussão teórica do “desgaste abrasivo”.

Ainda conforme Zum Gahr (1987, p.145),

desgaste abrasivo é o deslocamento de material causado pela presença de partículas duras entre duas superfícies que possuem movimento relativo. Essas partículas podem estar entre as superfícies ou incrustadas em uma delas. O desgaste abrasivo pode ainda ser ocasionado pela presença de protuberâncias duras em uma, ou nas duas superfícies móveis.

O desgaste abrasivo é um dos principais tipos de desgaste, sendo um dos mais intensos e dos mais encontrados na prática, e responsável por 50% das causas de falhas das máquinas ou componentes (cf.: EYRE, 1991). Além disso, o desgaste abrasivo tem especial importância nas atividades agrícolas, de transporte e de mineração, atividades de importância estratégica para países como o Brasil (SINATORA, 2004).

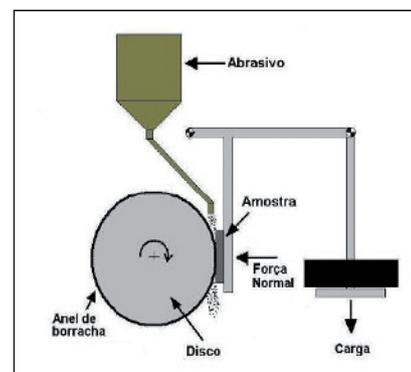
De acordo com Zum Gahr (1987), os processos de desgaste abrasivo podem ser classificados pelos modos de desgaste, variando entre deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e escoamento, dependendo da cinemática do sistema.

Os processos de desgaste podem ser simulados em laboratório; para isso, diversos equipamentos são construídos com essa finalidade. Entre os equipamentos mais conhecidos para esse tipo de estudo pode-se citar o tribômetro tipo pino-contra-disco (*pin-on-disc*) e o abrasômetro tipo roda de borracha.

Segundo Lima (2008), o abrasômetro tipo roda de borracha foi apresentado pela primeira vez por Haworth, em 1948, e constitui-se de um disco de aço, envolvido com um anel de borracha, que gira em contato com a superfície do corpo de prova, com abrasivo na interface. Permite realizar ensaios a seco ou a úmido, com alta confiabilidade de resultados, sendo empregado tradicionalmente na indústria de mineração; usa-se para classificar materiais quanto à sua resistência ao desgaste.

O seu princípio de funcionamento consiste em esmerilhar um corpo de prova padronizado com uma areia de granulometria controlada. O abrasivo é introduzido entre o corpo de prova e um anel de borracha de dureza especificada, provocando o riscamento, conforme a American Society for Testing and Materials (ASTM G 65-00, 2001) (Figura 1).

**Figura 1: Representação esquemática de Abrasômetro Roda de Borracha**



Fonte: Norma ASTM G 65 (2001).

Nesse ensaio, a amostra plana é colocada na vertical, tangenciando a roda revestida de borracha, e sobre o corpo de prova é aplicada a carga normal, com o uso de um peso morto sobre o braço de ala-

vanca. Para a quantificação do desgaste é medida a massa da amostra, antes e depois de cada ensaio, em uma balança analítica.

## ESTUDO DE CASO

Como forma de ilustração prática da aplicação dos estudos tribológicos na Engenharia Mecânica, será apresentado, a seguir, um estudo de caso com vistas à análise crítica de uma técnica utilizada para se avaliar a resistência ao desgaste de peças de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio que são empregadas em equipamentos de mineração.

### Materiais e métodos

A escolha da liga de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio para servir de base do experimento se deve ao fato de ser essa liga que apresenta maior resistência à abrasão em equipamentos submetidos a intensos desgastes na mineração. Também, segundo os estudos de Filipovic *et al* (2013), a adição de Nb no ferro fundido branco alto cromo produz uma maior liberação de concentração de carbonetos NbC e apresenta melhor resultado na resistência ao desgaste.

Após definição das ligas 1 e 2, conforme composição química descrita na Tabela 1, foram fabricados os moldes dos corpos de prova, nas medidas 76,2 x 25,4 x 12,7mm, consideradas ideais para a realização de ensaios de abrasão roda de borracha, conforme a Norma ASTM G65 (2001), para avaliar a sua resistência ao desgaste abrasivo.

**Tabela 1: Composição Química das Ligas**

Liga	C	Cr	Mn	Cu	Ni	Mo	Si	Nb
1	4,04	27,16	0,89	0,14	0,45	0,67	2,57	0,92
2	3,82	27,10	0,88	0,14	0,42	0,62	2,47	1,66

Fonte: Elaborada pelos autores, 2014.

Para a fabricação dos moldes, foi utilizada areia silicosa aglomerada com resina furânica. Esse processo de fabricação de moldes é de uso corrente nas indústrias em geral.

Em seguida, foi realizada a fusão das ligas e o vazamento nos moldes de corpos de prova (Figura 2):

**Figura 2: Preenchimento do molde do corpo de prova**



Fonte: Produzida pelos autores (2014).

### Ensaio de Abrasão Roda de Borracha

Para o ensaio, foram escolhidos três corpos de prova de cada liga, nas medidas de 76,2 x 25,4 x 12,7mm (Figura 3).

**Figura 3: Corpos de prova**



Fonte: Produzida pelos autores (2014).

A resistência ao desgaste abrasivo foi avaliada de acordo com a norma ASTM G65-91, procedimento "A", no Abrasômetro tipo Roda de Borracha (figuras 4 e 5).

**Figura 4: Ensaio de Abrasão Roda de Borracha**



Fonte: UNESC (2007)

**Figura 5: Fluxo abrasivo durante o ensaio**

Fonte: UNESCO (2007)

As peças foram lavadas por 15 minutos em banho ultrassônico, com uso de equipamento da marca UltraCleaner 1400A, com aquecimento e uso de líquido álcool etílico. Após limpeza, as peças foram secas e pesadas até massa constante, com uso de balança analítica da marca Denver Instrument APX-200 e levadas para a máquina de abrasão.

De acordo com o procedimento “A”, foi aplicada uma força de compressão de 130N entre a amos-

tra e a roda de borracha, aplicado um fluxo de areia abrasiva com granulometria de 32mesh e vazão de 350,4813g/min. A roda abrasiva, com diâmetro de 231,24mm e número de revoluções ajustado em 214,9rpm, após tempo de 28 minutos de ensaio, percorreu uma distância de 4309,0m. Após esse tempo, as peças foram novamente lavadas em banho ultrassônico com álcool etílico e pesadas até massa constante, sendo determinada a perda de massa.

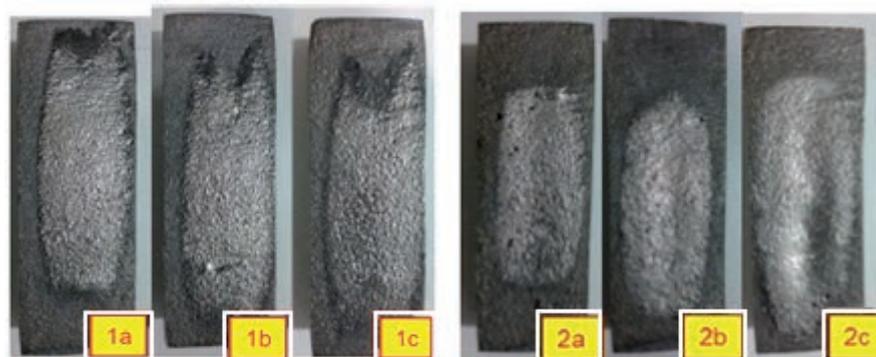
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho, pretendeu-se verificar o desgaste abrasivo das ligas 1 e 2, através da perda de massa em ensaios de laboratório. O ensaio foi o de abrasão tipo roda de borracha, conforme norma ASTM G-65, procedimento “A”, realizado no Laboratório do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), do Parque Científico e Tecnológico da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Os valores de perda de massa das amostras estão na Tabela 2, e, na Figura 6, são ilustrados os desgastes apresentados após o ensaio de abrasão.

**Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios de abrasão**

Liga	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Massa perdida (g)	Perda Volume (mm <sup>3</sup> )	Média (mm <sup>3</sup> )
1	1a	193,9928	193,9169	0,0759	10,120	
1	1b	192,1798	192,0876	0,0922	12,293	11,079
1	1c	188,1539	188,0727	0,0812	10,826	
2	2a	188,3042	188,2441	0,0601	8,013	
2	2b	186,6018	186,5402	0,0616	8,213	7,488
2	2c	188,0097	187,9629	0,0468	6,240	

Fonte: Produzida pelos autores (2015).

**Figura 6: Superfícies dos corpos de prova após o ensaio de abrasão**

Fonte: Produzida pelos autores (2014).

A perda de volume média ( $\text{mm}^3$ ) foi calculada dividindo-se a perda de massa pela densidade da liga em ferro fundido branco alto cromo de  $7,5 \text{ g/cm}^3$ .

Infere-se que o aumento da resistência ao desgaste da Liga 2 (1,6% de Nb) em 47,95% em relação à Liga 1 (0,9% Nb), nos testes de abrasão tipo roda de borracha, em parte, se deve ao aumento do teor de Nb e, conseqüentemente, ao aumento do número de precipitados de carboneto de nióbio. Verificou-se, também, que a Liga 2 apresentou menor teor de carbono na matriz austenítica e, conseqüentemente, maior teor de cromo, favorecendo a resistência ao desgaste da matriz.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado trata da avaliação da resistência ao desgaste abrasivo em ligas de ferro fundido branco alto cromo com adição de nióbio. Reitera-se que o ensaio realizado em laboratório leva em consideração apenas uma tensão superficial de desgaste, enquanto, em condições reais de trabalho, em revestimento de equipamentos de mineração, além da dureza superficial, a microestrutura desempenha papel preponderante.

Observe-se, ainda, que, ao enfrentarem as condições reais de trabalho, outras condições adversas interferem no desgaste final da peça, tais como, variação granulométrica e dureza da partícula abrasiva, velocidade de incidência da partícula sobre a superfície, energia potencial de queda da partícula sobre a superfície, taxa de alimentação do equipamento, entre outras.

Infere-se, portanto, que os resultados obtidos nos testes de laboratório são utilizados apenas para determinar qual a sua relação com os aspectos microestruturais e de dureza, não sendo adequados para prever os comportamentos dos materiais quando em serviço. Para tal análise, são necessários outros testes específicos dos materiais aplicados em condições reais de trabalho.

Diante do exposto, reitera-se aqui a importância dos estudos tribológicos na formação do engenheiro mecânico. O estudo teórico e a apresentação de exemplos reais de experimentos são partes importantes do ensino de Tribologia nos cursos de graduação e pós-graduação. Uma vez que conduzem os futuros engenheiros não apenas à compreensão

do fenômeno, mas também a uma crítica do real e à apreensão dos conhecimentos advindos da Tribologia, podem contribuir para sanar problemas técnicos referentes aos desgastes dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G65**: test method for measuring abrasion using dry/sand rubber wheel apparatus. West Conshohocken, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12042:2012**. materiais inorgânicos — determinação do desgaste por abrasão, 2012.

BLAU, J. Peter. Fifty years of research on the wear of metals. **Tribology International**, v. 12, n. 5, 1997.

CASTRO, Cristóvão Américo Ferreira. **Resistência ao desgaste abrasivo das sapatas de trator de esteira após processo de recuperação**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

DOWSON, D. **History of tribology**. London: Longman, 1979.

EYRE, T. S. Wear characteristic of metals. In: \_\_\_\_\_. **Source book on wear control technology**. ASM. Ohio: Metals Park, 1978.

FILIPOVIC, Mirjana *et al.* Microstructure and mechanical properties of Fe–Cr–C–Nb white cast irons. **Materials and Design**, v. 4., p. 41-48, 2013. Disponível em: <<http://homepage:www.elsevier.com/locate/matdes>>. Acesso em 17 maio 2014.

HUTCHINGS, I. M. Tribology: friction and wear of engineering materials. **Wear**, v. 140, 1992.

LEITE, Ricardo Vinício de Melo. **Estudo comparativo entre ligas resistentes ao desgaste abrasivo, aplicadas por soldagem, em placas metálicas para fabricação de placas anti-desgaste**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LIMA, Aldemi C. **Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana de açúcar**. 2008. Tese (Doutorado) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

RIGNEY, D. View point set on materials aspects of wear: introduction. **Scripta Metallurgica et Materialia**, v. 24, 1990.

SINATORA, Amilton. **Tribologia**: um resgate histórico e o estado da arte. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2 jun. 2005. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/66537526/tribologiaITA>>. Acesso em 19 ago. 2013.

STOETERAU, Rodrigo Lima. **Tribologia**: EMC 5315. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Mecânica. 2004. (Apostila do Curso de Engenharia Mecânica).

ZUM GAHR, Karl-Heinz. **Microstructure and wear of materials**. Tribology series. Amsterdam: Elsevier, 1987, v. 10.

WINER, W. O. Future trends in tribology. **Wear**, v. 136, p. 19-27, 1990.

### DADOS DOS AUTORES



**Cláudio Gonçalves de Oliveira** – Engenheiro Mecânico (PUC-MINAS); graduado em Tecnologia em Normalização e Qualidade Industrial; Técnico em Eletromecânica (CEFET-MG); Técnico em Automobilística (SENAI-MG); possui MBA em Gestão de Projetos (IBMEC) e Especialização em Engenharia de Manutenção (IEC-PUCMINAS); mestre em Engenharia de Materiais (CEFET-MG); doutorando em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (UFMG). Diretor de Desenvolvimento de Produtos da *Technium* Tecnologia em Desgaste Ltda. Professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Pitágoras.



**Ivete Peixoto Pinheiro** – Graduada em Engenharia Química e Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG); Especialização, Mestrado e Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais (1983). Atualmente, é Professora Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em conformação mecânica e metalurgia física.

# ESTUDO COMPARATIVO DA TECNOLOGIA CAD COM A TECNOLOGIA BIM

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p11-18

Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa,<sup>1</sup> Sílvia Haueisen Figueiredo,<sup>2</sup> Sidnea Eliane Campos Ribeiro<sup>3</sup>

## RESUMO

O CAD é um sistema computacional utilizado nas áreas de engenharia e arquitetura que revolucionou o mercado de projetos nos últimos anos, ao transportar para o computador o desenvolvimento de desenhos técnicos. O BIM, por sua vez, abrange uma tecnologia integrada que engloba, além da fase de projetos, também o processo construtivo como um todo. Tendo em vista essas duas tecnologias que estão ocupando o mercado de projetos nos dias atuais, este trabalho tem como objetivo compará-las. Para obter os resultados, foi desenvolvido um mesmo projeto utilizando o *software* AutoCAD, que utiliza a tecnologia CAD, e, posteriormente, o Revit, que utiliza a do BIM. Apresentam-se, então, as vantagens e desvantagens do uso de cada uma sobre a outra, expondo, para isso, as bases de desenho utilizadas e algumas ferramentas dos programas.

**Palavras-chave:** CAD, BIM e projetos.

## ABSTRACT

### COMPARATIVE STUDY BETWEEN CAD TECHNOLOGY AND BIM TECHNOLOGY

CAD is a computational system used in engineering and architecture, which revolutionized the project's market in recent years by transporting to the computer the development of technical drawings. In its turn, the BIM integrated technology which encompasses not only the design phase, but also the constructive procedure as a whole. Taking into consideration these two technologies that are occupying the projects market nowadays, the main goal of this study is to compare them. In order to get the results, the same project was developed in AutoCAD, a CAD software, and Revit, a BIM software. The article discusses the advantages and disadvantages of using each one these programs, presenting the drawing bases used and some of the tools of each software.

**Keywords:** CAD, BIM and project.

## INTRODUÇÃO

A partir da década de 1960, a indústria de *software* gráfico começou a se desenvolver e o computador tornou-se uma ferramenta poderosa e imprescindível. Na década seguinte, o universo de projetos arquitetônicos foi surpreendido com o lançamento de uma tecnologia que mudaria os rumos dessa área, o *Computer Aided Design* (CAD), ou desenho auxiliado por computador. O desenvolvimento e a expansão dos *softwares* permitiram que um pro-

cesso, antes inteiramente manual, passasse a ser desenvolvido num computador, garantindo, assim, melhor qualidade e eficiência. O surgimento dessa tecnologia permitiu um enorme avanço, desde o processo de elaboração do projeto até a criação do espaço. Nessa época, o *software* mais inovador que surgiu foi o AutoCAD, que passou a representar essa nova tecnologia.

O AutoCAD, *software* de modelagem, primeiramente em 2D, desenvolveu-se e passou a modelar também em 3D, atingindo grande visibilidade

1 Graduando em Engenharia Civil, UFMG. giovaniclrcoستا@gmail.com

2 Graduando em Engenharia Civil, UFMG. silvia.hfigueiredo@gmail.com

3 Professora Doutora, Departamento de Materiais de Construção, UFMG. sidnea@ufmg.br

no mercado. Isso aconteceu porque ele apresentava vantagens em relação aos projetos feitos manualmente, que vão desde uma melhor documentação até uma melhor apresentação do projeto como produto, incluindo no processo diminuição de tempo, melhor gerenciamento do projeto e, conseqüentemente, um aumento de produtividade. Com tamanhas vantagens, o *software* se tornou uma ferramenta indispensável nessa área.

Mais recentemente, outra tecnologia que trouxe grandes mudanças no processo projetual foi a baseada em BIM (*Building Information Modeling*), principalmente por aperfeiçoar o trabalho em ambiente 3D e por buscar integrar todo o processo de produção em um só modelo. Nascido da evolução da tecnologia CAD, o BIM possibilita uma análise mais profunda de todo o processo de construção, antes que o projeto seja concluído, já que ele permite a verificação de possíveis interferências, que são atualizadas conforme a introdução das alterações (REZENDE, 2008). Dessa forma, contribui para a redução de custos e melhoria da qualidade. Esse modelo é utilizado para a tomada de decisões de projeto, documentos específicos a respeito da construção, previsão, estimativa de custos, planejamento da construção e, eventualmente, gerenciamento e operação do empreendimento após finalização da obra (MARIA, 2008). Ele podendo ser definido, também, como um processo de modelagem e conjuntos associados com a finalidade de produzir, comunicar e analisar um *building model*, ou seja, modelo de edificação. Mais difundido internacionalmente, vem ganhando espaço no mercado nacional, e empresas antes resistentes à sua adoção, agora já se mostram mais flexíveis a fazer a adaptação.

Este trabalho tem como objetivo comparar a tecnologia do CAD com a tecnologia utilizada pelo BIM, mostrando as vantagens e desvantagens que cada uma apresenta. Para tal, foi realizado um projeto de uma casa, com dois pavimentos, no AutoCAD e também no programa Revit, que utiliza a tecnologia BIM. O AutoCAD foi escolhido, em relação a outros programas de desenho técnico, por ser o mais utilizado no mercado de projetos. Além disso, ele é desenvolvido pela empresa Autodesk, que tem grande credibilidade no mercado, e, ainda, pelo fato de muitos profissionais já dominarem os recursos

desse *software*. Já o Revit foi escolhido, dentre os vários programas que utilizam o modelo BIM, por também ter sido desenvolvido pela Autodesk, pelo grande uso do programa (sendo ele o mais utilizado nos escritórios de arquitetura), e pela alta acessibilidade a cursos de aprendizagem para sua utilização. Uma vantagem que o AutoCAD e o Revit apresentaram, quando escolhidos, foi o fato de ambos serem disponibilizados, gratuitamente, aos estudantes de faculdades e universidades cadastradas junto à Autodesk, sendo, portanto, de fácil acesso.

Nos sistemas CAD, a geometria é baseada em coordenadas para o desenvolvimento de entidades gráficas, formando elementos de representação. A alteração de um projeto desenvolvido nessa tecnologia implica modificações manuais dos objetos.

Já os sistemas BIM adotam modelos paramétricos dos elementos construtivos, permitindo o desenvolvimento de alterações dinâmicas no modelo gráfico, com reflexos em todos os desenhos, tabelas e planilhas associados (COELHO; MATTAR; NOVAES, 2008). O modelo abrange geometria, relações espaciais, indicadores geográficos, quantidades e propriedades de componentes e produtos empregados na obra. Assim, o projeto passa a conter todos os dados sobre a construção, seu ciclo de vida, operação, processos construtivos e instalações. (FERREIRA, 2007).

Nos *softwares* baseados em BIM, na modelagem do projeto, deve-se atribuir características aos objetos, como dimensão e revestimento, sendo essas informações salvas no banco de dados, podendo ser acessadas por todos os envolvidos no processo, desde a concepção até a disposição final. Essa característica é um reconhecido potencial para aumentar a qualidade dos processos e produtos do setor que usa a tecnologia (PROTÁZIO; RÊGO, 2010).

Os principais motivos que levam os escritórios a adotarem o BIM são a melhoria da qualidade do projeto, a redução de erros, a facilidade de modificação e apresentação do projeto e a diminuição no prazo de entrega do mesmo (SOUZA; AMORIM; LYRIO, 2009).

## O SOFTWARE AUTOCAD

Criado em 1982, o AutoCAD surgiu como tecnologia de ligação entre o departamento de projetos e o de produção. Na época do seu surgimento, o *soft-*

*ware* representou um aumento na produtividade das empresas, já que os projetos passaram a ser feitos em tempo mais curto e com melhorias, devido à redução de erros dimensionais, maior padronização de detalhes e clareza no projeto como um todo. O empecilho para o uso do AutoCAD consistia no custo de aquisição do *software*, que utiliza o sistema CAD, na necessidade de computadores de melhor qualidade para sua implantação e no investimento para capacitação de profissionais na utilização da tecnologia. O AutoCAD 2D destina-se a desenhos técnicos, sendo suficiente na representação de projetos hidráulicos, elétricos e arquitetônicos, por exemplo. Enquanto isso, o AutoCAD 3D tem maior utilidade em trabalhos como a modelagem de peças, uma vez que a visualização tridimensional do modelo permite seu maior detalhamento.

No trabalho realizado, o projeto foi desenvolvido utilizando o AutoCAD 2013 no modo 2D. Essa versão traz algumas novidades em relação às anteriores, como inovações em ferramentas de desenho paramétrico, melhoria nas hachuras e a impressão em 3D. No projeto da pesquisa em questão, foram feitos os projetos da planta baixa da casa (térreo e pavimento superior), um corte transversal e outro longitudinal, e a fachada. Tanto nessa versão, quanto nas outras, a matriz do desenho é gerada basicamente utilizando-se o comando “*Line*” e, a partir dele, executando-se outros comandos.

## O SOFTWARE REVIT UTILIZADO

Dentre os vários *softwares* que utilizam o modelo BIM, o escolhido para o trabalho em questão foi o Revit, versão 2012, que pertence à Autodesk e se mostra como uma nova concepção do AutoCAD. Foi desenvolvido, especificamente, para a “Modelagem de Informação da Construção” e, com a base dos projetos em objetos 3D, possibilita que, da concepção até a elaboração, todas as fases sejam realizadas de forma mais coordenada e consistente. O programa é um aplicativo individual que inclui recursos para projeto de arquitetura, de construção e de engenharia estrutural, além de oferecer uma troca de informações, durante o processo do projeto, com todos os participantes e colaboradores, por meio do armazenamento dos dados num modelo

central. O Revit se destaca pela redução do prazo de entrega dos projetos, já que é mais rápido e facilita o desenho. Essa facilidade pode ser exemplificada pela existência de comandos preestabelecidos para desenhar cada objeto.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo em vista o desenvolvimento do setor de projetos, a mudança marcante que existiu até hoje foi a transferência do desenho manual – com régua paralela, canetas nanquim, lapiseiras diversas, esquadros e borrachas – para o desenho computadorizado. Essa evolução marcou a indústria de projetos, por permitir que os desenhos passassem a ser executados num tempo mais reduzido e de forma mais padronizada. Entretanto, a evolução não terminou aí. Hoje, a tecnologia BIM é uma metodologia aplicada ao desenvolvimento do desenho computadorizado, com crescente número de ferramentas que servem para auxiliá-lo.

Antes de qualquer aprofundamento, umas das primeiras diferenças que vem à mente, quando as ferramentas CAD e BIM são citadas, é a maior facilidade com que os projetos são modelados em formato 3D usando o segundo modelo. Isso se deve ao fato de que, no AutoCAD, faz-se apenas uma representação tridimensional da realidade, enquanto o projeto no Revit já é visto como uma construção, reunindo informações associadas a cada elemento dela, diferença perceptível quando se compara a Figura 1 com a Figura 2, mais adiante. No AutoCAD, todas as informações devem ser inseridas e editadas manualmente, enquanto, no Revit, os cortes, as vistas e a perspectiva são gerados automaticamente, bastando determinar na planta, no caso dos cortes, onde eles irão passar. Esses, por sua vez, poderão ser editados manualmente ou simplesmente pela edição da planta, o que o torna um sistema interligado. Além disso, quando se deseja inserir um novo objeto no Revit, como uma esquadria, por exemplo, especifica-se previamente alguns de seus parâmetros, como cor, material e textura. Isso permite que se criem produtos com dimensões variadas, mas seguindo parâmetros já estabelecidos. Ao se inserir a esquadria, então, o projetista tem a opção de definir apenas sua altura e largura.

Outra diferença marcante entre um projeto feito no AutoCAD e no Revit, é que o último permite ao projetista não só desenvolver o desenho em si, mas também atribuir detalhes estruturais e simular interferências externas e internas. Ao desenhar uma parede, por exemplo, pode-se agregar não apenas os parâmetros geométricos, como espessura, comprimento e altura, mas também detalhes do material que a compõe. Eles possuem propriedades gráficas que serão representadas, automaticamente, nos cortes, fachada e perspectiva. Isso permite que o projeto, na sua fase final, se torne mais real aos olhos de uma pessoa que não domina as técnicas, fazendo assim com que a apresentação para o cliente se torne mais clara e dinâmica.

Além disso, o Revit fornece um planejamento mais detalhado da obra e, conseqüentemente, com menores riscos de erro. Isso acontece porque é possível detalhar o material que será utilizado, assim como o custo e o tempo gasto para que esse seja utilizado. Com isso, tem-se uma planilha com o cronograma da obra, que permite melhor acompanhamento e possíveis mudanças no decorrer da construção. O que antes era pensado só durante a realização da obra, agora pode ser pensado em fase de projeto, otimizando o tempo e permitindo que

possíveis erros sejam percebidos antes de cometidos e, portanto, evitados. Pode-se dizer, então, que a tecnologia BIM usa os parâmetros 4D e 5D também, sendo eles o tempo e o custo. Outro ponto a se considerar, é que o ambiente de projetos, atualmente, vem se especializando cada vez mais, o que dificulta a comunicação entre diferentes setores, como o hidráulico, o estrutural e o elétrico, por exemplo. A tecnologia BIM, nesse caso, permite a sobreposição de cada projeto específico num modelo virtual que permite o reajuste automático de medidas. Isso gera uma interoperabilidade no sistema, tornando-o mais dinâmico e eficaz, resultando em economia de tempo e maior facilidade de projetar.

No Revit, quando o projeto é aberto, têm-se a perspectiva e, a partir dela, de acordo com o menu “Navegador do projeto”, mostrado em tela (Figura 3), escolhe-se qual projeto se deseja ver em 2D. Na Figura 3, como exemplo, escolhe-se a visualização do corte 1, na aba “Navegador do projeto”, e o corte aparece como mostrado.

Os cortes no AutoCAD, assim como a fachada, em contraposição com o Revit, já ficam dispostos junto com o projeto como um todo, porém, necessitam ser feitos manualmente, conforme mostrado nas figuras 4 e 5, na seqüência.

Figura 1: Primeiro e segundo pavimento desenhados no AutoCAD.

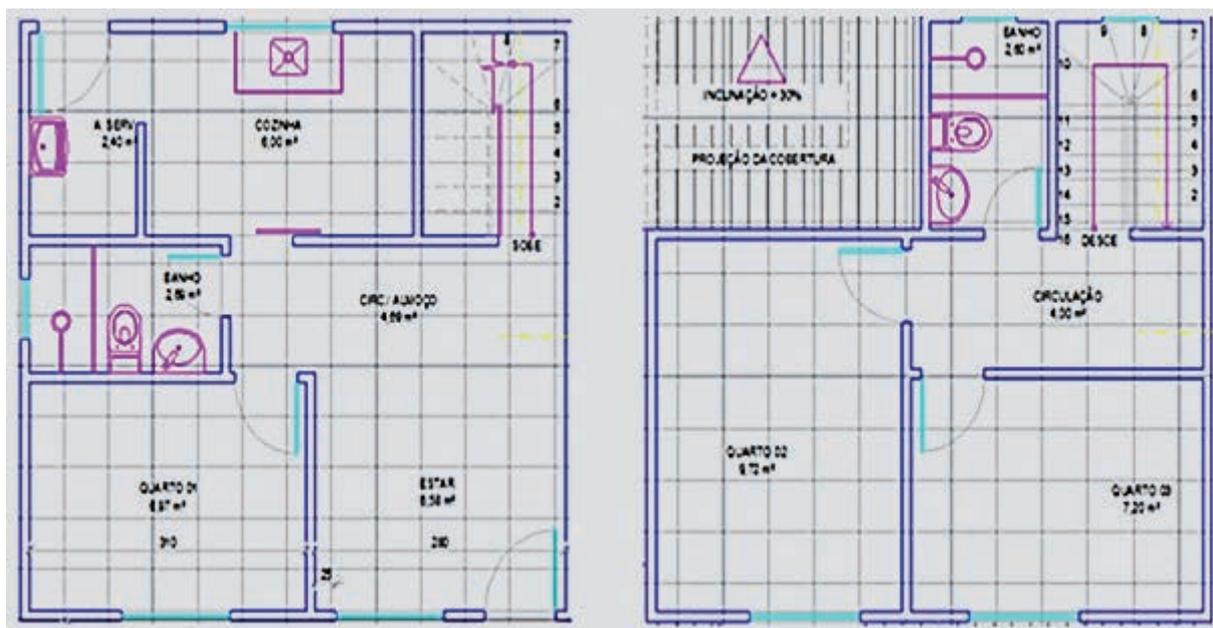
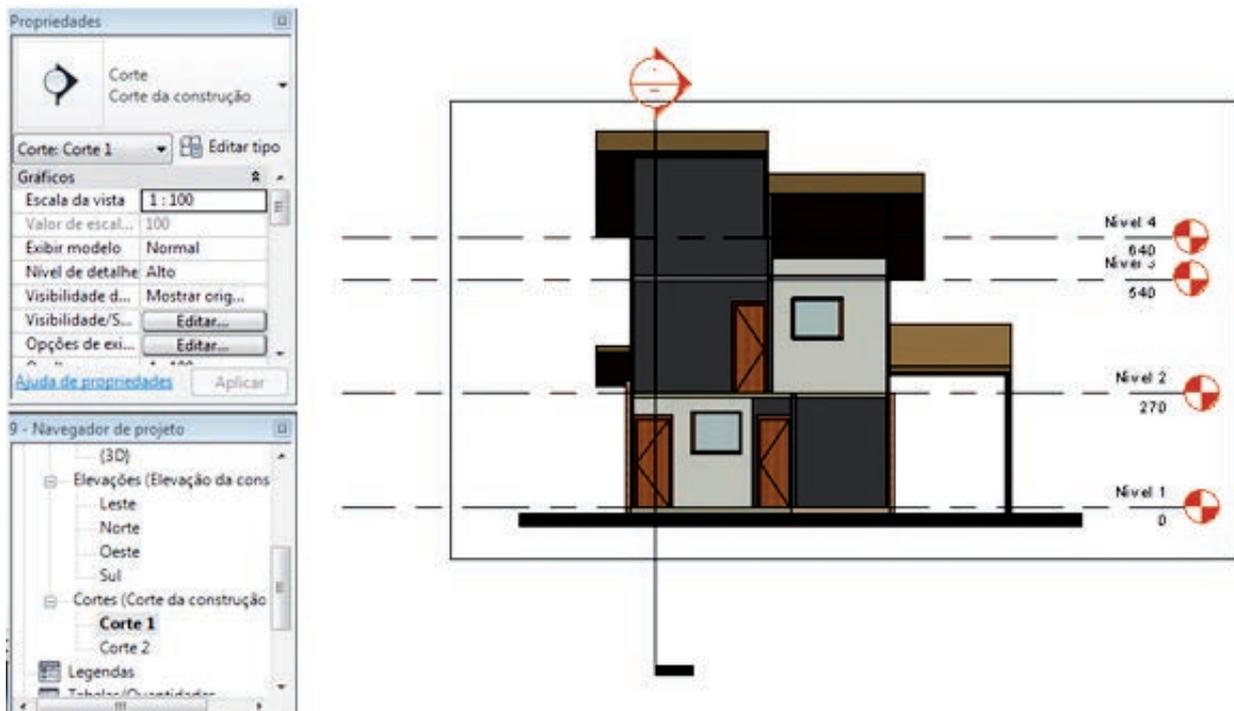


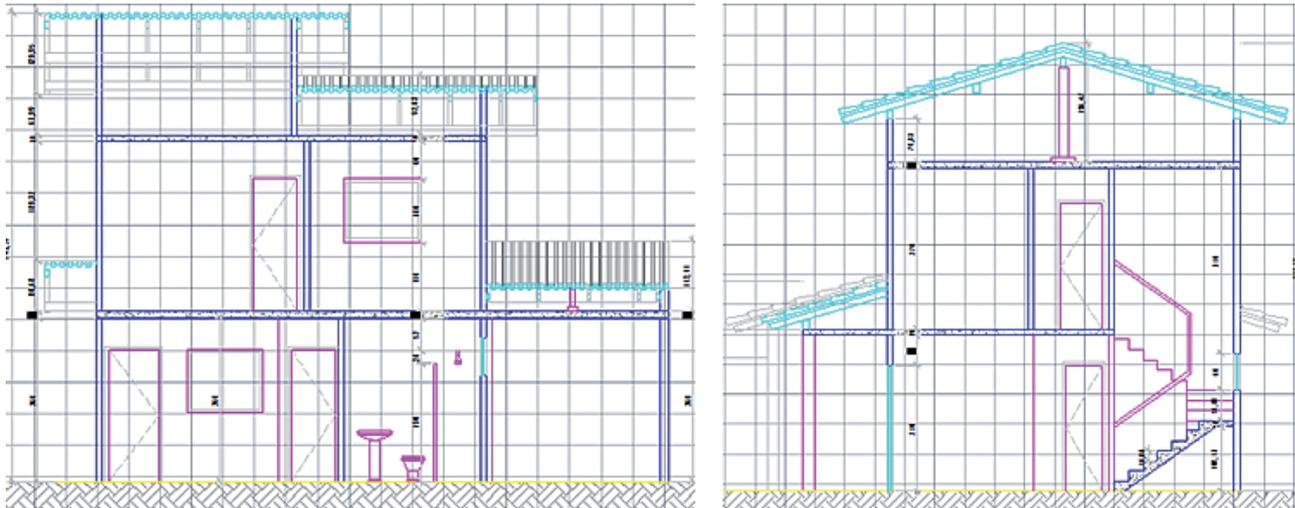
Figura 2: Perspectiva da casa (vista 3D), no Revit.



Figura 3: Janela “Navegador do projeto” e um dos cortes da planta no Revit.



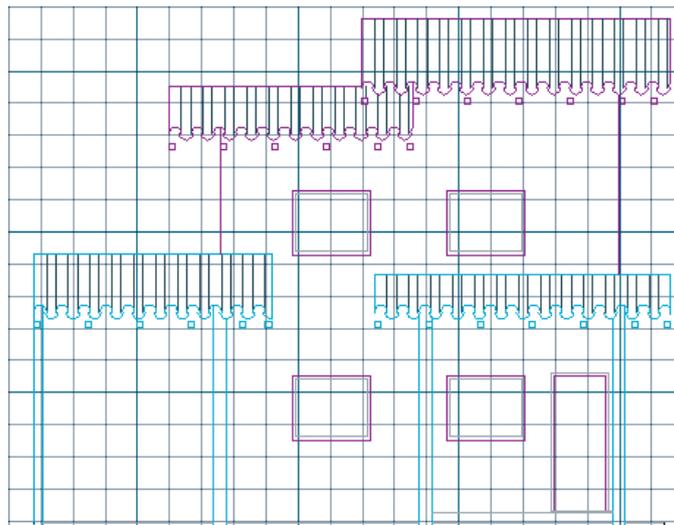
**Figura 4: Cortes da planta no AutoCAD.**



O AutoCAD traz, até então, uma vantagem relevante em relação à tecnologia BIM, que é o fato de ser o mais usado no mercado e possuir um custo de implantação menor. No caso do Revit, as empresas que já o adotaram o fizeram há pouco tempo, e a maioria ainda não o utiliza em todos os projetos. Grande parte dessas empresas adquire o Revit para fins de teste ou de diversificar a produção para ganhar credibilidade no mercado, mas não deixa de usar o AutoCAD. Possivelmente, devido ao maior uso do AutoCAD, atualmente é mais fácil encontrar profissionais que dominam esse *software* e mais cursos que ensinam as técnicas de projetar por meio dele. A escassez dos que dominam a tecnologia BIM gera, então, a necessidade de maior tempo e investi-

mento por parte das empresas na implantação dessa tecnologia, o que aumenta a dificuldade de disseminação. Devido a isso, o AutoCAD ainda domina no mercado de projetos, mas o conceito BIM tende a adquirir maior espaço com o aumento da competitividade desse mercado, que necessitará de maior especialização por parte de empresas e projetistas. Justi (2008) afirmou, baseado numa experiência de visitas a escritórios de arquitetura brasileiros, que a falta de um padrão para uso da tecnologia é um obstáculo para sua implantação. Assim, para que essa ocorresse, deveria haver uma compatibilização no mercado como um todo, em todas as fases de projeto, para receber o programa.

**Figura 5: Fachada da casa no AutoCAD.**



## CONCLUSÃO

A evolução da tecnologia no setor de projetos tem sido significativa nos últimos tempos, surgindo, a cada período, mais ferramentas que buscam revolucionar o mercado. O aparecimento do BIM representa uma melhora em relação à aplicação da ferramenta 3D e um grande desenvolvimento quanto à automatização do processo de desenho. Outra vantagem é a possibilidade de atribuir ao desenho propriedades gráficas que tornam a apresentação do mesmo, para uma pessoa que não é da área, mais parecida com o que será na realidade. Com a execução de uma planilha de custos e a interoperabilidade existentes, a tecnologia BIM passa a ter outra vantagem em relação ao CAD: a economia de custo e tempo da construção. Isso aumenta a produtividade das empresas e permite melhor planejamento da obra, evitando erros diversos, desde a comunicação entre os projetistas até a quantidade de materiais necessários à obra.

No Brasil, a tecnologia BIM ainda é pouco usada quando comparada ao CAD, estando entre uma das principais dificuldades de sua implantação a resistência das empresas em adotar a tecnologia. Isso acontece, por sua vez, devido à escassez de profissionais qualificados no mercado para manusear os programas. Apesar disso, é fato que o BIM já representa grande marco no processo de desenho, tendendo a ter o seu uso ampliado ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

REZENDE, Paulo Emílio de. **Integração projeto-produção no processo de desenvolvimento de projeto:**

uma alternativa para melhoria da qualidade no setor da construção de OAE. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MARIA, Mônica Mendonça. **Tecnologia BIM na arquitetura.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2008.

COELHO, Sérgio Barbosa de Salles; MATTAR, Daniela G.; NOVAES, Celso Carlos. Estudo comparativo dos recursos disponíveis em extranet colaborativa de gestão de projetos, com base em sistemas proprietários ou em software livre. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006. **Anais ...** Florianópolis, 2006.

FERREIRA, Sérgio Leal. **Da engenharia simultânea ao modelo de informações de construção (BIM): construção das ferramentas ao processo de projeto e produção e vice-versa.** In: Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, Curitiba, 2007.

PROTÁZIO, João Vitor Barros; RÊGO, Rejane de Moraes. **Estudo e avaliação de tecnologias BIM para projeção em arquitetura, engenharia e construção.** Recife: Instituto Federal de Pernambuco, 2010.

SOUZA, Livia L. Alves de; AMORIM, Sérgio R. Leusin; LYRIO, Arnaldo de Magalhães. Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades no mercado imobiliário. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 2, p. 26-53, nov. 2009.

JUSTI, A. R. Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 3, n. 1, p. 140-152, maio 2008.

---

## DADOS DOS AUTORES



**Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa** – Aluno de graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), cursando o 6º período. Ex-aluno do Ensino Médio com Técnico Integrado em Edificações pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Inglês avançado com nota 600 no TOEFL ITP. Pesquisador do grupo GRAFT da UFMG e do Programa Jovens Talentos para a Ciência da CAPES.



**Sílvia Haueisen Figueiredo** – Aluna de graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), cursando o 6º período. Inglês avançado com nota 543 no TOEFL ITP. Pesquisadora do Programa de Iniciação Científica Voluntária da UFMG.



**Sidnea Eliane Campos Ribeiro** – Doutora (2009) e Mestre (1997) em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Graduada em Engenharia Civil pela Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC, 1994). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da UFMG. Pesquisadora do CNPq. Áreas de interesse: Análise de Confiabilidade, Plástico Reforçado por Fibras (PRF) e Building Information Modeling (BIM). Membro da Comissão de Estudos Especiais de Materiais não Convencionais para Reforço de Estruturas de Concreto (ABNT/CEE-193) e Membro do grupo de pesquisa GRAFT (UFMG).

# A VALORIZAÇÃO DAS COMPETÊNCIAS NA FORMAÇÃO E NA ATUAÇÃO DE ENGENHEIROS: A VISÃO DE ESTUDANTES DE UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p19-30

Ana Paula Arezo Souza<sup>1</sup>, Maurício César Delamaro<sup>2</sup>, Andreia Maria Pedro Salgado<sup>3</sup>, Arminda Campos<sup>4</sup>

## RESUMO

Este artigo resulta de pesquisa tipo *survey* realizada com alunos formandos em engenharia. O objetivo do estudo foi verificar a visão desses alunos quanto à valorização e à importância das competências propostas pelas Diretrizes Curriculares Nacionais em dois ambientes distintos: o da universidade e o das empresas. Após levantamento bibliográfico e coleta de dados por meio de questionário, foram utilizados dois testes estatísticos não-paramétricos para análise dos dados: o teste de *Spearman* e o teste da Mediana. Os resultados permitiram verificar que, segundo a visão dos alunos, no âmbito da universidade, permanece uma tendência de desenvolver as competências conteudistas em detrimento das demais. Comparando-se os dois ambientes, ainda segundo os estudantes, há sensíveis discrepâncias entre quais competências são consideradas mais importantes para o exercício da profissão.

**Palavras-chave:** Competências; formação acadêmica; atuação profissional; alunos formandos; engenharia.

## ABSTRACT

### THE VALUATION OF COMPETENCIES IN TRAINING AND PERFORMANCE OF ENGINEERS: THE PERSPECTIVE OF STUDENTS OF A PUBLIC INSTITUTION

This article results from a survey conducted with senior engineering students. The study aimed at verifying the students' view about the valuation that the competencies proposed by the National Curriculum Guidelines for engineering courses receive in the university environment and in the businesses milieu. Two non-parametric statistical tests were used for data analysis: The *Spearman* test and the median test. The results have shown that the students notice a remaining tendency in the university to develop content in spite of other competencies proposed by NCG. When they compared both environments – university and businesses – they indicated to perceive significant discrepancy between which competencies are most valued.

**Keywords:** Competencies; academic background; professional activities; students graduates; engineering.

1 Mestre em Ciências na Área de Engenharia de Produção da Unesp, Campus de Guaratinguetá; paularezo@yahoo.com.br

2 Professor Assistente Doutor da Unesp, Campus de Guaratinguetá; delamaro@feg.unesp.br

3 Professora Assistente Doutora da Unesp, Campus de Guaratinguetá; andreia@feg.unesp.br

4 Professora Assistente Doutora da Unesp, Campus de Guaratinguetá; arminda.campos@feg.unesp.br

## INTRODUÇÃO

Há mais de dez anos, pareceu tomar corpo uma real e promissora possibilidade de repensar e reformular a formação do universitário brasileiro. O envolvimento de órgãos colegiados das Instituições de Ensino Superior (IES), dos conselhos, das associações profissionais, da comunidade docente e discente nas discussões para elaboração das diretrizes curriculares visava superar o modelo de currículos mínimos. Esse modelo baseava-se na concepção de que as estruturas ou as grades curriculares seriam elementos de organização suficientemente eficazes dos cursos de graduação. Na década de 1990, a ideia de projeto pedagógico referido a curso de graduação apresentava-se quase que como uma novidade (SILVA JÚNIOR, 1995), mas ganhou força com a criação e o amadurecimento dos conselhos de curso de graduação, que começaram a enfrentar as questões de ensino como questões verdadeiramente pedagógicas.

Para além da estrutura curricular e do elenco das disciplinas, foi ficando claro que o projeto pedagógico envolvia, *a priori*, aspectos cognitivos e éticos e deveria estar referenciado à capacitação profissional e de cidadania dos educandos (SOUSA, 1995).

Nas engenharias, essa perspectiva está presente no Anteprojeto da Resolução sobre Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia da Secretaria de Ensino Superior do Ministério da Educação (BRASIL, 1999). São apontadas aí competências e habilidades a serem desenvolvidas nos cursos de engenharia.

Após debates, o texto da resolução que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia (DCNCGE), de março de 2002, mantém a centralidade das competências e das habilidades para a formação de um engenheiro “com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade”. (CNE/CES nº 11/2002).

A partir daí, cursos já existentes são reformulados ou adaptados, e novos cursos são criados sob a égide das novas concepções. Suas implicações e

seus alcances não são totalmente precisos e parece que nem mesmo o entendimento a seu respeito seja unívoco.

Essa reformulação não foi diferente com a universidade em questão: os cursos dessa instituição passaram também por esse processo de reformulação – cursos esses que integram o público para o presente estudo. Mais especificamente, foram escolhidos cinco cursos de engenharia de uma universidade pública e que passaram por adaptações e reformas graças ao advento da instituição das DCNCGE.

O objetivo do estudo foi identificar qual a percepção que estudantes formandos em engenharia têm sobre a importância atribuída a cada competência e habilidade proposta pelas DCNCGE, e que são consideradas fundamentais para o exercício profissional, vistas sob a óptica de dois ambientes distintos: nas atividades do intramuros da universidade e nas empresas ou nas organizações em que os estudantes trabalham ou estagiam.

Segundo o espírito das DCNCGE, a construção das competências e das habilidades depende fundamentalmente do sujeito que aprende, ou seja, do estudante e da apreensão e da priorização que percebe. Porém, certamente, tal apreensão vai depender das demandas, das solicitações e das valorações hegemônicas em cada ambiente.

O estudo permitiu responder questões do tipo: a) quais as habilidades e as competências que os estudantes consideram que são mais valorizadas pela universidade? b) e pela a empresa? c) a valorização geral das competências e habilidades é maior em que ambiente? d) existem fragilidades da formação acadêmica sentidas pelos estudantes quando ingresam no mercado de trabalho?

Embora de forma não definitiva, o estudo contribui, também, para identificar se o espírito das DCNCGE está sendo absorvido pelos cursos ou se as reformas e as adaptações foram meramente formais.

## SOBRE COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

Muito se tem discutido acerca das competências e das habilidades que devem ser desenvolvidas no engenheiro contemporâneo. No entanto, pode-se afirmar que não se tem ao certo uma definição

clara e partilhada em torno do que venha a ser competência e habilidade. Com isso, vários autores discutem sobre o assunto e trazem suas contribuições, com o intuito de conceituar os termos.

Alguns autores que abordam o assunto com certa similaridade foram selecionados para utilização neste estudo, alguns de maneira mais direta e outros por entre detalhes; respeitando algumas particularidades, trazem, na essência do conceito, certa convergência em algum momento de suas escritas. São eles: Perrenoud (1999); Bitencourt e Barbosa (2010); Santos (2003); Barros Neto (2006); Primi *et al.* (2001); Silveira (2005); Cunha (2007).

Para Perrenoud (1999), “competência” significa agir eficazmente em um determinado tipo de situação, baseando-se em conhecimentos, mas sem se limitar a eles. Competência relaciona-se ao saber fazer algo, que, por sua vez, requer uma série de habilidades.

Conforme Bitencourt e Barbosa (2010), o desenvolvimento de competências refere-se à apropriação do conhecimento em ações no trabalho (do saber para o saber agir), sendo nesse momento que o desenvolvimento de competências agrega valor às atividades e à organização. Afirmam, ainda, que o conhecimento, se não for incorporado às atitudes e manifestado por meio de ações ou práticas no trabalho, não estimulará o desenvolvimento das pessoas e nem trará benefícios à organização. As competências se desenvolvem por meio da interação das pessoas no ambiente de trabalho. Segundo esses autores, palavras como ação e mobilização são fundamentais para a compreensão do conceito.

Assim como Bitencourt e Barbosa (2010), Santos (2003) também afirma que competência trata da mobilização de conhecimentos, habilidades, atitudes, no entanto, também não se restringe a eles; com isso, integram o conjunto: os recursos tecnológicos, financeiros, mercadológicos e humanos. O autor ainda completa que também compõe o conceito de competência o saber agir diante de diversas situações complexas, e que, quanto maior a complexidade das situações, mais intensamente são modificados os conhecimentos, as habilidades e as atitudes.

Para Barros Neto (2006), o conceito de competência abrange o de habilidades e de algo além. A

habilidade é necessária para a competência, mas não é suficiente. Ter habilidade engloba a ideia de ter aptidão para resolver situações ou problemas com atos apropriados para tal; porém, a habilidade é apenas um elemento para que a pessoa ou a organização seja considerada competente em alguma coisa.

Ainda seguindo pelos mesmos traços, outros autores contribuem para a formação do conceito, associando a ele a mobilização. Para Primi *et al.* (2001), a definição de competência tem dois aspectos: o conhecimento e a capacidade de mobilização desse conhecimento.

Silveira (2005) afirma que competência é a capacidade de mobilizar e articular saberes (conhecimentos), habilidades (competências específicas), aptidões e atitudes, a fim de resolver com eficácia novos problemas, devidamente contextualizados, de forma consciente.

A singularidade de uma competência implica que as pessoas aprendam a atingir objetivos, enfrentar situações complexas e resolver problemas. Nessa aprendizagem, as pessoas buscam mobilizar uma rede de atores em torno de uma mesma situação, integrando e compartilhando conhecimentos, habilidades e atitudes (SANTOS, 2003).

Cunha (2007) define como atitude a predisposição à execução de alguma atividade com determinado padrão de recorrência; Habilidade compreenderia o domínio do uso do intelecto, a fim de executar tarefas específicas, eventualmente agregado à destreza (por destreza, entenda-se o domínio de algumas tarefas de natureza física, relacionadas a algumas partes específicas do corpo). Por fim, como competência, ele designa a capacidade de execução de diversas tarefas, requerendo, portanto, a utilização de diferentes habilidades.

## COMPETÊNCIAS E HABILIDADES NO ENSINO DE ENGENHARIA

Primi *et al.* (2001), Santos (2003) e Silveira (2005) convergem na associação do conceito de competência à ação, execução de algo em função da situação e/ou resolução de um determinado problema. Isso é particularmente importante quando se pensa no ensino de engenharia sob a centralidade do perfil desejado do futuro profissional: além do conhecimento do “como fazer”, advindo da assimi-

lação de conteúdos, é fundamental que, desde os primeiros dias de sua formação, o estudante amadureça sua sensibilidade quanto ao “porquê fazer”, ou seja, à aplicação do conhecimento num determinado contexto.

Segundo pesquisas encomendadas pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e Instituto Euvaldo Lodi (IEL), questionando o perfil do engenheiro que o país está formando e o perfil que o mercado tem demandado, concluiu-se que, embora bem avaliados nos quesitos que integram a formação técnica, os engenheiros brasileiros têm ficado aquém na avaliação das novas habilidades exigidas crescentemente pelo mercado de trabalho, segundo representantes de grandes e médias empresas (IEL, 2006).

De acordo com Primi *et al.* (2001), até recentemente, a questão acadêmica estava diretamente ligada à aprendizagem exclusiva ou preferencial de conteúdos, segundo o acúmulo de conhecimentos. No entanto, a preocupação recente vai além do ensinamento de conteúdos, acrescentando-se a eles o domínio da ordem do saber como fazer.

Com isso, uma quebra de paradigma do modelo de ensino-aprendizagem com foco em conteúdo fez-se necessária, propondo-se, então, o desenvolvimento de competências e de habilidades com base na formulação de um currículo integrado e articulado de situações pedagogicamente concebidas para promover a aprendizagem (OLIVEIRA, *et al.*, 2008).

O conceito de competência emerge no novo paradigma da educação como elemento orientador de currículos, de acordo com o Ministério da Educação (2002), de maneira ainda mais forte na educação profissional. O foco no trabalho educacional deixa de ser o ensinar e passa a ser o aprender, descentralizando o papel da transmissão de conteúdos.

As DCNCGE evidenciam que as Instituições de Ensino Superior (IES) têm autonomia e flexibilidade na elaboração de seus projetos pedagógicos, de maneira que demonstrem claramente como as atividades previstas garantirão o perfil desejado de seu egresso e o desenvolvimento das competências e das habilidades esperadas. Assim, a legislação brasileira estabelece as seguintes competências e habi-

lidades gerais para os egressos dos cursos de engenharia (CNE/CES nº 11/2002):

- CH1 – aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;
- CH2 – projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;
- CH3 – conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;
- CH4 – planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;
- CH5 – identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
- CH6 – desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;
- CH7 – supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;
- CH8 – avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas;
- CH9 – comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;
- CH10 – atuar em equipes multidisciplinares;
- CH11 – compreender e aplicar a ética e a responsabilidade profissionais;
- CH12 – avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;
- CH13 – avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia;
- CH14 – assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.

A instituição DCNCGE, por meio da Resolução nº 11 de 2002, do Conselho Nacional de Educação, coroa um processo de discussão que teve amplitude nacional. A instituição das diretrizes fortalece as IES em sua autonomia e flexibilidade na elaboração de seus projetos pedagógicos. As diretrizes estabelecem as competências e as habilidades gerais para os egressos dos cursos de engenharia, mas deixam para os projetos pedagógicos de cada curso a fixação de outras competências e habilidades, bem como a escolha de quais atividades e estratégias pedagógicas serão utilizadas para garantir a formação do profissional com o perfil desejado (CNE/CES nº 11/2002).

O novo perfil profissional do engenheiro deve aliar à indispensável competência técnica o desen-

volvimento de características e habilidades para o trabalho em grupo, para a liderança de pessoas, para a administração de conflitos e de pressões (PEREIRA, 2005).

Um considerável desafio, comentado por Simon (2004), está em como não desvalorizar o conhecimento específico em detrimento da busca pelo desenvolvimento de determinadas habilidades e competências.

Uma mudança de paradigma na avaliação apresenta um novo modelo para valorizar aprendizagens quantitativas e qualitativas, no decorrer do próprio processo de aprendizagem, a partir da adequação de um modelo de testes e exames para um modelo em que os alunos demonstram o conhecimento que construíram a partir das competências desenvolvidas. Nesse modelo, a avaliação vem contribuir para auxiliar o ensino, orientar a aprendizagem e valorizar a interação e a construção do conhecimento (OLIVEIRA, *et al.*, 2008).

## MATERIAL E MÉTODOS

O universo da pesquisa é constituído por alunos formandos de cinco cursos de engenharia de uma universidade pública situada no interior do estado de São Paulo: Civil, Elétrica, Mecânica, Produção Mecânica e Materiais.

Para a coleta de dados, foi utilizado um questionário dividido em quatro partes, sendo: a primeira, chamada de Identificação; a segunda, de Situação de estágio/emprego; a terceira e a quarta, compostas por quatorze competências e habilidades apontadas pelas DCNCGE, sendo que, na terceira parte, investiga-se a importância/valorização dessas competências, considerando o ambiente de trabalho/estágio; na quarta parte, o quanto essas mesmas competências e habilidades foram valorizadas durante o período de graduação, na formação acadêmica. Para essas duas últimas partes, as respostas foram baseadas em uma escala Likert, de cinco pontos, para que se avaliassem a importância das competências e das habilidades, assim como sua respectiva valorização.

Rensis Likert, em 1932, propõe o uso de escalas simétricas, com um ponto neutro ou médio. Essa escala é composta por um conjunto de assertivas em que os respondentes são solicitados a dar uma nota de 1 (nada importante) a 5 (muito importante),

buscando levantar atitudes e opiniões frente a um conjunto de assertivas (SIMON, 2004).

## Tratamento e análise dos dados

Para tratamento e análise dos dados coletados, foram utilizados métodos estatísticos não paramétricos: o teste de *Spearman* e o teste da Mediana.

Mattar (1999) destaca que a escolha do teste estatístico a ser aplicado depende de vários fatores: escala dos dados, da disponibilidade ou não de dados da população, entre testes paramétricos ou não paramétricos.

A utilização de técnicas paramétricas ou não paramétricas está relacionada às escalas de coleta de dados. Elas podem ser nominais, ordinais ou, ainda, intervalares ou de razão. Quando os dados são coletados em escalas ordinais, como se trata no presente caso, não é possível que sejam executadas operações aritméticas entre essas escalas. Isso impede a utilização de técnicas paramétricas (MATTAR, 1999).

A escolha pela utilização de testes não paramétricos teve como principal motivo a utilização da escala Likert na atribuição da importância percebida para cada competência/habilidade nos ambientes analisados.

A análise de dados coletados em escalas ordinais não pode ser realizada como o caso de dados intervalares. Como uma resposta que tem um valor associado “2”, (como nesta pesquisa, “pouco importante”), não necessariamente significará o dobro da resposta com valor associado “1” (“nada importante”), os métodos e as operações matemáticas ficam limitados. Nesse sentido, como proposto por Cooper e Schindler (2003, p. 181), “a diferença real entre a categoria 1 e 2 em uma escala de satisfação pode ser mais ou menos do que a diferença entre a categoria 2 e 3”. Isso indica que os estimadores da média e do desvio padrão não devem ser aplicados neste caso, pois tais técnicas pressupõem operações aritméticas sem sentido em escalas ordinais.

A utilização de estatística não paramétrica apresenta uma vantagem adicional. Os métodos paramétricos “são poderosos apenas quando aplicados a amostras grandes, o que não ocorre com métodos não paramétricos” (MATTAR, 1999).

Dentre as técnicas não paramétricas, o coeficiente de correlação de *Spearman* ( $r_s$ ) é uma das

mais conhecidas e utilizadas na prática. Esse coeficiente é utilizado em substituição ao coeficiente de correlação de *Pearson* ( $r$ ) nos casos em que a binormalidade dos dados não ocorre e ainda em situações envolvendo poucos pares de dados.

Dadas duas variáveis,  $X$  e  $Y$ , cujos valores são  $X_i$  e  $Y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , pode-se buscar relacionar essas variáveis mediante o uso do coeficiente de correlação. O coeficiente de correlação linear de *Spearman*, conhecido como o coeficiente de correlação de postos, equivale ao coeficiente de correlação de *Pearson* adaptado a dados transformados em postos, de acordo com a transformação de *Wilcoxon*.

De todas as estatísticas baseadas em postos, o coeficiente de correlação por postos de *Spearman* foi a que surgiu primeiro e é, talvez, a mais conhecida hoje. É uma medida de associação que exige que ambas as variáveis apresentem-se em escala de mensuração pelo menos ordinal, de modo que os elementos em estudo possam dispor-se por postos em duas séries ordenadas.

Assim, o teste não paramétrico destina-se a determinar o grau de associação entre duas variáveis,  $X$  e  $Y$ , dispostas em pontos ordenados, cujo objetivo é estudar a correlação entre duas classificações. Em seguida, são resumidos alguns passos, adaptados de Siegel e Castellan Jr. (2006), além de Chen e Popovich (2002):

1. Dispor em postos as duas variáveis  $X$  e  $Y$  de 1 a  $N$ , sendo  $N$  o número total de casos; 2. Relacionar os  $N$  elementos e associar o valor do posto de cada elemento; 3. Determinar  $D_i$ , como sendo a diferença de postos entre as variáveis  $X$  e  $Y$ ; 4. Aplicar a fórmula (1):  $r_s = 1 - (6 \sum D_i^2) / (N^3 - N)$ ; 5. A significância de  $r_s$  é testada com a fórmula (2):  $t_c = r_s (\sqrt{N-2}) / (\sqrt{1-r_s^2})$ , com  $(N-2)$  graus de liberdade, que é o mesmo do teste de *Pearson*.

O valor- $p$  refere-se ao teste do coeficiente de correlação linear de *Pearson* (nível de significância) aplicado aos postos dos dados. Esse valor define se duas variáveis são ou não correlacionadas do ponto de vista estatístico. Em geral, se esse valor for menor que 0,05, considera-se que a correlação entre as variáveis trabalhadas é significativa, mais os postos são iguais.

O coeficiente de correlação de postos varia de  $-1$  (maior correlação negativa) e  $1$  (maior correlação positiva). A correlação negativa ocorre quando há uma inversão dos valores dos postos da variável  $Y$  em relação à variável  $X$ . A correlação positiva ocorre se os postos das duas variáveis seguem aproximadamente o mesmo padrão. A obtenção de coeficientes de correlação de postos com valores próximos de zero sugere a não existência de correlação linear entre as duas variáveis.

Com a aplicação do teste de *Spearman*, deve-se identificar a existência ou não de relação entre variáveis ordinais. Na presente pesquisa, esse teste será utilizado para verificar se a hierarquização de importância das competências e habilidades no ambiente acadêmico e no ambiente profissional é similar ou discrepante na visão dos estudantes pesquisados. Em outras palavras, será utilizado para responder, tendo por base a opinião dos alunos, a questionamentos como: a ordem de valoração das competências e habilidades é similar nos dois ambientes? Quais aquelas que aparecem em ordenações similares nos dois ambientes? Quais aquelas que “furam a ordem”?

O teste da Mediana permite verificar se há diferença significativa entre as medianas de duas amostras não relacionadas. Partindo do princípio de que as populações são idênticas, a mediana do conjunto formado pelas duas amostras fornece uma boa estimativa da mediana da distribuição comum.

Abaixo, seguem passos previstos para a realização do teste (adaptado de COSTA NETO, 2002):

1. Definir  $H_0$  como não havendo diferenças entre as medianas das duas amostras; 2. Definir o nível de confiabilidade  $\alpha$  para a realização do teste; 3. Calcular a mediana do conjunto das duas amostras; 4. Identificar os valores de  $p'_1$  e  $p'_2$ , devendo ser  $p'_1$  e  $p'_2$  as frequências relativas de valores abaixo ou acima da mediana estimada em cada amostra; 5. Identificar os valores de  $N_1$  e  $N_2$ , devendo ser o tamanho das amostras; 6. Definir  $p'$  como a estimativa da proporção comum, com base nas duas amostras reunidas; 7. Assumir, como no caso,  $p_1 = p_2 = 0,5$ ; pode-se diretamente fazer  $p' = 0,5$  na fórmula (3):  $z = 2(p'_1 - p'_2) / \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}$ , e o valor será testado bilateralmente no nível de significância desejado; 8. Identificar o valor limite (de rejeição) de  $z$ , utilizando

do uma tabela de distribuição normal; 9. Comparar o valor  $z$  calculado com o tabelado: se o calculado for maior ou igual ao tabelado, rejeitar  $H_0$ .

Seu poder-eficiência varia de 95% a 63%, dependendo do tamanho da amostra (SIEGEL; CASTELLAN JR., 2006).

O teste da Mediana possibilitará verificar, na pesquisa realizada com os alunos, se um conjunto de competências e de habilidades é similarmente valorizado em dois ambientes diferentes (acadêmico e profissional). Para se distinguir bem os dois testes, pode-se imaginar a seguinte situação: a ordenação dos *scores* das competências e habilidades nos dois ambientes pode ser idêntica. Por exemplo: a competência T somou 12 no ambiente profissional e 35 no ambiente acadêmico; a competência S, 24 e 76, respectivamente; a competência Q, 40 e 120. Aqui é fácil perceber que a ordenação nos dois ambientes é idêntica. No entanto, já que os respondentes são os mesmos, nota-se também que há uma enorme diferença de percepção de valor de importância nos dois ambientes. Nessa situação hipotética, cada uma das três competências foi percebida como muito mais importante num ambiente que no outro. O teste da Mediana será para responder os seguintes tipos de perguntas: quais as competências mais valorizadas pela universidade? E pela empresa? Quais as valorizadas similar ou discrepantemente nos dois ambientes?

A digitação e a tabulação dos dados contaram com a utilização de planilha eletrônica e também de um *software* (*Sfinx*), a fim de facilitar a análise dos dados conforme estratos.

## ANÁLISES DE DADOS E RESULTADOS

O instrumento de pesquisa foi dividido em quatro partes: identificação; situação de estágio/emprego; análise das competências e das habilidades no ambiente da empresa/estágio; análise das competências e das habilidades no ambiente da graduação. Para o estudo em questão, foram exploradas as partes três e quatro do instrumento de investigação e serão apresentados alguns dos resultados obtidos.

O questionário foi aplicado em todas as turmas concluintes dos cursos de engenharia da universida-

de em questão; ao todo, 166 alunos responderam à pesquisa, representando aproximadamente 69% da população investigada.

Abaixo, tem-se, na Tabela 1, uma distribuição do número de alunos por curso, na amostra trabalhada:

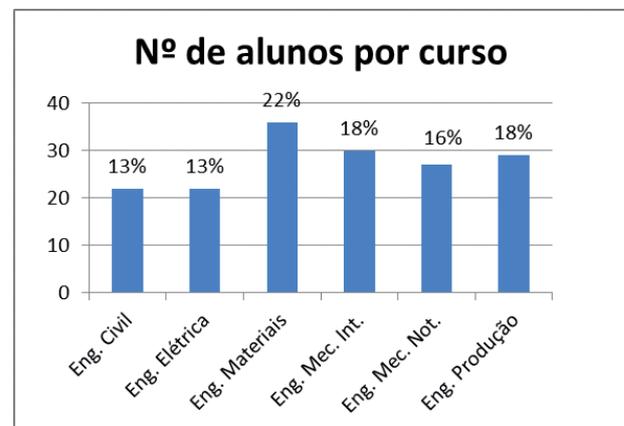
**Tabela 1 – Distribuição do número de alunos por curso, na amostra trabalhada.**

	Prod.	Elétr.	Civ.	Mater.	Mec. int.	Mec. not.	Total
Universo	36	23	34	52	66	31	242
Amostra	29	22	22	36	30	27	166
<i>f</i>	81%	96%	65%	69%	46%	87%	69%

Integraram a primeira parte do questionário algumas questões, como: nome; idade; sexo; curso; série; ano de ingresso no curso; entre outras.

A predominância na amostra foi do sexo masculino, 128 pessoas, representando 77% dos participantes. Na representatividade de cada curso, a predominância foi do curso de Engenharia de Materiais, conforme apresentado no Gráfico 1:

**Gráfico 1: Representatividade de cada curso na amostra.**



Integraram a terceira e a quarta parte do instrumento de pesquisa as quatorze competências e habilidades propostas pelas DCNCGE (2002) para os cursos de engenharia. Na terceira parte, os alunos avaliaram cada uma dessas competências, analisando sua importância e sua valorização no ambiente de trabalho/estágio. Na quarta parte, essas mesmas competências e habilidades foram avaliadas pelos alunos, considerando-se o período de graduação, isto é, o quanto essas competências foram valorizadas durante o decorrer de seus cursos. A Figura 1

apresenta as partes três e quatro do instrumento de pesquisa.

Na aplicação do teste de *Spearman*, tem-se que as pontuações resultam da somatória do produto da frequência de resposta em cada

alternativa com o valor da própria; em seguida, é possível realizar a hierarquização do conjunto de competências e habilidades, a classificação em postos em cada ambiente.

**Figura 1: Excerto do instrumento de pesquisa.**

PARTE 3 (PENSE NO SEU DIA A DIA NA EMPRESA-ESTÁGIO)					PARTE 4 (PENSE NA SUA FORMAÇÃO ACADÊMICA)				
Considere o seu ambiente de trabalho, pense <b>no seu dia a dia na empresa</b> e analise a importância de cada uma das competências e das habilidades listadas abaixo. Utilize, na PARTE 3, a escala proposta:					Considere o seu período na faculdade, pense <b>na sua formação acadêmica</b> e analise o quanto essas mesmas competências e habilidades foram valorizadas. Utilize, na PARTE 4, a escala proposta:				
Nada importante	Pouco importante	Medianamente importante	Importante	Muito importante	Nada valorizada	Pouco valorizada	Medianamente valorizada	Valorizada	Muito valorizada
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

PARTE 3/Estágio					COMPETÊNCIAS E HABILIDADES					PARTE 4/Graduação				
1	2	3	4	5	CH1	Aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à engenharia;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH2	Projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH3	Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH4	Planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de engenharia;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH5	Identificar, formular e resolver problemas de engenharia;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH6	Desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH7	Supervisionar a operação e a manutenção de sistemas;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH8	Avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH9	Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH10	Atuar em equipes multidisciplinares;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH11	Compreender e aplicar a ética e responsabilidade profissionais;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH12	Avaliar o impacto das atividades da engenharia no contexto social e ambiental;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH13	Avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia;	1	2	3	4	5			
1	2	3	4	5	CH14	Assumir a postura de permanente busca de atualização profissional.	1	2	3	4	5			

Seguem, na Tabela 2, as pontuações e as hierarquizações realizadas para os dois ambientes investigados:

**Tabela 2: Pontuação e postos conforme avaliação dos alunos para as competências e as habilidades.**

CH	Universidade		Estágio	
	Pontuação	Postos	Pontuação	Postos
CH1	715	1	612	11
CH2	675	2	670	6
CH3	575	7	683	5
CH4	514	12	651	8
CH5	652	3	647	9
CH6	531	11	658	7
CH7	463	14	568	13
CH8	468	13	605	12
CH9	588	5	749	1
CH10	567	6	705	3,5
CH11	560	8	735	2
CH12	547	9	559	14
CH13	535	10	643	10
CH14	607	4	705	3,5

A partir da Tabela 2, pode-se calcular o coeficiente de correlação de *Spearman* ( $r_s$ ), o nível de significância (valor  $p$ ) e o teste de significância do coeficiente ( $tc$ ), apresentados abaixo, na Tabela 3, conforme as pontuações apuradas para o ambiente da universidade e do estágio.

**Tabela 3: Coeficiente de correlação de *Spearman*, nível de significância e teste de significância do coeficiente**

	Univ. e Est.
Coeficiente de correlação de <i>Spearman</i> ( $r_s$ )	0,40
(Coef. de <i>Pearson</i> ) Nível de significância (valor- $p$ )	0,158
Teste de significância de $r_s$ ( $tc$ )	1,51

Com o coeficiente encontrado, sugere-se que as hierarquizações, classificação em postos dos dois ambientes, não estão exatamente próximas, o que seria evidenciado com um coeficiente  $r_s = 1$ ; com  $r_s = 0,40$ , tem-se que existe discrepância entre as hierarquizações realizadas para os dois ambientes.

O teste também possibilita que sejam identificadas as competências com maior destaque em cada ambiente. Sendo as três de maior destaque (primeiras) na universidade: CH1, CH2 e CH5. Já no ambiente do estágio/empresa: CH9, CH11 e CH10/14.

As três competências com maior discrepância entre as hierarquizações (postos) nos dois ambientes foram: CH1, CH5 e CH11.

Conforme os destaques apontados em cada ambiente, sugere-se que, no ambiente acadêmico, as competências consideradas mais valorizadas foram competências relativamente mais conteudistas e técnicas. No ambiente organizacional, as consideradas mais importantes foram competências menos técnicas.

Com o coeficiente encontrado, sugere-se que a correlação entre as variáveis não é exatamente significativa, o que seria evidenciado com um nível de significância  $< 0,05$ , com valor- $p = 0,158$ ; tem-se que não há correlação significativa entre as hierarquizações realizadas para os dois ambientes, ou seja, os postos não são necessariamente próximos para os dois ambientes.

Para a aplicação do teste da Mediana, são utilizadas as mesmas pontuações realizadas no teste de *Spearman*, que resultam da somatória do produto da frequência de resposta em cada alternativa com o valor da própria alternativa, em seguida, é possível identificar a mediana do conjunto todo (dos dois ambientes).

Com base nas pontuações apresentadas na Tabela 2, tem-se para o teste da Mediana:

- $H_0$  = não há diferenças entre as medianas das duas amostras (ambientes analisados) – igualdade entre as medianas;
- Nível de significância a ser adotado:  $\alpha = 95\%$ .

**Tabela 4: Mediana,  $p'1$ ,  $p'2$ ,  $n_1$ ,  $n_2$**

Mediana das amostras	609,5
Nº de competências - Abaixo da mediana - Universidade = $p'1 = f_1/n_1$	11/14
Nº de competências - Abaixo da mediana - Empresa = $p'2 = f_2/n_2$	3/14
Tamanho da amostra 1 e 2 - Nº de competências na Univ = $n_1$ e na Empr = $n_2$	14

A partir da Tabela 4, obtém-se o valor de  $z$  e o valor  $p$  na aplicação do teste da Mediana, representado, respectivamente, pelos valores, 3,02 e 0,001. O valor de  $z$  pode ser analisado junto à tabela de distribuição normal, conforme grau de rejeição desejado (sugerido 0,05).

Com um valor de  $z$  encontrado igual a 3,02 e para o valor limite de rejeição em alfa 0,05, tem-se o valor de  $z$  com aprox. 1,65; com isso, pode-se afirmar que, sendo o valor de  $z$  encontrado maior que o valor de  $z$  tabelado, é possível a rejeição de  $H_0$ , ou seja, o teste da Mediana sugere que há discrepância entre a mediana das duas amostras (ambiente acadêmico e ambiente profissional).

Admitindo-se ainda valores de limite de rejeição em alfa 0,01 e 0,005, têm-se, respectivamente, os valores de  $z$  tabelados aproximados em 2,32 e 2,58, o que ainda permite manter a rejeição de  $H_0$  enquanto o valor de  $z$  encontrado é de 3,02.

O valor  $p$  é significativamente menor que os níveis de significância usuais, o que confirma a rejeição, com folga, da hipótese nula, ou seja, rejeita-se a igualdade entre as duas distribuições de avaliações.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado buscou demonstrar, por intermédio da aplicação de uma pesquisa em uma universidade pública, se o espírito das DCNCGE pode ser absorvido pela instituição para os cursos de engenharia, e a percepção dessas competências e habilidades propostas pelas DCNCGE no tocante ao ambiente organizacional, sob a óptica de alunos formandos em engenharia. A partir da pesquisa bibliográfica, foi possível reunir conceitos em torno do assunto “competências e habilidades” e apresentar o conjunto de competências e habilidades propostas pelas DCNCGE, designadas no presente estudo por CH1, CH2 ...CH14.

A pesquisa aplicada na universidade possibilitou verificar a percepção desses alunos em relação à valorização e à importância das competências e das habilidades, analisando o ambiente da universidade, todo o período que passaram nela e o ambiente organizacional, seu dia a dia na empresa. Ao comparar os resultados levantados, foi possível constatar, por meio do teste de *Spearman*, que existe discrepância entre as hierarquizações feitas para os dois ambien-

tes, a importância percebida por eles para cada competência é diferente no *score* dos ambientes analisados. O coeficiente encontrado ( $r_s = 0,40$ ) sugere tal discrepância entre as hierarquizações. Destacaram-se na hierarquização do ambiente acadêmico três competências mais técnicas, CH1, CH2 e CH5; no ambiente organizacional, o destaque foi para três competências relacionadas à comunicação, à ética, ao trabalho em equipe e à atualização profissional, propugnadas em CH9, CH11 e CH10/14. A maior discrepância entre os dois *scores* (universidade e empresa) está exatamente em três competências já destacadas acima: CH1, CH5 e CH11; ou seja, enquanto no ambiente organizacional elas têm destaque na avaliação de importância, na universidade, essas mesmas competências foram consideradas pouco valorizadas. As que aparecem em ordenações relativamente próximas, mas não idênticas, são as CH7, CH8 e CH14. Ressalte-se, CH7 e CH8 são competências relacionadas à supervisão e à manutenção de sistemas, mas aparecem nas últimas colocações; já CH14, relacionada à busca pela atualização profissional, aparece entre as quatro primeiras nos dois ambientes. A única competência com a mesma posição nos dois ambientes é a CH13, com a 10ª posição, trata-se de avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia.

Com o teste da Mediana, é possível constatar que existe também discrepância nas avaliações entre a mediana das duas amostras (análise nos dois ambientes). Identifica-se no primeiro ambiente, universidade, que onze competências estão abaixo da mediana, ou seja, a avaliação de grande parte das competências que compõem todo o conjunto está abaixo da mediana encontrada; vale ressaltar que as três competências que ficaram acima da mediana nesse ambiente são as mesmas três em destaque no teste de *Spearman*, competências mais técnicas, CH1, CH2 e CH5; enquanto, na empresa, apenas três competências foram avaliadas abaixo da mediana, CH7, CH8 e CH12. Vale também ressaltar que as CH7 e CH8, já apontadas acima, aparecem com o mesmo *score* no teste de *Spearman* (10ª colocação). O teste sugere que, de todo o conjunto de competências e habilidades avaliado, existe uma maior valorização das competências e habilidades no ambiente da empresa em relação à avaliação para o

ambiente acadêmico, que pode ser observado pelo número de competências abaixo da mediana encontrado para cada ambiente analisado.

É possível sugerir que, na visão dos alunos formandos em engenharia da instituição em questão, ainda se faz necessário desenvolver como um todo o conjunto de competências apresentadas pelas DC-NCGE, que ainda existe certa propensão a se desenvolver as habilidades técnicas e conteudistas em detrimento das demais em todo o conjunto. Consegue-se também sugerir que existe certa discrepância entre o que a universidade tem desenvolvido no aluno e o que as empresas têm considerado importante para esses profissionais.

É ainda necessário ressaltar que todos os resultados sugeridos e destacados neste estudo mostram, exclusivamente, a percepção de alunos formandos dos cursos de engenharia da instituição em questão, guardadas todas as particularidades que devem ser consideradas mediante a visão de apenas uma das partes envolvidas no processo de ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

- BARROS NETO, J. P. Modelo de gestão de habilidades e competências corporativas. In: KUAZAQUI, E. (org.) **Liderança e criatividade em negócios**. São Paulo: Thomson Learning, 2006. cap. 2, p. 17-43.
- BITENCOURT, C.; BARBOSA, A. Gestão de competências: articulando indivíduos, organizações e sociedade. In: BITENCOURT, C. (org.). **Gestão contemporânea de pessoas: novas práticas, conceitos tradicionais**. Porto Alegre: Bookman, 2010. cap. 10, p. 175-195.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Anteprojeto da Resolução sobre Diretrizes Curriculares para os Cursos de Engenharia da Secretaria de Ensino Superior - SESu/MEC de 05 de maio de 1999**. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>. Acesso em 2 set. 2012.
- CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO / CÂMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR. Resolução CNE/CES nº 11, de 11 de março de 2002. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2012.
- CHEN, Peter Y.; POPOVICH, Paula M. **Correlation: parametric and nonparametric measures**. London: Sage, 2002.
- COOPER, D.; SCHINDLER, P. **Métodos de pesquisa em administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- CUNHA, G. D. **Diretrizes para a elaboração de projetos pedagógicos de cursos de engenharia**. Escola de Engenharia: UFRS, 2007.
- IEL, Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Nacional. **Inova Engenharia: propostas para a modernização da educação em engenharia no Brasil / IEL.NC, SENAI.DN**. Brasília: IEL.NC/SENAI.DN, 2006.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 1 v.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Referenciais Curriculares Nacionais da Educação Profissional de Nível Técnico**. Brasília, DF. 2000. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>. Acesso em: 2 set. 2012.
- OLIVEIRA, S. R. M. *et al.* A percepção dos estudantes de Engenharia de Produção sobre o desenvolvimento de competências e habilidades à luz do ENADE. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Rio de Janeiro, RJ, 13 a 16 de out. de 2008. ENEGEP 2008.
- PEREIRA, T. R. D. S. A formação do profissional de engenharia: suas necessidades frente ao novo cenário das organizações. **XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Porto Alegre, RS, 29 out. a 1º de nov. de 2005. ENEGEP 2005.
- PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.
- PRIMI, R. *et al.* Competências e habilidades cognitivas: diferentes definições dos mesmos construtos. **Revista Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 151-159, 2001.
- SANTOS, F. C. A. Potencialidades de mudanças na graduação em Engenharia de Produção geradas pelas diretrizes curriculares. **Revista Produção**, v. 13 n. 1, p. 26-32, 2003.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

SILVA JÚNIOR, C. A. Apresentação de O projeto pedagógico de seu curso está sendo construído por você? **Anais do III Circuito PROGRAD**, São Paulo: Pró-Reitoria de Graduação da UNESP, 1995.

SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2005.

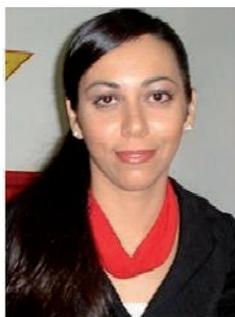
SIMON, F. O. **Habilidades e competências em engenharia**: criação e validação de um instrumento. São Paulo, 2004. 160 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade

de Educação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

SOUZA, C. B. G. de. O projeto pedagógico como instrumento de participação e qualidade no ensino superior. In: O projeto pedagógico de seu curso está sendo construído por você? **Anais do III Circuito PROGRAD**, São Paulo, Pró-Reitoria de Graduação da UNESP, 1995, p. 87-95.

---

## DADOS DOS AUTORES



**Ana Paula Arezo Souza** – Graduada em Tecnologia em Gestão Empresarial pela Faculdade de Tecnologia, Campus de Guaratinguetá (FATEC, 2007), pós-graduada em Gestão da Produção pela Universidade Estadual Paulista (UNESP, 2010). Mestre em Ciências na Área de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá (FEG). Atua em empresa do ramo metalúrgico como Supervisora de Planejamento e Controle de Produção e desenvolve em paralelo um trabalho na Universidade Estadual Paulista (UNESP) referente à formação acadêmica e à atuação profissional do Engenheiro. Tem interesse em processos de ensino e aprendizagem na área de Engenharia.



**Maurício C. Delamaro** – Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP, 1985), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1989), Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1997). Atualmente, é Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá (FEG). Foi Chefe do Departamento de Produção e Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia de Produção. Atua em Engenharia da Sustentabilidade. No campo da educação em engenharia, tem interesse em avaliação de cursos e elaboração de projetos político-pedagógicos.



**Andreia M. P. Salgado** – Graduada em Psicologia pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 1998), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2003), Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2007). Atualmente, é Professora Assistente Doutora do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá (FEG). Participante do Grupo de Pesquisa de Otimização e Logística (GOL) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), pertencente ao Departamento de Produção.



**Arminda Campos** – Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1984), Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1991), Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1998). Atualmente, é Professora Assistente Doutora do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá (FEG). Áreas de pesquisa: avaliação de projetos, indicadores de sustentabilidade, empreendedorismo.

# ESTUDO DE CASO: INFLUÊNCIA DO PROLONGAMENTO DO CORDÃO DE SOLDA GMAW (MIG/MAG) NA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO DO CONTORNO DA REGIÃO SOLDADA EM ESTRUTURAS TUBULARES SUJEITAS À FLEXÃO

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p31-44

João Cláudio Ferreira Soares,<sup>1</sup> Frederico Nicolau Cesarino<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso desenvolvido numa indústria do Polo Industrial de Manaus (PIM), no segmento de motocicletas. A pesquisa aborda a problemática da concentração de tensões no contorno do cordão de solda em ponto de solicitação mecânica de flexão em estrutura tubular soldada. Pesquisou-se como melhorar a resistência à fadiga do contorno da região soldada em tubos sujeitos à flexão; buscou-se investigar se o prolongamento do cordão de solda distribui as tensões concentradas no contorno do cordão de solda; investigou-se e caracterizou-se o processo de soldagem GMAW (MIG/MAG) e a análise experimental de tensões através da extensometria; estudou-se a viabilidade de aplicação do prolongamento do cordão de solda no projeto e na fabricação da estrutura tubular objeto de estudo, apresentando-se os resultados obtidos nos testes. Constatou-se, através da análise instrumental (extensometria), que, para o caso em estudo, havia significativa concentração de tensão, acima do limite de projeto, no contorno do cordão de soldagem em condições de prolongamento mínimo, o que ocasionou a quebra do tubo principal da junta “Y” na estrutura tubular, durante teste de resistência com carga máxima de projeto. O processo de fabricação indicou uma diferença significativa nos prolongamentos de cordão, ocorrendo de forma ocasional, não existindo padrão definido. Por meio dos testes, ficou estabelecida uma relação inversa entre os comprimentos dos prolongamentos e as tensões encontradas na região da quebra, sendo verificado que, ao se aumentar o prolongamento, as tensões nos contornos eram reduzidas a níveis menores do que os limites máximos de projeto. Estabeleceu-se um padrão de 10mm de prolongamento para o caso em estudo, e construiu-se uma amostra protótipo para avaliar operacionalmente a aplicação no processo produtivo. A análise experimental de tensões através da extensometria mostrou-se ferramenta técnica eficiente e fundamental para demonstrar o comportamento das estruturas diante das solicitações mecânicas às quais estão sujeitos diversos pontos da estrutura.

**Palavras-chave:** Soldagem GMAW (MIG/MAG); extensometria; *strain gages*; análise experimental de tensões; prolongamento do cordão de soldagem.

1 Professor Msc. Eng.; [engmecanica.manaus@ulbra.br](mailto:engmecanica.manaus@ulbra.br) e [claudio.ueabm@gmail.com](mailto:claudio.ueabm@gmail.com)

2 Professor Msc.; [fredcesarino@hotmail.com](mailto:fredcesarino@hotmail.com)

## ABSTRACT

### CASE STUDY: THE INFLUENCE OF THE EXTENSION OF WELDING CORD GMAW (MIG / MAG) IN THE STRESS DISTRIBUTION OF CONTOUR OF THE WELDED REGION IN TUBULAR STRUCTURES SUBJECTED TO BENDING

This paper presents a case study developed in industry of Manaus Industrial Pole (PIM), in the motorcycle segment. The research addresses the problem of stress concentration on the boundary of the weld – point bending mechanical stress in welded tubular structure. Researched how to improve the fatigue resistance of the boundary of the welded tubes subject to bending; investigated whether the prolongation of the weld distributes the stresses concentrated in the contour of the weld; investigated and characterized the process of GMAW (MIG/MAG) and experimental analysis of stresses through the gage; studied the feasibility of the extension of the weld in the design and manufacture of the tubular object of study, and presents the results obtained in the tests. Found by instrumental analysis (gage) which for this particular case there is significant stress concentration above the limit of design, the outline of the cord in conditions of welding minimum extension, which caused breakage of the main tube joint “ Y “ tubular structure during the endurance test with maximum design load. The manufacturing process indicated a significant difference in the prolongations cord occurring on an occasional basis, with no set pattern. Through testing it was established an inverse relationship between the extensions of greetings and tensions found in the region of the break, and found that the increasing tensions in the extension contours were reduced to levels below the maximum project. Established a standard 10mm extension for the case study and built a prototype to evaluate operationally sample application in the production process. The experimental analysis of stresses through the gage proved efficient technical and fundamental tool to demonstrate the behavior of the structures on the mechanical stresses to which they are subjected various points of the structure.

**Keywords:** Welding GMAW (MIG/MAG); extensometry; strain gages; experimental stress analysis; extension cord welding.

## INTRODUÇÃO

No contexto atual da dinâmica das indústrias de transformação, surgem problemas que necessitam de rápida, simples e eficiente intervenção, com o objetivo de melhorar a qualidade e minimizar os custos de falhas, principalmente para preservar a imagem do produto ou empresa. Para cada problema encontrado, há sempre mais de uma alternativa de solução. Pela dinâmica e especificidade de cada processo e produto, deve-se realizar uma análise instrumental que apresente dados consistentes capazes de demonstrar os pontos que necessitam melhorias. Os processos de soldagem são importantíssimos para a construção mecânica de estruturas sujeitas a diversos tipos de solicitações mecânicas. Este trabalho apresenta um estudo de caso que se desenvolveu dentro de uma multinacional japonesa, no segmento de duas rodas, com planta no Polo Industrial de Manaus (PIM). A problemática

aborda, mais especificamente, o projeto e a fabricação de estruturas tubulares obtidas por processo de soldagem GMAW (MIG/MAG), submetidas a solicitações mecânicas de flexão. O ciclo repetitivo de flexão dessas estruturas pode promover a fadiga localizada junto às regiões soldadas, particularmente no contorno do cordão de solda. A ação da tensão localizada nessas regiões, mesmo que abaixo do limite de resistência do material, combinada com o ciclo repetitivo de trabalho (flexão), pode promover a fadiga prematura no contorno do cordão de solda, gerando microtrincas que se propagam até causar a quebra da estrutura.

O objetivo geral da pesquisa foi investigar se, em estruturas soldadas sujeitas à flexão, o prolongamento do cordão de solda distribui as tensões concentradas no contorno do mesmo. Estudou-se a viabilidade de aplicação do prolongamento do cordão de solda no projeto e na fabricação da estrutura

tubular objeto de estudo; e são apresentados, ao final, os resultados obtidos nos testes.

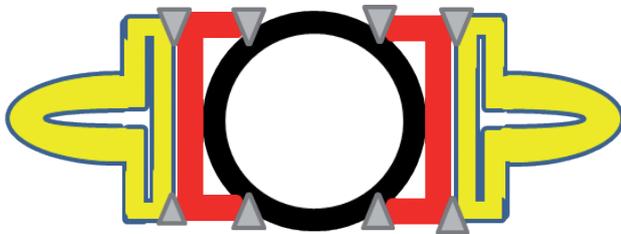
## EXTENSOMETRIA

A extensometria é ferramenta técnica eficiente e fundamental na análise experimental de tensões para demonstrar o comportamento das estruturas diante das solicitações mecânicas às quais estão sujeitos diversos pontos da estrutura. Essa análise é eficaz para identificar pontos críticos em projetos, permitindo ao projetista aplicar melhorias a fim de aumentar a qualidade (HOLLISTER, 1967).

## PROBLEMÁTICA

Este estudo de caso trata de um problema específico de concentração de tensão no contorno do cordão de solda, em uma estrutura tubular, em um ponto de união em “Y”, no qual dois tubos laterais encontram um tubo principal. Os pontos dessa união recebem uma placa reforço que é soldada antes da adesão dos tubos laterais. Os dois tubos laterais são conformados no ponto de união com o reforço para obter uma geometria plana no contato com o reforço.

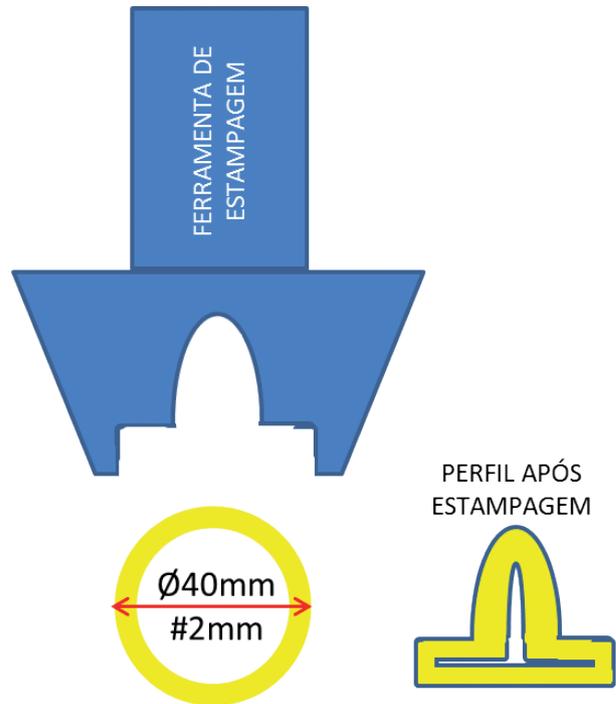
**Figura 1:** Esquema da junta soldada em corte: tubo principal (preto); placa reforço (vermelho); tubos laterais (amarelo); e cordão de solda (cinza).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os tubos laterais são de 40mm, com espessura de 2mm, sendo conformados na região de contato com o reforço a fim de melhorar a fixação da junta soldada.

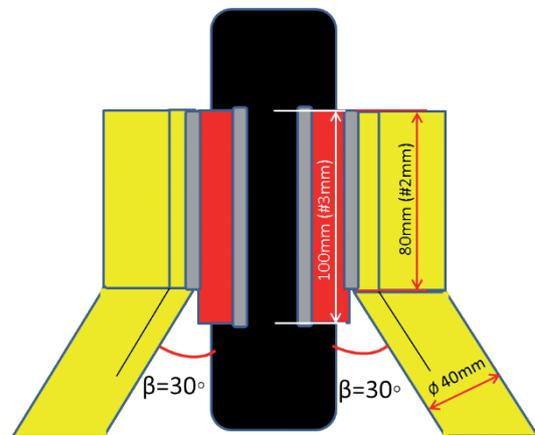
**Figura 2:** Esquema da ferramenta de estampagem do tubo lateral e moldagem.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 3, a vista superior da junta “Y” soldada com as dimensões do reforço de 100mm e os ângulos dos tubos laterais. Verifica-se a posição dos cordões de solda (cor cinza), unindo o reforço ao tubo principal e os tubos laterais ao reforço.

**Figura 3:** Esquema da junta soldada na vista superior: tubo principal (preto); placa reforço (vermelho); tubo lateral (amarelo); e cordão de solda (cinza).

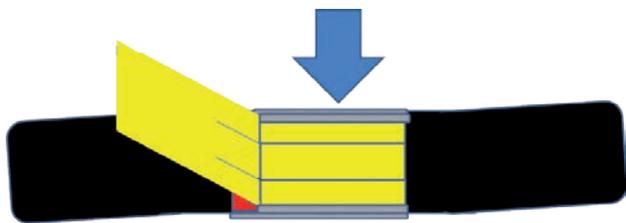


Fonte: Elaborado pelos autores.

O tubo principal da junta é o de maior solicitação mecânica, pois a absorção de energia mecânica nos tubos laterais é transmitida ao ponto de união com o tubo principal. A Figura 4, de forma teórica,

representa a aplicação de uma força concentrada para ilustrar o mecanismo de serviço da junta.

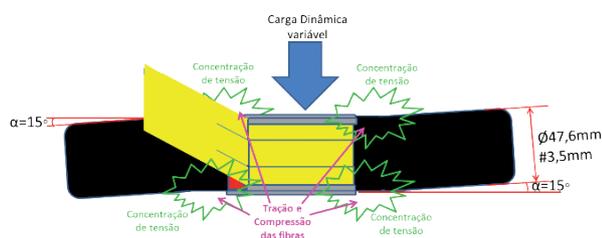
**Figura 4: Esquema da aplicação de carga na estrutura (vista frontal em corte e vista lateral direita respectivamente).**



Fonte: Elaborado pelos autores.

De forma ainda mais detalhada, a Figura 5 demonstra os pontos de concentração de tensão na junta e as solicitações mecânicas de tração e compressão às quais as fibras do material são submetidas.

**Figura 5: Esquema do funcionamento da junta em serviço.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O material empregado, tanto no tubo principal como nos reforços e tubos laterais, é o aço estrutural ao carbono DIN ST52-3 (0,22% de carbono, limite de escoamento de 355MPa e ruptura 490 a 630MPa, alongamento mínimo de 22%, Módulo de Elasticidade  $E=200\text{GPa}$ , equivalente aos ASTM A572-50 e SM490A); o processo de soldagem é o GMAW (MIG/MAG) semiautomático, arame de 1,0 mm, corrente entre 160 e 220 A, tensão de 24~30 V, gás de proteção 100% Co<sub>2</sub>.

Apesar de o limite de escoamento do material utilizado ser de 355MPa, está estabelecida no projeto da estrutura uma tensão admissível de no máximo 216MPa. É importante ressaltar que as tensões aplicadas são de cargas dinâmicas variáveis, bem mais difíceis de prever o comportamento e os picos de tensão por um modo de uso mais severo. A quan-

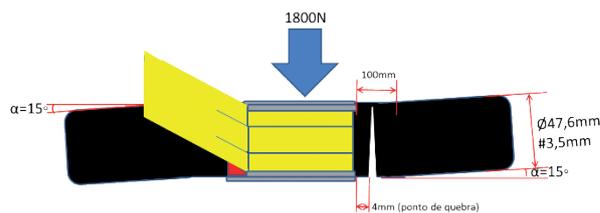
tificação real das tensões aplicadas à junta só pode ser obtida, nesse caso, através de instrumentação.

A união de elementos estruturais por soldagem por si só pode gerar concentradores de tensão capazes de amplificar as forças aplicadas. Isso porque a solda, mesmo isenta de defeitos, altera a microestrutura do material e acrescenta-lhe outros planos de escoamento antes inexistentes, ou seja, cria uma descontinuidade estrutural admissível. As estruturas soldadas submetidas a carregamentos dinâmicos devem ser avaliadas e testadas em sua resistência, antes de serem submetidas a uso, mesmo quando os cálculos teóricos garantem a resistência adequada. Isso, principalmente, quando falhas em serviço podem ser fatais e causar grandes prejuízos.

## Condições de ocorrência

No mês de fevereiro de 2012, durante a realização de testes de rotina, para avaliar a resistência à fadiga das estruturas tubulares soldadas (citadas no tópico anterior), foi evidenciada a quebra, no ponto de união soldado em “Y” do tubo principal com os tubos laterais, na parte dianteira, iniciando na parte inferior a, aproximadamente, 4mm do cordão de solda do reforço. O problema ocorreu após 19.775 ciclos dos 250.000 necessários para aprovação da resistência à fadiga. Considera-se, nesse caso, uma quebra prematura. No ciclo do teste de resistência, a junta “Y” da estrutura é solicitada mecanicamente com uma força de aproximadamente 1.800N.

**Figura 6: Esquema da condição de ocorrência de quebra.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## Esclarecimento das causas

Para definir as causas e seus mecanismos, foram analisados os principais aspectos que envolvem o projeto, a fabricação e as condições de teste. Dessa forma, para facilitar o entendimento e a visualização

dos pontos relacionados ao problema, foi criado um FTA (*Failure Tree Analyse*), através de um *brainstorming* com especialistas. O objetivo foi sistematizar a análise e verificar cada ponto levantado, sua influência no problema e a relação de causa e efeito.

Figura 7: FTA das prováveis causas.

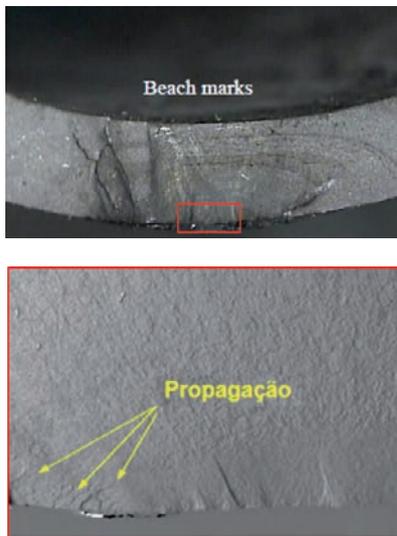


Fonte: Elaborado pelos autores.

## Análise da fratura

Abaixo, a Figura 8 indica detalhe da região de início da ruptura. Observa-se que a superfície da peça apresenta aspecto de fratura instantânea, e a propagação aspecto de fratura por esforço cíclico, caracterizando fadiga mecânica.

Figura 8: Região de início da fratura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Através da análise da região da fratura, fica caracterizado, por meio das deformações observadas na região, que a quebra ocorreu inicialmente por fadiga, resultado de solicitação variável, propagou-se de forma lenta, até tomar uma proporção que com-

promettesse a resistência e, então, finaliza com uma ruptura instantânea.

A fadiga é considerada prematura, pois, como foi mencionado, ocorreu com 19.775 ciclos dos 250.000 que o projeto admite, ou seja, aproximadamente 8% da vida útil prevista. Nesse caso, as condições de sobrecarga que causam fratura frágil podem ser desconsideradas.

A solda, por si só, caso não seja bem posicionada, pode concentrar tensões resultantes de solicitações de flexão. A ruptura por fadiga é responsável pela maior parte das falhas que ocorrem em serviço, e essa é uma consideração muito importante no projeto de diversos tipos de estruturas soldadas.

A trinca de fadiga tende a se iniciar em descontinuidades capazes de gerar concentrações de tensões; cordões de solda produzem, na maioria das vezes, concentrações de tensões, principalmente no contorno do cordão, capazes de reduzir, em alguns casos e para estruturas com trabalho cíclico, o limite de fadiga da junta.

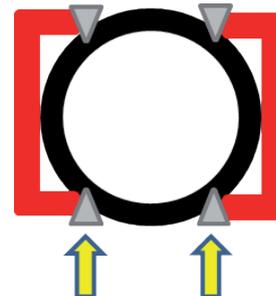
Como foi mencionado, a quebra ocorreu a 4mm da solda do reforço com o tubo principal, região termicamente afetada pela soldagem e considerada contorno do cordão.

Apesar de considerar necessária a análise das características do material, como dureza e resistência ao escoamento e à ruptura, a investigação das causas concentra-se em avaliar os aspectos de concentração de tensão e suas origens.

## PROCESSO DE SOLDAGEM

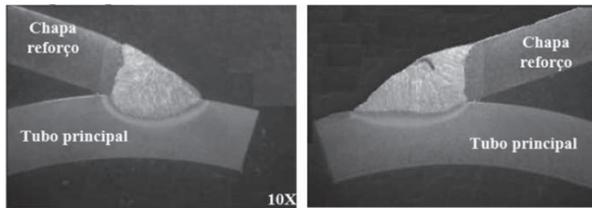
Não foram verificadas falhas ou defeitos de soldagem na peça de ocorrência, conforme avaliação visual, dimensional e macrografia abaixo.

Figura 9: Pontos de soldagem avaliados (inferior direito e esquerdo).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 10: Corpo de prova – Detalhe do caldeamento próximo à região de quebra.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os cordões de solda avaliados não apresentaram excesso de penetração, mordedura, trincas, porosidades ou qualquer outro tipo de descontinuidade.

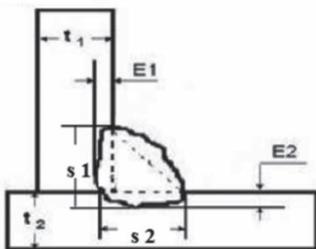
Quadro 1: Resultado da avaliação dimensional do caldeamento da solda.

CALDEAMENTO DO TUBO PRINCIPAL COM A PLACA REFORÇO

Item	Espessura (t)				Profundidade da Penetração (E)				Largura da penetração (s)			
	Tubo principal		Placa reforço		Tubo principal		Placa reforço		Tubo principal		Placa reforço	
Especificado	3,5mm (+10%)		3,0mm (+10%)		0,4mm (min)				3,5mm (min)		3,0mm (min)	
Região	inf. esq.	inf. dir.	inf. esq.	inf. dir.	inf. esq.	inf. dir.	inf. esq.	inf. dir.	inf. esq.	inf. dir.	inf. esq.	inf. dir.
Encontrado	3,6	3,6	3,1	3,2	0,6	1,2	0,5	0,4	4,1	6,8	3,0	3,2
Laudo	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11: Esquema das características de caldeamento.



Fonte: Elaborado pelos autores.

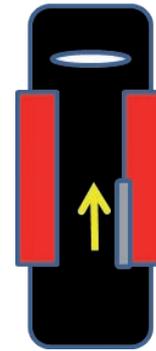
Da mesma forma, não há qualquer falha de penetração do arame de solda.

Anormalidade no prolongamento

Foram verificadas diferenças nas terminações dos cordões de solda das peças em processo, com variação de 5 a 17mm. Posteriormente, foram comparadas com a peça de ocorrência, outra do mesmo lote e uma peça aprovada no teste de resistência, encontrando-se diferença de 0 a 17mm. Não há definição em Padrão de Operação para prolongamento da terminação do cordão.

A soldagem é realizada de forma manual, sendo que o soldador puxa o cordão, conforme demonstrado na Figura 12, na direção da quebra.

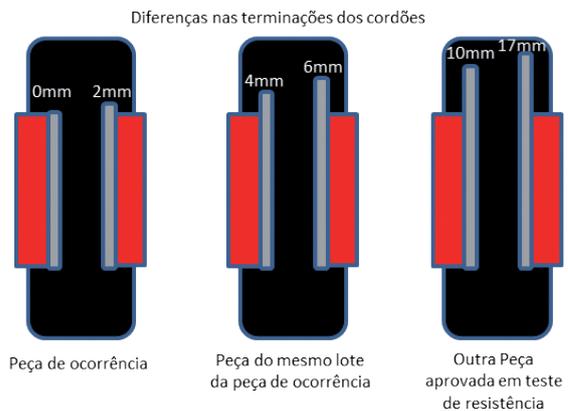
Figura 12: Representação do sentido de soldagem da placa reforço no tubo principal (de trás para frente, em direção ao ponto de quebra).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na análise do processo manual de soldagem (*in loco*), foi percebida uma variação nas terminações dos cordões de solda. Não estava definido ou estabelecido em Padrão de Operação nenhum prolongamento. Contudo, observaram-se diferenças significativas nas peças em processo. Após realizar-se uma avaliação utilizando a peça de ocorrência, peça do mesmo lote e uma peça aprovada no teste de resistência, foram verificadas as diferenças esquematizadas na Figura 13. A variação no prolongamento chegou a 17mm. Em processo, não havia variação menor que 5mm.

Figura 13: Representação das diferentes condições encontradas nas terminações dos cordões.



Fonte: Elaborado pelos autores.

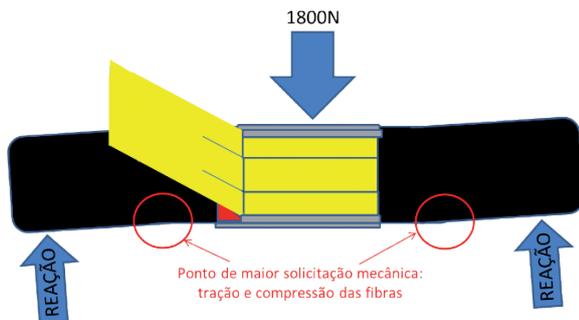
CONDIÇÕES DE TESTE

**Carga:** o teste de ciclagem foi avaliado quanto à sua criticidade e foi considerado dentro do padrão estabelecido, considerando-se a carga máxima

de projeto, que é de 1.800N, especificamente para essa junta com duas reações de apoio. O teste avalia a resistência da junta à fadiga, com 250.000 ciclos, sendo aplicado numa velocidade de 30 ciclos por minuto, de forma ininterrupta, em temperatura ambiente entre 25~30°C.

**Ponto de aplicação de carga:** o ponto de aplicação de carga está na união dos tubos laterais com o tubo principal, exatamente onde a junta é solicitada. Verifica-se que os pontos de maior solicitação mecânica estão nas regiões entre o reforço e a dobra do tubo principal, onde as fibras são tracionadas e comprimidas em cada ciclo, existindo uma deformação elástica do material, sendo visível a flexão do tubo principal. Ressalta-se que o teste é aplicado com frequência, de forma amostral, e outras juntas do mesmo projeto atenderam à carga e ao tipo de solicitação.

**Figura 14: Representação da aplicação de força e reações com os pontos de maior solicitação mecânica.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Dessa forma, não foi encontrada nenhuma anormalidade no teste aplicado à peça de ocorrência que veio a quebrar prematuramente, com 19.775 ciclos, 8% do valor de teste.

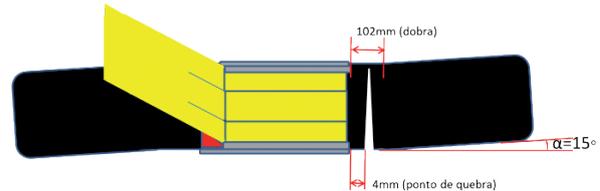
## ANÁLISE DOS DEMAIS FATORES

Foram avaliados outros fatores considerados importantes, com base no FTA estabelecido na problemática, porém, não foram encontradas alterações fora dos padrões que pudessem ser relacionadas às causas. Contudo, os autores possuem todos os testes e evidências que comprovam a análise.

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DE TENSÕES NAS CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA

Durante a análise do processo de soldagem, foram verificadas diferenças nos prolongamentos dos cordões de solda das peças em processo. Posteriormente, essas diferenças foram comparadas à peça de ocorrência, e, da mesma forma, a outras peças aprovadas em teste de resistência. A análise de especialistas apontou que, devido à proximidade do término do cordão com a dobra do tubo, sobre a região poderia incidir grande concentração de tensão, capaz de superar os valores tolerados pelo projeto e deformar o material acima dos limites de escoamento, causando pequenas trincas que, ao propagarem-se, chegariam a um limite crítico, causando, conseqüentemente, a quebra. Contudo, a teoria aceita por especialistas deveria ser comprovada através de um teste que demonstrasse essa concentração de tensão.

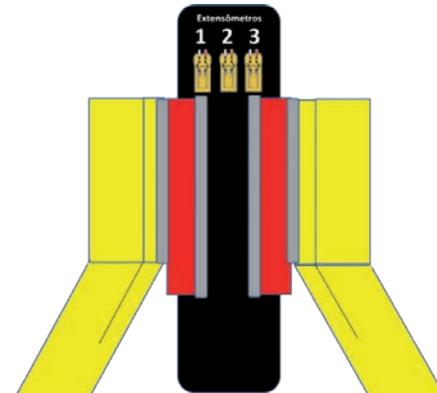
**Figura 15: Representação da proximidade do contorno do cordão com a dobra do tubo principal e o local da quebra.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para realização da análise experimental de tensões, foi utilizado o ensaio de extensometria, a fim de avaliar a influência dos prolongamentos na concentração de tensão na região da quebra.

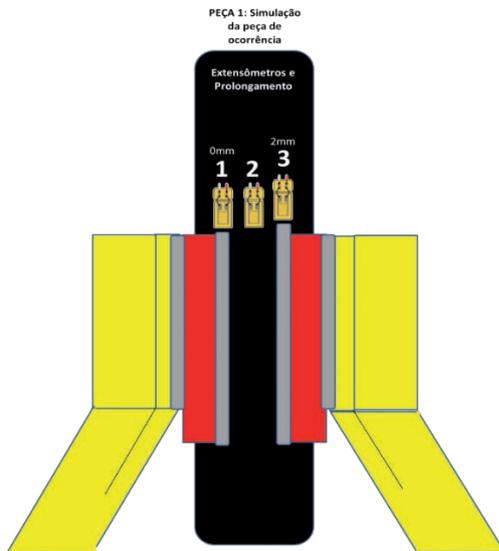
**Figura 16: Esquema da posição dos extensômetros na parte inferior da junta.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O esquema da Figura 16 apresenta o método de aplicação dos extensômetros nas peças, sendo dois sensores no contorno dos cordões e um no meio, para comparar com região próxima, de mesma distância da dobra, porém, sem influência do contorno da solda. Os extensômetros, fixados à peça através de um adesivo, sofrem a mesma microdeformação da peça e variam sua resistência elétrica utilizando a propriedade dos condutores, pois sofrem variação da resistência conforme o alongamento ou a compressão. Os extensômetros são ligados a um receptor eletrônico que relaciona a grandeza elétrica (resistência) à grandeza física, que, no caso, é pressão (Força sobre área, MPa ou N/mm<sup>2</sup>). Obrigatoriamente, devem ser fixados no sentido da solitação (tração ou compressão das fibras do material). Três peças foram fabricadas, simulando as condições de prolongamento encontradas na análise.

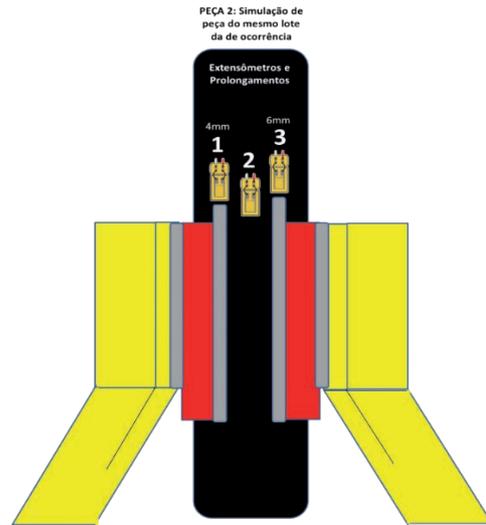
**Figura 17: Esquema da Peça de simulação 1, nas condições da peça de ocorrência.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 17 apresenta o esquema da parte inferior em relação à aplicação de carga, com prolongamentos de 0 e 2mm, de acordo com a condição encontrada na peça de ocorrência. Extensômetros elétricos foram colocados nas posições 1 (0mm), 2 (sem cordão) e 3 (2mm), a fim de medir a microdeformação na região do contorno e relacioná-la com a força aplicada sobre a região (pressão em MPa).

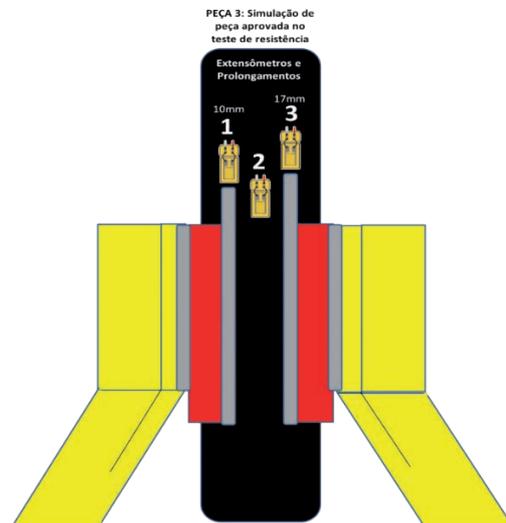
**Figura 18: Esquema da Peça de simulação 2, nas condições encontradas em peça do mesmo lote da peça de ocorrência.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 18 apresenta o esquema da parte inferior em relação à aplicação de carga, com prolongamentos de 4 e 6mm, de acordo com a condição encontrada em peças do mesmo lote da peça de ocorrência. Extensômetros elétricos foram colocados nas posições 1 (4mm), 2 (sem cordão) e 3 (6mm), a fim de medir a microdeformação na região do contorno e relacioná-la com a força aplicada sobre a região (pressão em MPa).

**Figura 19: Esquema da Peça de simulação 3, nas condições de peças aprovadas no teste de resistência.**

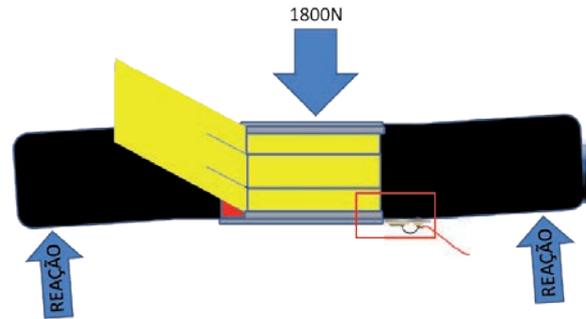


Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 19 apresenta o esquema da parte inferior em relação à aplicação de carga, com prolongamentos de 10 e 17mm, de acordo com a condição encontrada em peças aprovadas no teste de resistência. Extensômetros elétricos foram colocados nas posições 1 (10mm), 2 (sem cordão) e 3 (17mm), a fim de medir a microdeformação na região do contorno e relacioná-la com a força aplicada sobre a região (pressão em MPa).

A Figura 20 apresenta, de forma esquemática, a posição do extensômetro na vista lateral da junta.

Figura 20: Esquema da posição do extensômetro na vista lateral da junta.



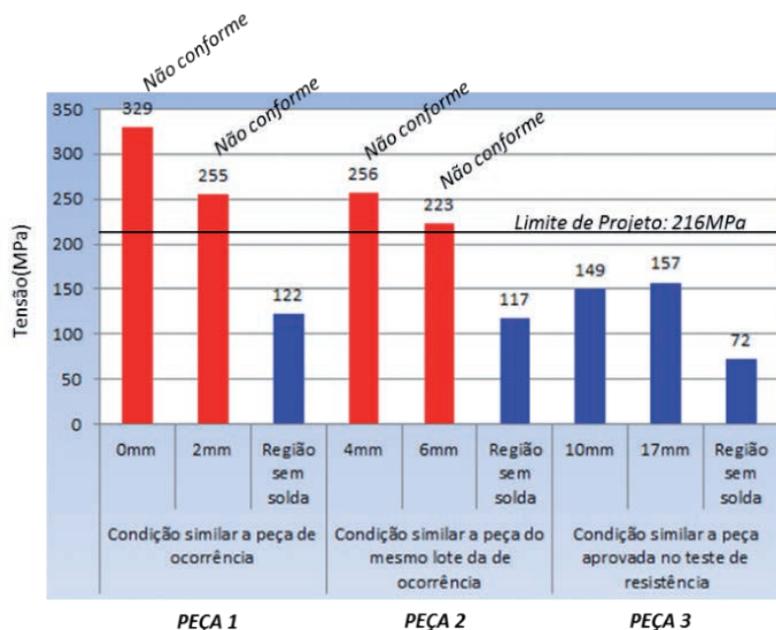
Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2: Resultados do teste de resistência.

PEÇA	Prolongamento do cordão de solda	Posição do extensômetro	Tensão máx. (MPa)		Laudo
			Projeto	Encontrada (Teste)	
1	0mm	1	216	329	RUIM
	Região sem solda	2		122	BOM
	2mm	3		255	RUIM
2	4mm	1		256	RUIM
	Região sem solda	2		117	BOM
	6mm	3		223	RUIM
3	10mm	1		149	BOM
	Região sem solda	2		72	BOM
	17mm	3		157	BOM

Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 1: Resultado do teste de resistência nas condições de ocorrência.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se que as condições de 0, 2, 4 e 6mm de prolongamento apresentaram tensão máxima acima do limite de projeto, que é de 216MPa. A Peça 1 apresentou quebra na região inferior da junta após 21.565 ciclos, e a Peça 2 apresentou quebra após 51.680 ciclos. A Peça 3 suportou o teste de resistência após 250.000 ciclos. As peças 1 e 2 sofreram quebra com característica similar à da peça de ocorrência, ou seja, 4mm de distância do reforço. Apesar de o limite de escoamento do aço estrutural ao carbono DIN ST52-3 (especificado pelo fabricante, baseado em norma) ser de 355MPa, está estabelecida no projeto da estrutura uma tensão admissível de, no máximo, 216MPa, isso provavelmente devido à aplicação de coeficiente de segurança, principalmente por tratar-se de união dos elementos por soldagem; ou pode ter sido estabelecido experimentalmente – o projetista japonês não revela (trata-se de “*know-how*”) como foi especificada a tensão máxima de projeto. Contudo, através do experimento realizado, o valor estabelecido de 216MPa é totalmente consistente e adequado à realidade.

A análise experimental de tensões utilizando extensometria evidenciou a concentração de tensão no contorno do cordão de solda nas condições de reduzido prolongamento (2, 4 e 6mm) ou prolongamento inexistente (0mm). O teste mostra ainda que, na região sem solda, mesmo que seja ponto próximo a 0mm, não há concentração de tensão, tendo como fator decisivo o contorno do cordão. A Peça 3 apresentou uma condição mais favorável de distribuição da tensão no contorno do cordão, tendo limites máximos abaixo do limite de projeto.

Conclui-se que a causa da quebra na peça de ocorrência, após 19.775 ciclos, ocorreu devido à concentração de tensão causada pela inexistência de prolongamento do cordão de solda em região de tração e compressão das fibras.

## PROPOSTA DE MELHORIA

### Prolongamento do cordão de solda

A quebra ocorreu na parte inferior da junta, próximo ao contorno das terminações dos dois cor-

dões de solda que unem os reforços ao tubo principal, seccionando, assim, de baixo para cima, o tubo principal. Não foi verificado nenhum problema de subdimensionamento ou sobrecarga, até porque o problema foi detectado em teste de resistência em laboratório. Na etapa de análise do processo de soldagem, foi verificada uma diferença significativa e casual nas terminações das peças em processo, o que alavancou a hipótese de influência no problema. Ao checar as peças, percebeu-se a diferença da peça de ocorrência para as demais e, imediatamente, constatou-se a necessidade de realizar testes que evidenciassem a influência dessas diferenças e pudessem relacioná-las ao problema de quebra ocorrido. Os testes de extensometria comprovaram as hipóteses de influência na diferença de prolongamento e mostraram que o prolongamento ou a falta dele influenciavam na concentração ou não das tensões. Pelo teste, a inexistência de prolongamento, caso particular estudado, concentra as tensões no contorno da terminação do cordão de solda, e, em contraposto, um prolongamento a partir de 10mm distribui as tensões, no nível de projeto, eliminando o problema. Dessa forma, a proposta foi exatamente aproveitar o processo de soldagem e aplicar prolongamentos de 10mm nos dois cordões da parte inferior da junta, que unem o reforço ao tubo principal.

## TESTES COM PROTÓTIPOS

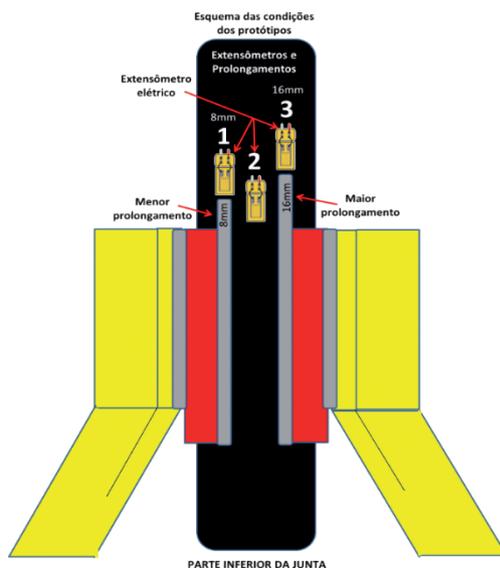
De acordo com o que foi verificado no dimensional dos prolongamentos de 100 peças do *try out* realizado nas mesmas condições de processo, foram analisadas cada combinação de prolongamento e estabelecidos critérios que avaliassem várias condições, entre elas: menor prolongamento, maior prolongamento, maior amplitude entre os menores, maior amplitude entre os maiores e maior frequência. Dessa forma, foram selecionadas, dentre a amostra protótipo (100 peças) 7 peças (peças 10, 13, 16, 19, 30, 67 e 71), ou seja, 7% estão representando as condições de prolongamento da amostra.

**Quadro 3: Condições de prolongamento das peças selecionadas para o teste.**

PEÇA	PROLONGAMENTO INFERIOR (mm)		LAUDO	CRITÉRIO DE SELEÇÃO
	LADO DIR.	LADO ESQ.		
	Operador 1	Operador 2		
10	10	9	RUIM	Menor prolongamento
13	8	8	RUIM	Menor prolongamento
16	12	11	BOM	Maior frequência
19	16	14	BOM	Maior prolongamento
30	11	9	RUIM	Maior amplitude dentre os menores
67	15	13	BOM	Maior amplitude dentre os maiores
71	9	8	RUIM	Menor prolongamento

Fonte: Elaborado pelos autores.

As condições dos testes com os protótipos são as mesmas da análise experimental de tensões nas condições de ocorrência, em que três extensômetros elétricos foram fixados nos contornos das terminações dos cordões de solda das peças, conforme esquema indicado na Figura 21.

**Figura 21: Esquema das condições de prolongamento das amostras (protótipos) e posição dos extensômetros nos testes.**

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 21 é o esquema da vista da parte inferior da junta com as condições de prolongamento. As 7 peças indicadas no Quadro 4 foram submetidas

ao teste de resistência com 250.000 ciclos, considerando a carga máxima de projeto, que é de 1.800N, especificamente para essa junta com duas reações de apoio (Figura 14). O teste avalia a resistência da junta à fadiga, sendo aplicado numa velocidade de 30 ciclos por minuto, de forma ininterrupta, em temperatura ambiente entre 25~30°C. A aplicação de carga ocorre na união dos tubos laterais com o tubo principal, na parte superior da junta. Os extensômetros fixados às peças captam as microdeformações dos contornos dos prolongamentos dos cordões de solda onde as fibras são tracionadas e comprimidas em cada ciclo, existindo uma deformação elástica do material. A microdeformação gerada pela solicitação mecânica da peça altera a resistência do sinal elétrico do extensômetro, então, o equipamento de coleta de dados faz uma relação do sinal elétrico com a força aplicada sobre aquela área em que o extensômetro está fixado.

## RESULTADOS

Uma análise experimental de tensões foi desenvolvida utilizando a extensometria, a fim de avaliar as diversas condições encontradas na construção de peças no processo produtivo. Peças com prolongamentos diferentes foram submetidas ao teste de resistência com os seguintes resultados:

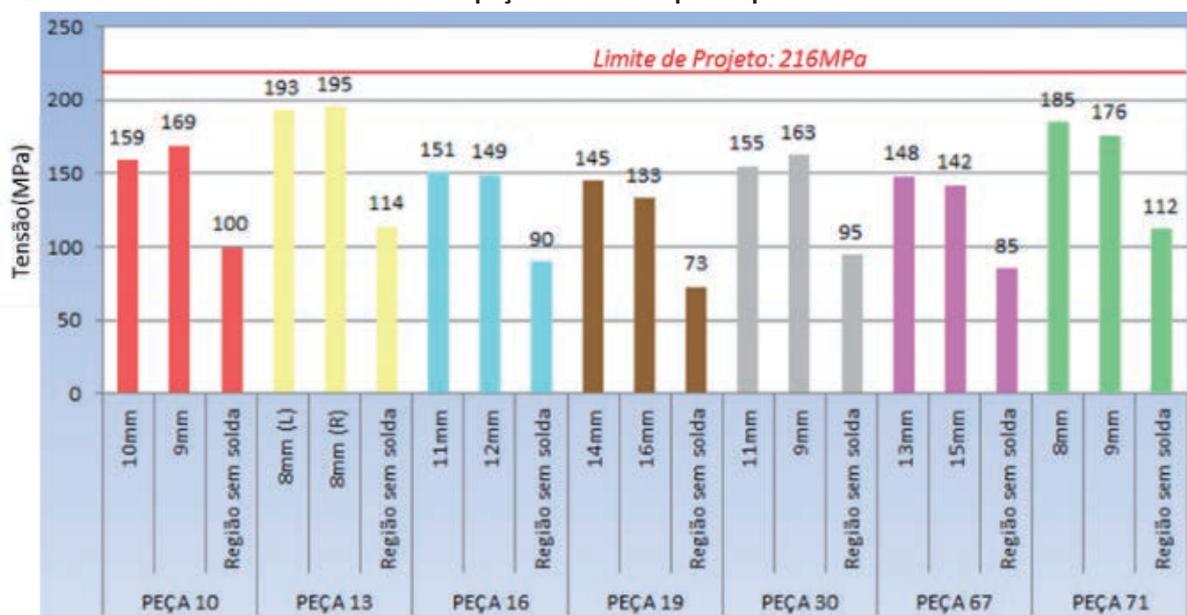
Quadro 4: Resultado do teste de resistência com peças da amostra protótipo.

PEÇA/CRITÉRIO DE SELEÇÃO		Prolongamento do cordão de solda	Posição do extensômetro	Tensão máx. (MPa)		Laudo
				Projeto	Encontrado (Teste)	
10	MENOR PROLONGAMENTO 1	10mm	1	216	159	BOM
		Região sem solda	2		100	BOM
		9mm	3		169	BOM
13	MENOR PROLONGAMENTO 2	8mm	1		193	BOM
		Região sem solda	2		114	BOM
		8mm	3		195	BOM
16	MAIOR FREQUÊNCIA	12mm	1		149	BOM
		Região sem solda	2		90	BOM
		11mm	3		151	BOM
19	MAIOR PROLONGAMENTO	16mm	1		133	BOM
		Região sem solda	2		73	BOM
		14mm	3		145	BOM
30	MAIOR AMPLITUDE DENTRE OS MENORES	11mm	1		155	BOM
		Região sem solda	2		95	BOM
		9mm	3		163	BOM
67	MAIOR AMPLITUDE DENTRE OS MAIORES	15mm	1	142	BOM	
		Região sem solda	2	85	BOM	
		13mm	3	148	BOM	
71	MENOR PROLONGAMENTO 3	9mm	1	176	BOM	
		Região sem solda	2	112	BOM	
		8mm	3	185	BOM	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Abaixo, são apresentados os dados do Quadro 4 de forma gráfica:

Gráfico 2: Resultado do teste de resistência com peças da amostra protótipo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se, inicialmente, que, em nenhuma das condições de prolongamento, houve valores de tensão acima da faixa de projeto, que é 216Mpa; mesmo os prolongamentos com 8 e 9mm, condições menores que o padrão estabelecido, de 10mm, ficaram acima do limite de projeto. Verificou-se, também, que houve uma relação de decréscimo da tensão com o aumento do prolongamento, como se verifica na sequência:

8mm=195MPa (menor prolongamento = maior tensão);  
9mm=176Mpa;  
10mm=159Mpa;  
11mm=155Mpa;  
12mm=149Mpa;  
13mm=148Mpa;  
14mm=145Mpa;  
15mm=142Mpa;  
e 16mm=133MPa.

Verificou-se, anteriormente, na análise experimental de tensões nas condições de ocorrência, que os prolongamentos com 6mm e menores não atendem à tensão de projeto (conforme o Gráfico 1 – Resultado do teste de resistência nas condições de ocorrência). Dessa forma, a amostra protótipo atendeu à tensão máxima de projeto, contudo, estabeleceu-se que o padrão de prolongamento seria de 10mm, com uma tolerância de -2mm, ou seja, 8mm, de acordo com o que foi constatado nos testes de resistência das peças protótipos.

Devido à dificuldade operacional em se manter uma repetibilidade em torno de 10mm, criou-se uma marca de referência no tubo principal, posição na qual o prolongamento deveria chegar. Essa referência visual para a aplicação do prolongamento beneficiou tanto o soldador quanto o inspetor de processo, pois, visualmente, eles poderiam verificar o padrão mínimo de 10mm, já que esse deve cobrir a marca. Dessa forma, pode-se dizer que 100% das peças passam por uma inspeção visual, tanto do próprio soldador quanto do inspetor de processo.

Por fim, foi incluído no projeto/desenho da estrutura o prolongamento mínimo de 10mm.

Atualmente, estuda-se a possibilidade de alteração do projeto da junta na região e posição do reforço com o objetivo de não depender do prolon-

gamento do cordão para garantir tensões abaixo do limite do projeto.

## CONCLUSÃO

Foi constatado, através da análise instrumental (extensometria), que, para o caso em estudo, havia significativa concentração de tensão, acima do limite de projeto, no contorno do cordão de soldagem em condições de prolongamento mínimo, o que ocasionou a quebra do tubo principal da junta “Y” na estrutura tubular durante teste de resistência com carga máxima de projeto. O processo de fabricação indicou uma diferença significativa nos prolongamentos de cordão, ocorrendo de forma ocasional, não existindo padrão definido. Através dos testes, ficou estabelecida uma relação inversa entre os cumprimentos dos prolongamentos e as tensões encontradas na região da quebra, sendo verificado que, ao se aumentar o prolongamento, as tensões nos contornos eram reduzidas a níveis menores do que os limites máximos de projeto. A fim de satisfazer as condições de projeto, estabeleceu-se um padrão de prolongamento entre 8 e 10mm, sendo que, abaixo desse limite, os prolongamentos não distribuem as tensões no nível de projeto, podendo causar a quebra da estrutura em serviço, como ocorreu com o prolongamento de 6mm no teste de resistência. Uma série de medidas de controle foram estabelecidas, a fim de manter a fabricação das peças com os prolongamentos mínimos que atendam ao padrão (10mm -2), entre elas, destacam-se a inclusão das ações no padrão de processo, *checklist* de cordões de solda, padrão visual de inspeção, desenho do produto e uma marca de referência no tubo principal, indicando até que ponto o cordão deve ser prolongado.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, observando-se que o prolongamento foi eficiente para distribuir e reduzir as tensões concentradas no contorno do cordão de soldagem para o caso em estudo. Propõe-se que, em condições similares de projeto e solitação mecânica, a referida abordagem possa ser aplicada com sucesso, desde que realizados os estudos preliminares.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. L. **Fracture mechanics: fundamentals and applications**, CRC Press, 1995.
- CARY, H. B. **Modern Welding Technology**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1979.
- CETLIN, P. R.; Silva, P. S. **Análise de fraturas**. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1978.
- DALLY, James, W.; RILLEY, William F. **Experimental Stress Analysis**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1978.
- DALLY, James W.; RILLEY, William Fg.; McCONNELL, Kenneth.G. **Instrumentation for Engineering Measurements**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, INC, 1993.
- DRAPINSKI, J. **Elementos de soldagem**. Mc Graw-Hill, São Paulo, 1978.
- GARWOOD, S. J. **Investigation of the MV Kurdistan Casualty, Engeneering Failure Analysis**, v. 1, p. 4, 1997.
- GETMANETS, S. M.; KORINETS, J. F. **Gas-Shielded Welding (Instructions for Laboratory Work)**. Kiev (Ucrânia), Naukova Dumka, 1983.
- HOLLISTER, G. S. **Experimental Stress Analysis: Principles and methods**. New York: Cambridge University Press, 1967.
- KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS COMPANY LTD. **Strain gage Instruction Manual**. Tokio:1986.
- MARQUES, P. V. **Tecnologia da soldagem**. ESAB, Belo Horizonte, 1991.
- MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de soldagem e aplicações**. LTC, Rio de Janeiro, 1982.
- PERRY C. C.; LISSNER, H. R. **The Straingage Primer**. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1955.
- QUITES, A. M.; Dutra, J. C. **Tecnologia da soldagem a arco voltaico**. Edeme, Florianópolis, 1979.

---

## DADOS DOS AUTORES



**João Cláudio Ferreira Soares** – Graduado em Engenharia Mecânica (ULBRA-2013), possui Mestrado em Engenharia de Produção (UMinho-2012), Especialização em Engenharia de Qualidade (UGF-2009) e Tecnologia Mecânica (UEA-2006). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Produção Industrial, Projeto de Produtos, Processos e Equipamentos, Controle e Gestão de Qualidade, Análise de Falhas e Planejamento e Controle da Manutenção. Experiências profissionais mais relevantes: coordenador e professor do Curso de Engenharia Mecânica na ULBRA Manaus (atual, desde 2014); professor de Pós-Graduação no IDAAM (2014); coordenador de Grupo Técnico e Manutenção na Moto Honda da Amazônia (2013-2014); líder de projetos na Moto Honda da Amazônia (2008-2014).



**Frederico Nicolau Cesarino** – Doutorando em Sociedade e Cultura pela Universidade Federal do Amazonas (PPGSCA-UFAM). Mestre em Sociologia pela Universidade Federal do Amazonas. Especialista em Educação. Graduado em Engenharia Mecânica e licenciado em Matemática pela Universidade Estadual do Amazonas. Professor da Universidade Luterana do Brasil, campus Manaus. Engenheiro de Manutenção Mecânica da Eletrobras Amazonas Energia. Desenvolve pesquisas nas seguintes áreas: História do setor elétrico no Amazonas, relações trabalhistas do setor elétrico, impactos sociais e ambientais de usinas térmicas, interações entre o ambiente urbano e o ambiente rural.

# GEOMETRIA DESCRITIVA, MATEMÁTICA E COMPUTAÇÃO GRÁFICA PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE TELHADOS

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p45-52

José Luís Farinatti Aymone<sup>1</sup>

## RESUMO

Este artigo apresenta dois problemas de cálculo da área de telhados. Para a solução, são utilizados conhecimentos de geometria descritiva, matemática e computação gráfica. Os resultados obtidos com os diferentes métodos são comparados e analisados. É feita uma estimativa do número de telhas. Os conhecimentos de matemática utilizados são conteúdos do Ensino Médio. A modelagem em computação gráfica é feita de forma simples e pode ser disponibilizada aos alunos, que podem, assim, obter automaticamente a área dos telhados e observar outra forma de solucionar o problema. A proposição de problemas reais de engenharia na disciplina de graduação Geometria Descritiva vem sendo utilizada com sucesso em sala de aula. Os resultados dos alunos nas avaliações mostram uma melhora no desempenho, além de um maior interesse pela disciplina.

**Palavras-chave:** Geometria descritiva; engenharia; telhados; computação gráfica.

## ABSTRACT

### DESCRIPTIVE GEOMETRY, MATHEMATICS AND GRAPHIC COMPUTER FOR CALCULATING THE AREA OF ROOFS

This paper presents two problems for calculating the area of roofs. Descriptive Geometry, Mathematics and Graphic Computer are used for solution. The results obtained with the different methods are compared and analyzed. An estimate of the number of tiles is made. The mathematics content used is learned in high school. The CAD model is simple, and can be made available to students. Thus, students can automatically obtain the area of roofs and observe another way to solve the problem. The proposition of real engineering problems in Descriptive Geometry undergraduate course has been used successfully in the classroom. Student results on assessments show an improvement in performance, and a greater interest in the course.

**Keywords:** Descriptive geometry; engineering; roof; computer graphics.

## INTRODUÇÃO

Segundo Hawk (1962), a Geometria Descritiva (GD) é a solução gráfica de problemas espaciais envolvendo ponto, reta e plano. Rowe (1939) ressalta que os alunos que resolvem problemas práticos através da GD têm mais interesse pela disciplina e percebem melhor a aplicabilidade dos conceitos ministrados.

A Geometria Descritiva é uma disciplina normalmente ministrada no primeiro semestre dos cursos de engenharia. Os currículos dos cursos de engenharia, nos dois primeiros anos, contêm disciplinas de formação que, às vezes, não apresentam uma relação com a prática profissional.

Foi feita uma pesquisa na Internet, utilizando o Portal Hathitrust (HATHITRUST, 2014), em mais de cinquenta livros estrangeiros, e observou-se, nos

<sup>1</sup> Professor Associado, Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; aymone@ufrgs.br

três livros aqui citados (HAWK, 1962; ROWE, 1939; CHERRY, 1933), diversas aplicações da GD para a engenharia. Cherry (1933) mostra o conceito de interseção entre reta e plano, através de um cabo que atravessa um telhado; Rowe (1939) traz um exemplo de obtenção da perspectiva axonométrica de uma pirâmide pentagonal como uma aplicação do método descritivo da mudança de plano de projeção; e Hawk (1962) propõe problemas nos quais se pede a verdadeira grandeza (VG) de barras de torres de transmissão de energia. Também apresenta o caso de projeto de um ramal de comunicação entre tubulações, tratando-se da distância entre retas reversas. O problema de obtenção da VG de um telhado de quatro águas é mostrado em Hawk (1962).

Esses livros procuram inventar problemas, de modo a facilitar a compreensão e mostrar as possibilidades de aplicação da GD. Esse enfoque vai ao encontro da proposta de Aravena-Reyes (2014), que entende a problematização como uma tarefa inventiva, em que o enunciado deve “esgotar o problema como ponto de partida para convertê-lo em referência de transformação da realidade”.

A maioria dos livros de Geometria Descritiva do Brasil (BORGES *et al.*, 1998; MACHADO, 1969; PRINCIPE Jr., 1983) apresenta problemas abstratos envolvendo ponto, reta e plano. Não se encontrou casos que exemplifiquem uma contextualização das possíveis aplicações da GD em engenharia.

Este trabalho apresenta a solução do problema de dois telhados. O primeiro telhado tem duas águas (faces). Utilizando a GD, obtém-se a VG do telhado e calcula-se a sua área através da geometria plana. Empregando uma fórmula simplificada, disponível na Internet, faz-se o cálculo da área do telhado de duas águas. Essa fórmula funciona apenas em faces retangulares e leva em conta a sua inclinação (ângulo da face do telhado em relação ao plano horizontal de projeção). A inclinação é um parâmetro de projeto importante, pois dela depende o bom escoamento da água. O problema é também modelado em 3D

no AutoCAD 2012 (KATORI, 2013), *software* bastante difundido para projetos em engenharia. Comparam-se os valores de área obtidos através da GD, da fórmula simplificada e do AutoCAD. Após isso, faz-se uma estimativa do número de telhas, através de fórmulas disponibilizadas pelos fabricantes.

Já o segundo telhado tem quatro águas, e é similar ao apresentado em Hawk (1962). Nesse tipo de telhado, a fórmula simplificada para o cálculo da área não funciona, pois as águas não são retangulares. Através da GD, no entanto, obtém-se a VG do telhado. Calcula-se a sua área utilizando-se a fórmula de Heron, da geometria plana, para triângulos. Os valores de área são cotejados com os obtidos através do AutoCAD em 3D para se comparar a precisão das técnicas.

No presente caso, a implementação de problemas práticos de engenharia em sala de aula foi iniciada no primeiro semestre de 2013 (AYMONNE, 2014), na disciplina Geometria Descritiva II-A, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Não são necessárias adaptações significativas no conteúdo, sendo que os livros citados (CHERRY, 1933; HAWK, 1962; ROWE, 1939) apresentam a abordagem tradicional e complementam os temas com as situações reais.

## TELHADO DE DUAS ÁGUAS

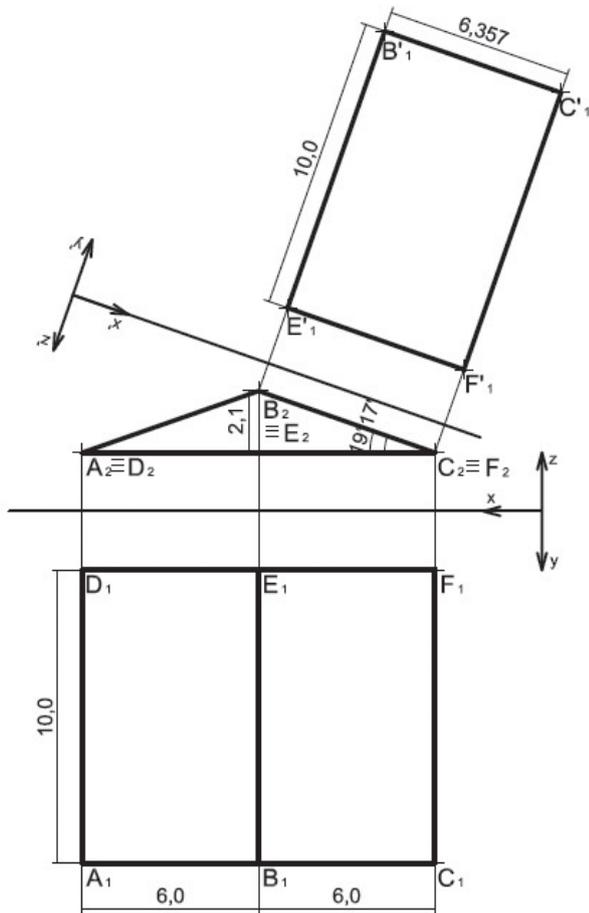
Os telhados são um caso facilmente compreendido pelos alunos, pois telhados estão muito presentes nas cidades, sendo os telhados de duas águas bastante comuns em casas.

Neste item, é apresentada a obtenção da área do telhado através da GD, de fórmula simplificada e do AutoCAD 2012. Além disso, é feita a estimativa do número de telhas para cobri-lo.

## Resolução através da GD

O telhado proposto tem duas águas retangulares iguais, e sua é pura está na Figura 1. Assim, o cálculo será feito para uma água e depois multiplicado por dois.

Figura 1: Telhado de duas águas: é pura



Fonte: elaboração do autor.

Considere-se largura de um vão de 6 metros. O comprimento do pano, ou “fiada”, é de 10 metros. A altura da cumeeira é 2,1m, sendo a inclinação do telhado *I* dada pela Equação (1):

$$I(\%) = \frac{2,1}{6,0} \times 100 = 35\% \quad (1)$$

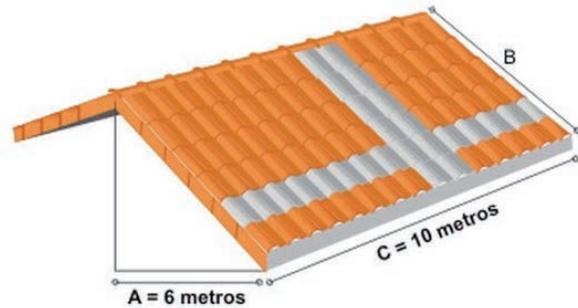
A face BCFE do telhado é um plano de topo, acumulado na projeção frontal (*xz*). Para se obter a sua VG, coloca-se uma nova linha de terra paralela à projeção frontal da face em  $B_2C_2F_2E_2$ . Em seguida, transferem-se os afastamentos (*y*) da projeção horizontal em  $B_1C_1F_1E_1$  para (*y'*) e chega-se à VG da face em  $B'_1C'_1F'_1E'_1$ .

Como o telhado é retangular, para a obtenção da área em VG de uma água do telhado, basta multiplicar a largura em VG (6,357m) pelo comprimento (10,0m). Assim, a área em VG de uma água é 63,57m<sup>2</sup> e a área total é 127,14m<sup>2</sup>.

### Resolução por fórmula simplificada

Diversos *sites* de fabricantes de telhas disponibilizam uma fórmula simplificada para o cálculo da área de telhados retangulares (KARINA TELHAS, 2014; ACEMC, 2014). Essa fórmula leva em conta a largura de um vão (*A*), o comprimento do pano (*C*) e a inclinação do telhado (Figura 2). Para um bom desempenho das telhas, a inclinação mínima deve ser aproximadamente 30%. Serão utilizados os mesmos dados apresentados na Figura 1.

Figura 2: Telhado de duas águas: fórmula simplificada.



Fonte: <<http://www.acemc.com.br/informacoes-tecnicas/calculo-de-consumo/>>.

Para a obtenção da área de uma água, inicialmente, calcula-se a área em planta, sem considerar a inclinação. Para isso, basta multiplicar *A* (6m) por *C* (10m) e obtém-se 60m<sup>2</sup>. A correção da área em função da inclinação é feita através de um fator de correção (F.C.), com base na Tabela 1.

Tabela 1: Fator de correção pela inclinação.

%	ÂNGULO (GRAUS)	F. C.
< 30%	FORA DE NORMA	
30%	16°42'	1,044
31%	17°13'	1,047
32%	17°44'	1,050
33%	18°15'	1,053
34%	18°46'	1,056
35%	19°17'	1,059
36%	19°48'	1,063
37%	20°18'	1,066
38%	20°48'	1,070
39%	21°18'	1,073
40%	21°48'	1,077

Fonte: <http://www.acemc.com.br/informacoes-tecnicas/calculo-de-consumo/>

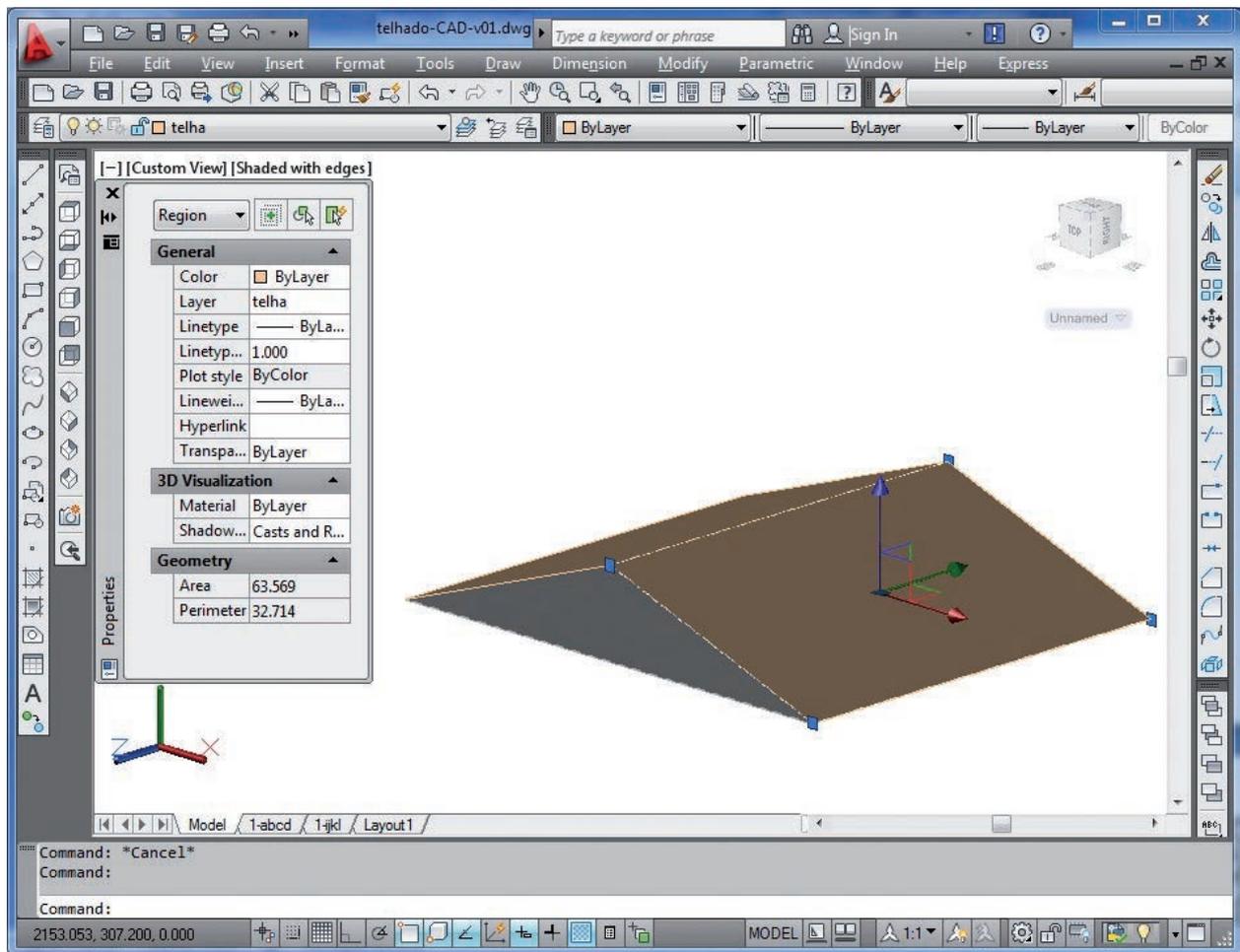
Para a inclinação de 35%, o F.C. é 1,059. Assim, a área real de uma água fica  $60\text{m}^2 \times 1,059 = 63,54\text{ m}^2$  e a área total é  $127,08\text{ m}^2$ , próxima do valor obtido através da GD,  $127,14\text{m}^2$ . Observa-se que a forma de cálculo é simples, podendo ser explicada aos alunos sem maiores dificuldades.

#### Resolução através do AutoCAD

O *software* AutoCAD 2012 permite a modelagem em 3D do telhado e o cálculo automático da área. Para a utilização, pelos alunos, pode-se fornecer o modelo em 3D pronto, solicitando apenas a obtenção da área para fins comparativos. O AutoCAD 2012 possui uma versão para estudantes, que pode ser baixada gratuitamente (AUTODESK, 2014).

A Figura 3 mostra o telhado no AutoCAD 2012. A modelagem é feita através de linhas (comando Line), que são transformadas em uma área fechada, através do comando “Region”, ou Região (KATORI, 2013). Esse comando fornece a área automaticamente. Para isso, seleciona-se a face do telhado na tela e clica-se o botão da direita do mouse, escolhendo as propriedades, em “Properties”. A área de uma água é  $63,569\text{ m}^2$  e a área total fica, portanto, em  $127,138\text{ m}^2$ . Esse valor é praticamente o mesmo obtido através da GD ( $127,14\text{m}^2$ ) e próximo à área calculada pela fórmula simplificada ( $127,08\text{ m}^2$ ).

Figura 3: Telhado de duas águas: Comando Region do AutoCAD



Fonte: Tela do *software* com elaboração do autor.

### Número de telhas

Para a estimativa do número de telhas, escolheu-se a Top Telha Mediterrânea M14 (ACEMC, 2014). Ela tem um consumo de 13,7 telhas por metro quadrado. Considerando uma quebra média de 5%, o número de telhas calculado utilizando a área obtida através da GD e do AutoCAD é:

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ telhas} &= 127,14 \text{ m}^2 \times 13,7 \text{ telhas/m}^2 = \\ &1.742 \times 1,05 \text{ quebra} = 1.833 \text{ telhas} \end{aligned} \quad (2)$$

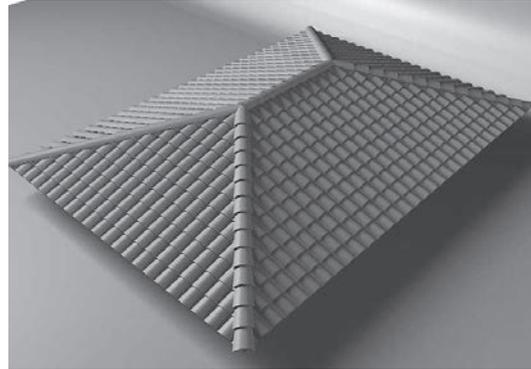
Utilizando a fórmula simplificada, o número de telhas é 1.828, uma diferença (pequena) de 5 telhas em relação ao valor obtido através da GD e do AutoCAD. Faltaria ainda calcular as telhas das arestas do telhado (como beirais e espigões). Para isso, seria necessário obter a VG dessas arestas e multiplicar pelo consumo específico de cada peça, o que não será detalhado aqui.

### TELHADO DE QUATRO ÁGUAS

O telhado de quatro águas também é um caso real bastante comum (Figura 4). Como se pode observar, duas faces são triangulares e duas trapezoidais. Assim, não é possível utilizar a fórmula simplificada de cálculo da área do item 2.2, que só funciona em faces retangulares. Isso demonstra o

diferencial que o conhecimento de GD proporciona para a solução de problemas reais. Neste item, o cálculo do telhado será resolvido através da GD e do software AutoCAD 2012.

Figura 4: Foto de um telhado de quatro águas

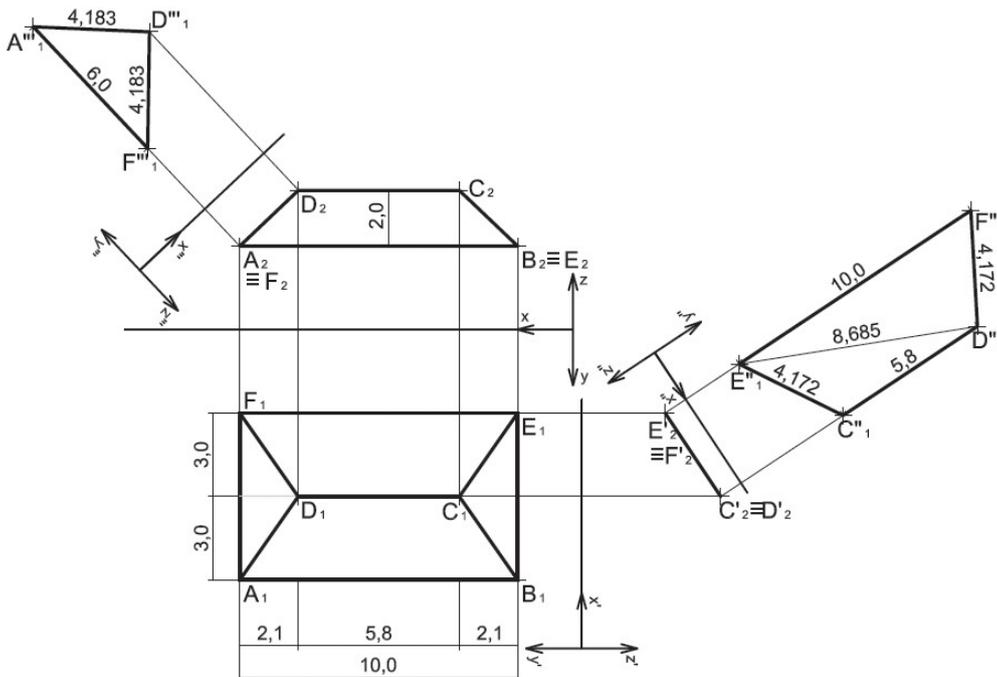


Fonte: <<http://www.pedreiroao.com.br/telhados-e-forros/>>.

### Resolução através da GD

O telhado de quatro águas tem 6m de largura e 10m de comprimento e é similar ao apresentado em Hawk (1962, p. 37). O telhado possui dois tipos de faces que se repetem. Para calcular a área do telhado, é necessário obter a VG das faces DCEF e ADF (Figura 5) e, depois, multiplicar por dois.

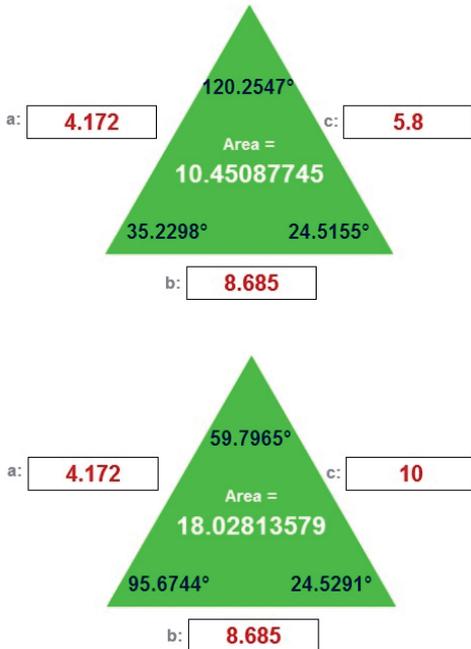
Figura 5: Telhado de quatro águas: épura



Fonte: Elaboração do autor.

A área pode ser calculada manualmente através das equações (3) e (4), mas, na Internet, há *sites* que possibilitam o cálculo de forma automática. Neste trabalho, utiliza-se o *site* “Math is fun” (MATHIS-FUN, 2014). Para isso, basta colocar os valores a, b e c nos campos apropriados. A Figura 7 mostra a área da face  $D''_1C''_1E''_1F''_1$ . Como ela é uma face trapezoidal (de quatro lados), é necessário dividi-la em duas partes, o que é feito através da reta  $D''_1E''_1$  (cf. Figura 5). Na Figura 7, a primeira imagem representa o triângulo  $D''_1C''_1E''_1$  e a segunda é o triângulo  $D''_1E''_1F''_1$ .

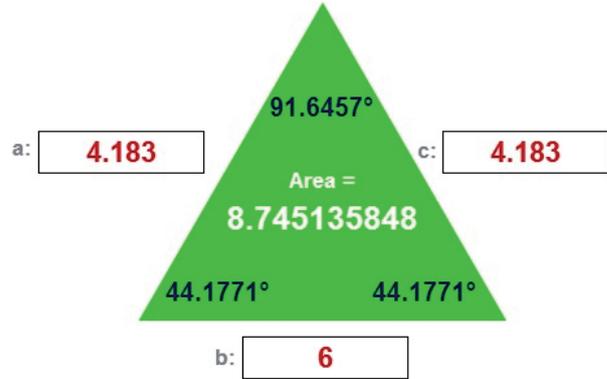
Figura 7: Área dos triângulos DCE e DEF.



Fonte: <<http://www.mathsisfun.com/geometry/herons-formula.html>>.

A área da face DCFE é dada pela soma de 10,451 e 18,028, totalizando 28,479m<sup>2</sup>. Já a área da face ADF está representada na Figura 8, e fica em 8,745m<sup>2</sup>.

Figura 8: Área do triângulo ADF.



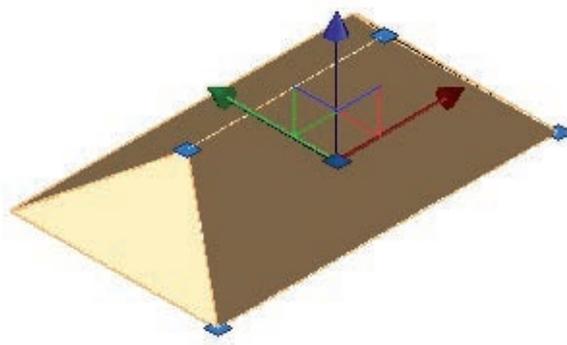
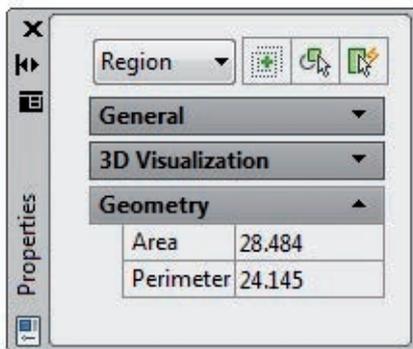
A área total do telhado é calculada pela Equação (5):

$$\text{Área total} = 2x (\text{Área DCFE} + \text{Área ADF}) = 2x (28,479 + 8,745) = 74,448\text{m}^2 \quad (5)$$

### Resolução através do AutoCAD

As faces do telhado novamente são modeladas através de linhas (comando Line) e transformadas em uma área fechada, com o comando “Region”. Verificando as propriedades, ou “Properties”, da Região, tem-se a área do telhado. A Figura 9 mostra o telhado de quatro águas no AutoCAD 2012 e a área da face DCFE, que é 28,484m<sup>2</sup>, próximo ao valor obtido pela GD, 28,479m<sup>2</sup>.

Figura 9: Área da face DCFE.



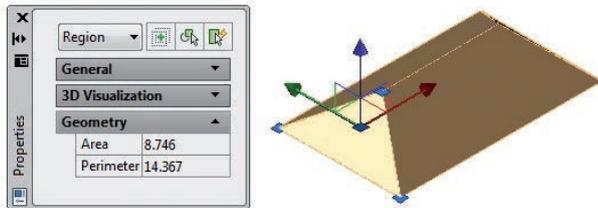
Fonte: Elaboração do autor.

A Figura 10 contém a área da face ADF, que é  $8,746\text{m}^2$ , muito próximo ao valor obtido através da GD,  $8,745\text{m}^2$ .

A área total do telhado é obtida através da Equação (6):

$$\text{Área total} = 2x (\text{Área DCFE} + \text{Área ADF}) = 2x (28,484 + 8,746) = 74,46\text{m}^2 \quad (6)$$

Figura 10: Área da face ADF.



Fonte: Elaboração do autor.

A área total do telhado calculada através da GD é  $74,448\text{m}^2$  e pelo AutoCAD fica em  $74,46\text{m}^2$ . Essa diferença ocorre devido à precisão numérica utilizada, e é bem pequena:  $0,012\text{m}^2$  ou menos de  $0,02\%$ . Isso demonstra a precisão oferecida tanto pela GD quanto pelo AutoCAD.

Deve-se lembrar que a execução do telhado também está sujeita à imprecisão e à quebra de material. Para uma quebra de  $5\%$  das telhas, a área total (sem considerar beirais e espigões) é  $74,46$  multiplicado por  $1,05$ , ou seja,  $78,183\text{m}^2$ . Observa-se, então, que os métodos apresentados trazem resultados próximos e confiáveis para o cálculo do número de telhas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o cálculo da área de telhados utilizando conhecimentos de geometria descritiva, matemática e computação gráfica, conectando as diversas áreas.

Os resultados demonstram a precisão e a facilidade de utilização da geometria descritiva, da fórmula de Heron e do *software* AutoCAD 2012 para o cálculo da área de telhados. A fórmula simplificada para o cálculo da área funciona apenas para telhados retangulares. O exercício de projeto envolve conhecimentos de geometria plana, que os alunos de engenharia já aprenderam no Ensino Médio, sendo, portanto, exequível.

Os problemas reais empregando geometria descritiva foram introduzidos em sala de aula na UFRGS, em 2013, para as turmas dos cursos de diversas engenharias (Civil, Mecânica, Elétrica, Produção, Cartográfica, Minas, Metalúrgica, de Materiais). A sua implementação necessita poucas adaptações no conteúdo. Os livros consultados (CHERRY, 1933; HAWK, 1962; ROWE, 1939) apresentam a abordagem tradicional e complementam os temas com as situações reais. Utiliza-se na disciplina, como material de apoio, o *software* HyperCAL3D (TEIXEIRA e SANTOS, 2013). Esse *software* permite a modelagem de sólidos a partir das coordenadas dos pontos e da lista de faces.

Pode-se observar um maior interesse pela disciplina e uma melhora no desempenho. Foi feita uma análise dos resultados de 240 alunos por semestre, em relação à nota média e ao número de reprovações. A média geral aumentou de  $6,4$ , em 2012, para  $7,6$ , em 2013. A reprovação (média abaixo de  $6,0$ ), em 2012, foi  $21\%$ , e em 2013, caiu para  $13\%$ .

Outros casos reais vêm sendo preparados para a utilização em sala de aula.

## REFERÊNCIAS

- ACEMC. Associação dos Ceramistas de Monte Carmelo. **Cálculo de Consumo**. 2014. Disponível em: <<http://www.acemc.com.br/informacoes-tecnicas/calculo-de-consumo/>>. Acesso em: 22 out. 2014.
- ARAVENA-REYES, J. A. A problematização como invenção: fundamentos para a educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 33, n. 2, p. 65-71, 2014.
- AUTODESK. Education Community Software for Students. 2014. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/education/student-software>>. Acesso em: 22 out. 2014.
- AYMONE, J. L. F. Geometria descritiva aplicada à solução de problemas de arquitetura e engenharia. **Revista Educação Gráfica** (Online), v. 18, p. 134-151, 2014.
- BORGES, G. C. M.; BARRETO, D. G. O.; MARTINS, E. Z. **Noções de geometria descritiva: teoria e exercícios**. 7. ed. Porto Alegre: Sagra-dc Luzzatto, 1998.
- CHERRY, F. H. **Descriptive geometry**; an introduction to engineering graphics. New York: The Macmillan Co., 1933. Disponível em: <[http://hdl.handle.net/2027/uc1.\\$b45965](http://hdl.handle.net/2027/uc1.$b45965)>. Acesso em: 22 out. 2014.

HATHITRUST RESEARCH CENTER (United States of America). University of Michigan (Org.). **HathiTrust Digital Library**. 2014. Disponível em: <<http://babel.hathitrust.org/cgi/ls?field1=ocr;q1=descriptive+geometry;a=srchls;lmt=ft;sz=100>>. Acesso em: 22 out. 2014.

HAWK, M. C. **Schaum's outline of theory and problems of descriptive geometry**. New York: Schaum, 1962. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2027/coo.31924001595093>>. Acesso em: 22 out. 2014.

KARINA TELHAS. **Cálculos área de cobertura**. 2014. Disponível em: <<http://www.karinelhas.com.br/calculos.php>>. Acesso em: 22 out. 2014.

KATORI, R. **Autocad 2013** – modelando em 3D e recursos adicionais. São Paulo: Senac São Paulo, 2013.

MACHADO, A. **Geometria descritiva: noções fundamentais para uso dos alunos do curso científico e dos candidatos às Escolas Superiores – teoria-exercícios**. 18. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1969.

MATHISFUN. Heron's Formula. 2014. Disponível em: <<http://www.mathsisfun.com/geometry/herons-formula.html>>. Acesso em: 22 out. 2014.

PRINCIPE JUNIOR, A. R. **Noções de geometria descritiva** – v.1. São Paulo: NBL Editora, 1983.

ROWE, C. E. **Engineering descriptive geometry; the direct method for students, draftsmen, architects, and engineers**. New York: D. van Nostrand Company, Inc., 1939. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015000983802>>. Acesso em: 22 out. 2014.

TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L. HyperCAL3D, Um sistema inovador para auxílio ao processo de ensino de geometria descritiva. In: GRAPHICA 2013 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 10, 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2013. p. 1-13. Disponível em: <<http://graphica2013.ufsc.br/anais-2/>>. Acesso em: 22 out. 2014.

---

## DADOS DO AUTOR



**José Luís Farinatti Aymone** – Graduado em Engenharia Civil (1993, UFRGS); Mestre em Engenharia Civil na área de Estruturas (1996, UFRGS); Doutor em Engenharia Civil na área de Estruturas (2000, UFRGS). Professor Associado IV do Departamento de Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tendo ingressado em 1998. Na graduação, atua na disciplina Geometria Descritiva. Na Pós-Graduação, leciona na disciplina Design Virtual do PGDESIGN (UFRGS). Em pesquisa, atua principalmente nos temas: design virtual, projeto de artefatos, representação e modelagem, CAD (projeto auxiliado por computador), realidade virtual (VRML), visualização científica, interfaces gestuais e otimização do encaixe de peças. Orienta nos níveis de mestrado e doutorado.

# SISTEMAS CONSTRUTIVOS INDUSTRIALIZADOS NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA DO BRASIL

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p53-60

Ana Beatriz de Figueiredo Oliveira,<sup>1</sup> Henor Artur de Souza<sup>2</sup>

## RESUMO

Sistemas construtivos industrializados se caracterizam como uma alternativa eficiente à construção *in loco*. No entanto, seu uso no mercado brasileiro é pequeno se comparado ao seu potencial. Uma das razões dessa situação está na qualidade do ensino superior na questão da formação do aluno em construção industrializada. Este artigo tem como objetivo investigar a abordagem de sistemas construtivos industrializados nas matrizes curriculares dos cursos de graduação em engenharia civil e arquitetura no Brasil. Como método de pesquisa, utiliza-se a revisão bibliográfica com a conceituação do tema da industrialização da construção civil e a análise das matrizes curriculares de 284 universidades brasileiras, entre públicas e privadas. Como resultado, observou-se que o ensino sobre sistemas industrializados é deficiente ou até mesmo inexistente. Apenas 8% das faculdades de engenharia civil e 15% das faculdades de arquitetura possuem pelo menos uma disciplina exclusiva e obrigatória sobre esse tema. Desse modo, vê-se a necessidade de aperfeiçoar o ensino superior nas áreas de engenharia civil e arquitetura com a introdução de disciplinas sobre tecnologias construtivas voltadas à industrialização da construção.

**Palavras-chave:** Construção industrializada; ensino em engenharia civil; ensino em arquitetura e urbanismo.

## ABSTRACT

### INDUSTRIALIZED BUILDING SYSTEMS IN BRAZILIAN UNDERGRADUATE COURSES OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Industrialized building systems are efficient alternatives to conventional systems. In spite of this, its use is small in the Brazilian construction market compared to the potential of the system. One of the reasons for that is the quality of teaching industrialized construction in superior education. This paper aims to investigate the approach to the industrialized building systems in programs of undergraduate courses on civil engineering and architecture in Brazil. As a research method, it was made a literature review with theoretical context of industrialization and an analysis of the curriculums of 284 Brazilian universities. The result found on this research was a deficient or even non-existent approach of industrialized building systems in the universities analyzed. Only 8% of civil engineering colleges and 15% of architecture colleges have at least one exclusive and compulsory discipline that includes this subject. Therefore, it is necessary to improve programs of civil engineering and architecture colleges with the insertion of disciplines that deal with the issue of industrialized building technologies.

**Keywords:** Industrialized building system; education in civil engineering; education in architecture. INTRODUÇÃO

1 Arquiteta e urbanista, Mestre em Engenharia Civil – Universidade Federal de Ouro Preto – Campus Morro do Cruzeiro; anabeatrizfig@yahoo.com.br

2 Professor, Doutor, Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto – Campus Morro do Cruzeiro; henorster@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Diante da grande demanda por habitações, do crescimento do setor da construção civil e da busca por construções com menor impacto ambiental, os sistemas construtivos industrializados seriam uma opção lógica na escolha de profissionais e clientes para seus projetos. No entanto, no Brasil, grande parte das edificações são construídas com sistemas construtivos convencionais, ou seja, aqueles em que os processos são realizados principalmente dentro do canteiro de obras (BATISTA; GHAVAMI, 2005).

O cenário atual no Brasil se mostra propenso à ampliação e ao desenvolvimento do setor da pré-fabricação. Um fato é a grande demanda por habitações, principalmente para famílias de baixa renda, do programa social criado pelo governo federal “Minha Casa Minha Vida” (NRE, 2014). O país também está passando por grandes transformações de infraestrutura urbana, que são um reflexo da realização de importantes eventos internacionais, como é o caso das Olimpíadas, em 2016, e foi o caso da Copa das Confederações, em 2013, e da Copa do Mundo, em 2014. Além disso, existem diversos projetos auxiliares de obras viárias e urbanas, como é o caso do projeto Porto Maravilha, na cidade do Rio de Janeiro, que visa reestruturar a região portuária da cidade, atraindo, assim, novos empreendimentos (COMA, 2011).

No entanto, o mercado da construção civil ainda não absorveu todo o potencial da pré-fabricação (CBCA; ABCEM, 2014). Essa realidade brasileira pode ter como uma das causas a qualidade do ensino superior de engenharia civil e arquitetura. Esse artigo é uma continuação da pesquisa apresentada no XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (OLIVEIRA; SOUZA, 2014) e tem como objetivo investigar a abordagem de sistemas construtivos industrializados nas matrizes curriculares desses cursos nas universidades brasileiras. Como metodologia, utiliza-se a revisão bibliográfica que apresenta o conceito de industrialização da construção civil; empreende-se, ainda, a análise das matrizes curriculares dos cursos de engenharia civil e arquitetura de 284 universidades brasileiras, que possuem os dois cursos simultaneamente.

## INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A industrialização na construção civil pode ser definida como a utilização de componentes produzidos dentro de um ambiente de fábrica e transportados ao canteiro de obras para montagem final. Também está presente na industrialização a característica de padronizar os elementos construtivos e os próprios processos e métodos de construção (BILDSTEN, 2013; GIBB, 2001). Assim, a construção industrializada pode ser vista como uma alternativa ao sistema convencional e possui muitas vantagens sobre ele, como melhor qualidade dos componentes pré-fabricados, menores custos e prazos de construção, menor desperdício de materiais e integração entre o projeto arquitetônico e a construção em si (TAM *et al.*, 2007).

O uso de componentes pré-fabricados na construção civil teve como objetivo inicial buscar uma maneira mais econômica de construir. As indústrias produziram milhões de elementos idênticos, com a finalidade de alcançar algumas metas, como a padronização, especialização, sincronização, concentração, maximização e centralização. Ao longo dos anos, o foco da indústria passou a ser a personalização dos produtos, para lidar com as necessidades individuais dos clientes (BRANDÃO; HEINECK, 2007). Assim, uma questão importante no processo de produção é encontrar uma maneira de atender à demanda dos clientes da forma mais eficiente possível, pois, quanto mais industrializado é o processo, menor é o grau de personalização e flexibilidade da produção (JONSSON; RUDBERG, 2013).

Com o intuito de adaptar a industrialização às exigências tanto das edificações quanto dos clientes, a construção passou de um sistema fechado para um sistema aberto. O primeiro está relacionado a um sistema rígido, fato que exige que os projetistas trabalhem com um produto muitas vezes incompatível com a arquitetura. O segundo é baseado na utilização de componentes industrializados que podem ser produzidos por diferentes empresas e garante maior flexibilidade aos projetos, como se pode deduzir pela observação do Quadro 1.

**Quadro 1 – Questões fundamentais para as mudanças tecnológicas da construção industrializada.**

Tendências	Mudanças	Resultados
Técnicas de produção de componentes.	Flexibilização dos processos de produção.	Séries pequenas e diversificadas.
Coordenação modular.	Menos acadêmica e mais prática.	De ferramenta de projeto a suporte da produção. Do módulo dimensional ao módulo do objeto.
Mudanças de paradigmas básicos.	De produtores de pré-fabricados e construtores a consumidores de componentes construtivos.	A indústria (química, de vidro, de gesso, de isolantes...) invade o setor da construção civil.
Maior influência da indústria no custo final de produção.	Concorrência de materiais, técnicas e componentes.	O valor adicionado de origem industrial supera o valor dos sistemas fechados de pré-fabricação pesada.
Fim de um falso dilema: arquitetura x indústria.	Equipes de trabalho multidisciplinares.	Nova disciplina: Arquitetura Industrializada.

Adaptado de SALAS (2008).

No entanto, para que a utilização de sistemas construtivos industrializados seja eficiente, é necessário aplicar uma visão sistêmica e global à construção (RIBAS, 2006). A decisão pelo uso desses sistemas deve partir da concepção do projeto, de forma que os componentes construtivos disponibilizados pelas indústrias estejam integrados ao projeto arquitetônico. Além disso, é necessário estudar de que maneira esses componentes se comportarão nas respectivas etapas da obra, que devem ser planejadas também no projeto, pois a montagem no canteiro de obras não permite adaptações nem ajustes. No entanto, no mercado nacional, poucos profissionais estão realmente aptos a trabalhar com a construção industrializada, sejam eles arquitetos ou engenheiros (SANTIAGO, 2008). Portanto, esse tipo de construção apresenta características muito particulares e que devem ser entendidas para que seus benefícios possam ser aproveitados.

## ANÁLISE DAS MATRIZES CURRICULARES

A universidade é responsável pela formação dos futuros profissionais que atuarão no mercado da construção civil. Dessa forma, para que se possa pensar em ampliar a utilização de sistemas construtivos industrializados no Brasil, deve-se, primeiro, trabalhar para que esse sistema seja difundido na base de ensino.

Em 2002, o Ministério da Educação (MEC) instituiu as “Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia”, que abordam todas as modalidades da área, inclusive a engenharia civil. Nesse documento, é descrito o perfil do futuro profissional como tendo:

formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade (BRASIL, 2002).

Além disso, o MEC instituiu que o curso superior em engenharia deve dotar o futuro profissional de algumas habilidades e competências, entre elas, a de poder “desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas” (BRASIL, 2002).

No caso da arquitetura e do urbanismo, o MEC determina, nas diretrizes curriculares nacionais, que as instituições de ensino deverão:

assegurar a formação de profissionais generalistas, capazes de compreender e traduzir as necessidades de indivíduos, grupos sociais e comunidade, com relação à concepção, à organização e à construção do espaço interior e exterior, abrangendo o urbanismo, a edificação, o paisagismo, bem como a conservação e a valorização do patrimônio construído,

a proteção do equilíbrio do ambiente natural e a utilização racional dos recursos disponíveis (BRASIL, 2010).

Além disso, as ações pedagógicas do curso de arquitetura e urbanismo deverão seguir alguns princípios, entre eles:

o uso da tecnologia em respeito às necessidades sociais, culturais, estéticas e econômicas das comunidades (BRASIL, 2010).

Em relação aos sistemas construtivos, o MEC prevê que o aluno desse curso possa adquirir, dentro da instituição de ensino, as seguintes habilidades e competências:

os conhecimentos especializados para o emprego adequado e econômico dos materiais de construção e das técnicas e sistemas construtivos, para a definição de instalações e equipamentos prediais, para a organização de obras e canteiros e para a implantação de infraestrutura urbana; [...] a compreensão dos sistemas estruturais e o domínio da concepção e do projeto estrutural, tendo por fundamento os estudos de resistência dos materiais, estabilidade das construções e fundações (BRASIL, 2010).

Embora as universidades sejam obrigadas a seguir as diretrizes para definir os programas dos cursos, o MEC não define regras mais específicas relacionadas à racionalização e industrialização do processo construtivo. Dessa forma, as instituições podem decidir se vão inserir ou não esses tópicos nas matrizes curriculares dos cursos de engenharia civil e arquitetura.

#### Método de pesquisa

Para avaliar de que maneira o tema da construção industrializada é abordado, no Brasil, dentro dos cursos superiores de engenharia civil e de arquitetura e urbanismo, analisaram-se as matrizes curriculares dos cursos em questão de universidades públicas e privadas distribuídas em todas as regiões do país. No Brasil, existem, atualmente cadastradas no MEC, 347 faculdades de arquitetura e urbanismo e 572 faculdades de engenharia civil, sendo que 284 universidades possuem os dois cursos simultaneamente (BRASIL, 2015). Para essa pesquisa, foram selecionadas as instituições de ensino que oferecem ambos os cursos.

Essa análise baseou-se nos programas e ementas das disciplinas disponibilizadas no *site* oficial das instituições. Para uma primeira análise, foram selecionadas disciplinas que possuíam, no título, termos como “construção industrial”, “construção industrializada”, “racionalização” ou “pré-fabricação”. Quando esses termos não existiam em nenhum título das disciplinas, foram selecionadas aquelas que tratam de projeto arquitetônico ou de sistemas construtivos, com termos como “tecnologia da construção”, “sistemas estruturais”, “projeto”, “ateliê”, “estruturas metálicas” ou “concreto pré-moldado”.

Em uma segunda análise, observou-se a ementa das disciplinas selecionadas, com o intuito de avaliar se realmente possuíam em seu programa o assunto da construção industrializada e se ele era passado aos alunos de forma abrangente, ou seja, considerando o processo de fabricação, projeto e construção, ou apenas de maneira específica, ou seja, tratando apenas de características e cálculos de um material determinado. Para essa pesquisa, somente foram consideradas as disciplinas que abordavam a construção industrializada de forma abrangente, pois o foco deste trabalho é a construção industrializada como um todo, independentemente do material utilizado.

A partir dos resultados da segunda análise, realizou-se uma classificação dessas disciplinas. Elas foram classificadas em dois grupos que indicam a importância do tema da industrialização na disciplina como um todo. As classificações utilizadas foram: disciplinas exclusivas, que são aquelas que abordam exclusivamente o tema da construção industrializada; e disciplinas não exclusivas, que são aquelas que abordam o tema da construção industrializada apenas como um tópico dentro do programa. Cada uma das classificações foi subdividida em disciplina obrigatória ou optativa. A primeira representa as disciplinas que fazem parte da grade curricular obrigatória do curso e a segunda aquelas disciplinas que não fazem parte da grade curricular obrigatória do curso, ou seja, durante sua formação, os alunos podem optar por cursá-la ou não.

## Resultados: Engenharia Civil

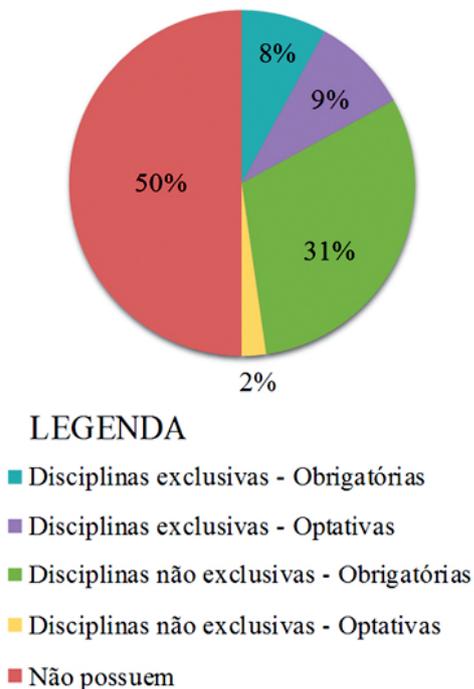
No caso do curso de engenharia civil, dentre as 284 universidades pesquisadas, 88 puderam ser

avaliadas. As demais não disponibilizam em seu *site* a matriz curricular ou as ementas das disciplinas do curso.

Dessas 88 universidades analisadas, somente quinze possuem disciplinas exclusivas, com o tema da construção industrializada, sendo que sete possuem disciplinas obrigatórias, e oito, disciplinas optativas. Isso representa 8% e 9%, respectivamente.

Em relação às disciplinas não exclusivas, observou-se que 27 instituições possuem esse tipo de disciplina de forma obrigatória e duas de forma optativa, o que equivale a 31% e 2%, respectivamente. Pode-se constatar, ainda, que 44 universidades não possuem disciplinas sobre construção industrializada em sua matriz curricular, ou seja, 50% delas (Gráfico 1).

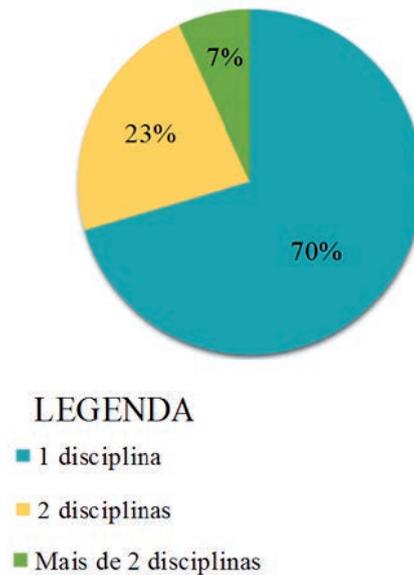
**Gráfico 1: Resultado da análise das matrizes curriculares dos cursos de engenharia civil.**



Em relação às 44 universidades que possuem disciplinas sobre industrialização, 70% delas possuem apenas uma disciplina na sua grade curricular, 23% possuem duas disciplinas e apenas 7% possuem mais de duas disciplinas (Gráfico 2). Entre os termos utilizados nas ementas para adjetivar os sistemas industrializados se destacaram “especiais”, “alternativos” e “não convencionais”, o que indica

que esse tema é tratado de forma secundária dentro das faculdades de engenharia civil analisadas.

**Gráfico 2: Número de disciplinas sobre construção industrializada nos cursos de engenharia civil.**



## Resultados: Arquitetura e Urbanismo

Em relação ao curso de arquitetura e urbanismo, dentre as 284 universidades pesquisadas, 77 puderam ser avaliadas. As outras instituições não possuem em seu *site* a matriz curricular ou as ementas das disciplinas do curso.

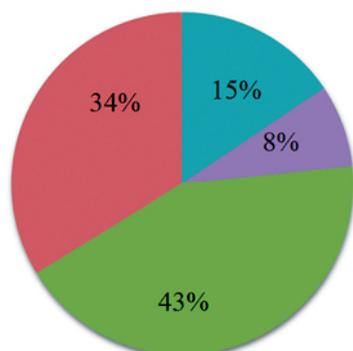
Das 77 universidades avaliadas, apenas deztoito delas possuem disciplinas exclusivas sobre construção industrializada, sendo que doze instituições oferecem disciplinas obrigatórias e seis oferecem disciplinas optativas, o que representa 15% e 8%, respectivamente.

Outras 33 instituições possuem disciplinas não exclusivas, sendo todas elas disciplinas obrigatórias, o que equivale a 43% do total. Pode-se perceber, ainda, que 26 universidades não possuem, em sua matriz curricular, disciplinas que abordam o tema da industrialização, ou seja, 43% delas (Gráfico 3).

No caso das 51 universidades que possuem disciplinas sobre construção industrializada, 63% delas possuem apenas uma disciplina na sua grade curricular, 21% possuem duas disciplinas e 16% possuem mais de duas disciplinas (Gráfico 4). Entre os termos que explicam os sistemas industrializados, nas ementas, se destacaram “alternativos”,

“especiais”, “não usuais” e “não convencionais”, indicando esse sistema como secundário, comparado com os demais, assim como foi visto nas faculdades de engenharia civil pesquisadas.

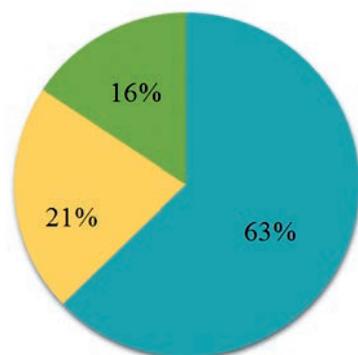
**Gráfico 3: Resultado da análise das matrizes curriculares dos cursos de arquitetura e urbanismo.**



#### LEGENDA

- Disciplinas exclusivas - Obrigatórias
- Disciplinas exclusivas - Optativas
- Disciplinas não exclusivas - Obrigatórias
- Não possuem

**Gráfico 4: Número de disciplinas sobre construção industrializada nos cursos de arquitetura e urbanismo**



#### LEGENDA

- 1 disciplina
- 2 disciplinas
- Mais de 2 disciplinas

## CONCLUSÕES

Com a análise das matrizes curriculares dos cursos de engenharia civil e de arquitetura e urbanismo, observou-se que é ineficiente a abor-

dagem do tema da construção industrializada nos cursos pesquisados. A maior parte das disciplinas encontradas nesses cursos possuem o tema apenas como um tópico de uma disciplina voltada a outro assunto ou então são optativas.

Apenas 8% das instituições de ensino de engenharia civil possuem o tema da construção industrializada em pelo menos uma disciplina exclusiva e obrigatória na matriz curricular. E, no caso do curso de arquitetura e urbanismo, esse número é de 15%. Além disso, no universo pesquisado, o número de universidades que não tratam do tema em nenhuma disciplina é grande, sendo 50% no caso da engenharia civil e 34% em arquitetura e urbanismo.

Quando acontece a abordagem da industrialização da construção civil nos cursos de engenharia civil e de arquitetura e urbanismo, existe a predominância de apenas uma disciplina relacionada ao tema inserida na matriz curricular. Além disso, a classificação dos sistemas industrializados como “alternativos” ou “especiais” reforça e insere no conhecimento dos alunos a ideia de que são sistemas estruturais secundários. Isso reforça a cultura da não utilização das construções pré-fabricadas nos projetos comuns, restringindo-as aos casos em que o sistema convencional não é viável.

Devido à falta de resoluções nacionais que especifiquem o assunto da industrialização da construção dentro das diretrizes de cada curso, a opção por incluí-lo na matriz curricular parte do interesse de cada instituição. Dessa forma, muitos estudantes se formam sem que tenham contato com algum tipo de construção que não seja a convencional, baseada na alvenaria de tijolos cerâmicos e concreto armado moldado *in loco*.

O Brasil possui grande potencial para que sistemas industrializados sejam empregados nos diversos tipos de construções. Isso pode ser observado a partir da expressiva produção siderúrgica, diversas indústrias voltadas à construção civil, além de campo de pesquisa e formação profissional eficiente, com universidades instaladas por todo o território. Apesar disso, ainda faltam incentivos e informações mais difundidas desses sistemas, de forma que eles possam se

tornar escolhas reais no mercado da construção civil.

Com os resultados desta pesquisa, observou-se que é necessário investir no campo de formação superior, nos cursos de engenharia civil e de arquitetura e urbanismo no Brasil. Os futuros profissionais da construção civil precisam ter contato com os sistemas industrializados dentro das universidades, para que eles tenham conhecimentos suficientes para propor esse tipo de construção aos seus clientes. Além disso, é importante alterar a maneira com que o tema da industrialização é passado aos alunos. Cada projeto vai demandar um sistema construtivo que se adapte melhor às necessidades tanto do cliente quanto técnicas e da proposta do arquiteto. Portanto, não se deve classificar, nas disciplinas, os sistemas industrializados como sendo “alternativos”, “especiais” ou “não convencionais”. A partir do momento em que o profissional possui formação e conhecimento suficientes, cabe a ele identificar e propor o melhor processo construtivo para cada caso.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da CAPES e da FAPEMIG.

### REFERÊNCIAS

BATISTA, Eduardo de Miranda; GHAVAMI, Khosrow. Development of Brazilian steel construction. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 61, n. 8, p. 1.009-1.024, ago. 2005.

BILDSTEN, Louise. Buyer-supplier relationships in industrialized building. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p.146-159, 2013.

BRANDÃO, Douglas Queiroz; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. Estratégias de flexibilização de projetos residenciais iniciadas na década de 1990 no Brasil: tão somente um recurso mercadológico? **Ambiente Construído**, v. 7, n. 4, p. 71-87, 2007.

CBCA; ABCEM. **Perfil dos fabricantes de estruturas de aço**: Resumo Executivo – Pesquisa 2014. São Paulo: O Nome da Rosa Editora, 2014. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-estrutura-de-aco.php>>. Acesso em: 23 fev. 2014.

COMA, Mauro Castro. Del sueño olímpico al proyecto Porto Maravilha: el “eventismo” como catalizador de la regeneración a través de grandes proyectos urbanos. **URBE – Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 211-227, jul./dez. 2011.

GIBB, Alistair G. F. Standardization and Pre-assembly-distinguishing myth from reality using case study research. **Construction Management and Economics**, v. 19, n. 3, p. 307-315, 2001.

JONSSON, Henric; RUDBERG, Martin. Classification of production systems for industrialized building: a production strategy perspective. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 1-2, p. 53-69, 2013.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Instituições de Educação Superior e Cursos Coadministrados**, 2015. Disponível em: <<http://emec.mec.gov.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010**. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14917&Itemid=866](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14917&Itemid=866)>. Acesso em: 28 fev. 2012.

NRE – Núcleo de Real Estate. Perspectivas para o Setor do Real Estate Brasileiro no ano de 2014. Comitê de Mercado do NRE-Poli. **Construção Mercado**, São Paulo, n. 150, jan. 2014.

OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo; SOUZA, Henor Artur. Sistemas construtivos industrializados nos cursos de graduação em Arquitetura e Engenharia Civil do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 42, 2014, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, 2014. CD-ROM.

RIBAS, Rovadavia Aline de Jesus. **Avaliação das condições físico-construtivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço**. Estudo de caso: Prédio da EM da UFOP. 2006. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2006.

SALAS, J. De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico. **Informes de la Construcción**, v. 60, n. 512, p. 19-34, 2008.

SANTIAGO, Alexandre K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural.** 2008. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.

TAM, Vivian W. Y. *et al.* Towards adoption of pre-fabrication in construction. **Building and Environment**, v. 42, p. 3.642-3.654, 2007.

---

### DADOS DOS AUTORES



**Ana Beatriz de Figueiredo Oliveira** – Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, 2010), mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Construção Metálica, pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP, 2013). Atualmente, é doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo (USP), área de concentração em Tecnologia da Arquitetura. Possui experiência na área de arquitetura e urbanismo, com ênfase em projeto de arquitetura, atuando principalmente nos seguintes temas: construção industrializada, construção metálica, processo de projeto.



**Henor Artur de Souza** – Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 1981), mestrado em Engenharia Mecânica, Ciências Térmicas, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 1985), doutorado em Engenharia Mecânica, Fluidos, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 1993). Atualmente, é Professor Titular da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), atuando na graduação em Engenharia e Arquitetura e pós-graduação, no nível de mestrado e doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-PROPEC. Possui experiência na área de engenharia mecânica, com ênfase em fenômenos de transporte, atuando principalmente nos seguintes temas: pesquisa básica e aplicada em fenômenos de transporte, ventilação em edificações, conforto ambiental, análise térmica de edificações, avaliação pós-ocupação em edificações estruturadas em aço (construção metálica).

# O POTENCIAL DA PONTE DE WHEATSTONE PARA A PRODUÇÃO DE CONHECIMENTOS EM SISTEMAS LINEARES: UMA SITUAÇÃO DIDÁTICA

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p61-69

Maria Alice Veiga Ferreira de Souza,<sup>1</sup> Sotério Ferreira de Souza<sup>2</sup>

## RESUMO

Sistemas lineares integram diferentes conteúdos do Ensino Superior e constituem importante ferramenta descritiva e de decisão em diferentes situações nas engenharias. Após diagnóstico de compreensão limitada e mecanizada desse tópico matemático em estudantes de Engenharia, buscou-se verificar o potencial de uma situação didática, à luz dos pressupostos teóricos de Brousseau, que favorecesse o aprofundamento dos significados de sistemas lineares de 40 estudantes de Engenharia, possibilitando seus usos com maior autonomia em contextos científicos e profissionais. Para isso, foi proposto o estudo qualitativo do fluxo de corrente em uma Ponte de Wheatstone, da qual emergiu um sistema linear estudado e interpretado pelos estudantes. O estudo revelou que todos os sujeitos produziram os significados escolares esperados para o que seja um sistema linear e seus usos, tornando-se, assim, uma situação didática potencial para os objetivos perseguidos.

**Palavras-chave:** Sistemas lineares; Ponte de Wheatstone; situação didática; produção de significados.

## ABSTRACT

### THE POTENTIAL OF THE WHEATSTONE BRIDGE FOR THE PRODUCTION OF KNOWLEDGE IN LINEAR SYSTEMS: A DIDACTIC SITUATION

Linear systems integrate different content from the Higher Education and provide important descriptive and decision tool in different situations in Engineering. After diagnosis of limited and mechanized mathematical understanding of this topic in engineering students, we sought to investigate the potential of a didactic situation in light of the theoretical assumptions of Brousseau, favoring the deepening of the meanings of linear systems of 40 engineering students, allowing their uses with greater autonomy in scientific and professional contexts. For this, the qualitative study of current flow in a Wheatstone Bridge, which emerged a linear system studied and interpreted by the students has been proposed. The study revealed that all subjects produced the expected meanings for the school that is a linear system and their uses, thereby making it a potential didactic situation for the goals pursued.

**Keywords:** Linear systems; Wheatstone Bridge; didactic situation; production of meanings.

<sup>1</sup> Instituto Federal do Espírito Santo; mariaalice@ifes.edu.br; alicevfs@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); soterio.souza@hotmail.com

## O PROBLEMA

Sistemas lineares são requeridos para a solução de diferentes problemas profissionais e científicos, especialmente nas engenharias. A constatação de baixa produção de conhecimentos por esses estudantes nesse conteúdo escolar, relatado por Souza e Simmer (2013) e por Souza (2013), e a abrangência de seus usos justificam apoio de investigadores da Educação Matemática que subsidiem a prática docente nesses âmbitos.

Um diferencial para esse contexto educacional pode ser o planejamento e a execução de uma situação de aprendizagem traduzida em uma situação-problema, como motivo para a (re)construção ou mesmo a aquisição de conceitos matemáticos. Isso porque a configuração de didáticas de ensino nesses moldes pode mobilizar estratégias e conhecimentos já apreendidos pelos sujeitos, a favor de uma (re)organização cognitiva que lhes promova formação de sentido que vá além do mecanizado, como os apresentados nas pesquisas de Souza e Simmer (2013).

Essa é a proposta da Didática da Matemática francesa como apoio teórico, na teoria de Brousseau (1996; 1997; 1998) – Situações Didáticas –, autor eleito não aleatoriamente, mas, sobretudo, por defender o uso de situações-problema como meio de aprendizagem, em um projeto que leve o aluno à ação, à busca de soluções de problemas e à tomada de decisão, circunstâncias presentes no cotidiano profissional de engenheiros.

Com isso em mente e baseados nos pressupostos antes apresentados, propusemos **verificar o potencial de uma situação didática que envolva a Ponte de Wheatstone em uma problemática que possibilite a (re)construção ou o alargamento do conhecimento acerca de sistemas lineares, para além de uma perspectiva mecanizada em cálculos desligados de seus respectivos sentidos**. A Ponte de Wheatstone foi selecionada por se tratar de estudantes da Engenharia Elétrica, e, assim sendo, como possível via para a motivação desses sujeitos para o estudo sobre sistemas lineares no âmbito da disciplina de Álgebra Linear, ministrada no segundo período letivo das engenharias de uma instituição de ensino superior brasileira. Destaca-se que essa mesma sistemática poderia ser aplicada no âmbito

do Ensino Médio, após algumas aulas de Eletricidade, normalmente estudada na disciplina de Física.

## APOIO TEORICO

A Didática da Matemática pode ser entendida como a área da ciência que estuda o processo de transmissão e aquisição de conteúdos escolares em todos os níveis de ensino (DOUADY, 1985). Preocupa-se com a técnica orientadora do ensino adotada pelo docente, de modo que seus alunos alcancem os objetivos educacionais para algum tópico ou tema específico de uma disciplina escolar.

Brousseau (1996; 1998) defendeu que a Didática da Matemática deveria se debruçar sobre as tarefas didáticas, visando promover os saberes matemáticos de estudantes, e, nessa perspectiva, contribuiu para o surgimento da Teoria das Situações Didáticas, principal apoio teórico de nosso trabalho. Nesse olhar, Brousseau buscava explicar conceitos e teorias matemáticas, bem como a previsão e a análise de tarefas didáticas e do comportamento cognitivo dos alunos nesse ínterim, sob a óptica de Piaget (1976; 1990; 1998). Brousseau buscou, na psicogenética de Piaget, suporte teórico para explicar a ocorrência da aprendizagem humana em meio às situações didáticas, a partir dos conceitos de “adaptação”, “assimilação” e “equilíbrio”, presentes nas etapas de “[...] selecionar, antecipar, executar e controlar as estratégias que aplica à resolução do problema formulado pela sequência didática” (GÁLVEZ, 1996, p. 32).

No construtivismo de Piaget (1976; 1990; 1998), a figura do professor não se conforma à do mero expositor de conteúdos, tornando-se, ao contrário, um profissional mais flexível, que intervém, sempre que necessário, estimulando a espontaneidade ativa do sujeito aprendente. O desenvolvimento cognitivo dos alunos, assim, não ocorre por acúmulo de conteúdos, mas por uma organização e reorganização mentais. Nessa direção, Brousseau viu as situações didáticas como estratégias que valorizam a investigação individual, o trabalho em grupo, as atividades e experiências compatíveis com o nível de desenvolvimento do aprendiz, de modos mais desafiantes.

Sendo assim, uma escola que se norteia por pressupostos de uma situação didática que, por sua

vez, se apoia nos princípios construtivistas piagetianos, requer de seus professores a criação de situações nas quais os aprendizes tenham interesse e possam operar ativamente os conceitos, mediante a provocação dialética entre desequilíbrios e novos equilíbrios na busca da compreensão matemática. Nas palavras de Piaget (1998, p. 17), “compreender é inventar, ou reconstruir através da reinvenção”.

A Didática da Matemática debruça-se sobre o estudo de técnicas que orientem a aprendizagem, além de investigar as condições nas quais são constituídos os conhecimentos. Esse foi o pano de fundo no qual Brousseau (1996; 1997; 1998) se apoiou para a elaboração da Teoria das Situações Didáticas, além de contar com uma perspectiva construtivista piagetiana. Nos ensinamentos de Brousseau (1996, p. 50), uma situação didática é “o conjunto de relações estabelecidas explicitamente e/ou implicitamente entre um aluno ou grupo de alunos, certo *milieu* [...] e um sistema educativo (o professor) para que seus alunos adquiram um saber constituído ou em vias de constituição”. A situação didática compreende, no nosso caso, o uso do recurso (*milieu*) de uma situação-problema que permita ao aluno progredir em seus conhecimentos sobre sistemas lineares não só na academia, mas, para além dela, em situações adidáticas – ou seja, em situações que façam emergir conhecimentos aplicados autonomamente fora do contexto de ensino formal e em condições não intencionais (Brousseau, 1996, p. 49-50), como os contextos profissionais das engenharias, por exemplo.

O planejamento e a execução de uma situação de aprendizagem traduzida em uma situação-problema, como motivo para a (re)construção ou mesmo a aquisição de conceitos matemáticos, podem mobilizar estratégias e conhecimentos já apreendidos pelos sujeitos, a favor de uma (re)organização cognitiva que lhes promova formação de sentido que vá além do formal e mecanizado.

A investigação de Souza e Simmer (2013) revelou os sentidos dados por duzentos estudantes de Engenharia para o que sejam equações lineares e sistemas lineares. Pelo lado das compreensões do que seja uma equação linear, esses estudantes souberam apresentar, no máximo, significados baseados na expressão analítica ( $F(x) = ax + b$ ; “é elevado a um”)

ou de modo incompreensível (“não tem número elevado a outro”).

Pelo lado das compreensões do que sejam sistemas lineares, 24% responderam corretamente (“sistema formado por duas ou mais equações lineares”). É possível concluir que esses alunos, apesar de compreenderem sistemas lineares de maneira limitada, conseguem perceber que um sistema linear é formado por duas ou mais equações lineares. Resta saber se eles inferem daí que um sistema é constituído por deduções na forma de equações emersas de um mesmo fenômeno ou situação. A pesquisa de Souza e Simmer (2013) dá indícios de que as compreensões desses estudantes são reduzidas ao pouco que declararam e ao que apresentaram quando resolveram sistemas lineares, uma vez que muitos souberam resolver, mas poucos interpretaram seus resultados, o que, possivelmente, não os levaria a aplicar esse instrumento matemático em circunstâncias em que seria útil.

O que a escola objetiva que seus alunos alcancem no estudo de sistemas lineares é que se tornem capazes de formular equações a partir de determinado contexto que possa ser assim traduzido, para além de cálculos matemáticos, tais como, aliás, os sugeridos por Poole (2004), Anton (2001), Carlen e Carvalho (2009) e tantos outros autores da área de Álgebra Linear. Eis o desafio da situação didática aqui proposta e que ora submetemos à verificação de seu potencial didático ao lado do apoio teórico de Novak (1981), pelo lado humanista do que se convencionou chamar de aprendizagem significativa.

Novak (1981) defende haver certa interdependência entre aluno, professor, conhecimento, contexto e avaliação, que, reunidos e devidamente sintonizados, podem favorecer a aprendizagem significativa, entendida como uma interação cognitiva entre elementos integrantes da estrutura cognitiva da pessoa (subsunçores) e o novo conhecimento potencialmente significativo. Esses aspectos educacionais, se bem orquestrados, podem proporcionar predisposição para a aprendizagem, ao promoverem sentimentos, pensamentos e ações que motivem os alunos ao que Novak chamou de “engrandecimento humano”.

É possível que as situações didáticas suscitem a integração defendida por Novak e que gerem nos participantes as perspectivas humanísticas que interferem sobre os objetivos do ensino e, igualmente, será objeto de análise neste trabalho.

## MÉTODO

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, entendida tal como proposto por Lüdke e André (1986, p. 11-13), ao contar com o contato direto e prolongado da pesquisadora no dia a dia escolar e na situação sob investigação, obtendo-se, daí, dados descritivos.

Participaram da investigação quarenta estudantes do segundo período da Engenharia Elétrica de uma instituição federal de ensino brasileira, uma professora-pesquisadora de Educação Matemática da mesma instituição e um pesquisador engenheiro eletricitista. Os estudantes já haviam estudado sistemas lineares em anos escolares anteriores e apresentavam conhecimentos mecanizados sobre sistemas lineares, tais como, aliás, os relatados por Souza e Simmer (2013) e Souza (2013), fato verificado previamente à aplicação da situação didática.

A situação didática foi planejada e elaborada pela professora-pesquisadora em conjunto com o engenheiro eletricitista, e aplicada em sala de aula apenas pela primeira. O engenheiro eletricitista era requerido, em momentos extraclasse, sempre que os estudantes necessitavam de algum esclarecimento acerca de aspectos teórico-práticos da eletricidade. Para essa aplicação, os alunos deveriam conhecer a lei da conservação do fluxo e a construção de uma Ponte de Wheatstone, da qual emergiria a necessidade de construção, manipulação e uso de um sistema linear, o que foi realizado em laboratório de elétrica, disponibilizado por um professor da mesma instituição, em horário diverso ao de aula de Álgebra Linear.

O planejamento e a aplicação da situação didática contou com as seguintes atividades/etapas: **1-** estudo da lei da conservação do fluxo; **2-** estudo e construção de uma Ponte de Wheatstone; **3-** apresentação da situação-problema: modelar matematicamente o fluxo de corrente em um circuito elétrico e interpretá-lo; **4-** apresentação pelos estudantes de seus avanços e constrangimentos acerca das etapas anteriores; **5-** busca constante de informações ne-

cessárias para o cumprimento das etapas 1, 2 e 3; **6-** elaboração de conclusões e generalizações sobre a modelagem matemática de quaisquer fluxos em circuitos elétricos; **7-** formulação de hipóteses para esse e outros problemas que envolvam sistemas lineares dentro e fora das engenharias; **8-** avaliação das atividades pelos estudantes.

As atividades não foram sempre sequencialmente desenvolvidas. Na prática, elas ocorreram segundo os avanços cognitivos dos estudantes, em um constante ir e vir.

## APLICAÇÃO DA SITUAÇÃO DIDÁTICA

De início, como dissemos, foram verificados pela professora-pesquisadora o conceito de sistemas lineares e a interpretação dos resultados alcançados no cálculo matemático, por meio de exercícios semelhantes aos que Souza e Simmer (2013) aplicaram em suas investigações. Em seguida, foi realizada breve explicação sobre o que seja a lei da conservação do fluxo e a Ponte de Wheatstone. Na mesma aula, a professora-pesquisadora pediu que os estudantes buscassem mais informações sobre esses dois temas, por ser indicado que se tornassem mais autônomos e ativos no processo de aprendizagem. A turma foi dividida em grupos de dois e três estudantes.

A aula seguinte foi marcada para apresentação dos grupos acerca do que haviam pesquisado sobre os dois temas encomendados na aula anterior (a lei da conservação do fluxo e a Ponte de Wheatstone). Os protocolos dos alunos pareciam mostrar que haviam compreendido seus pontos principais, ao serem questionados sobre o que seria uma Ponte de Wheatstone e a lei da conservação do fluxo, e, ainda, onde esses temas poderiam ser aplicados. Para isso, deveriam trazer discussões sobre a primeira lei de Kirchhoff, a lei dos nós, a lei de Ohm, etc., o que não foi mencionado na primeira aula e, assim, o fizeram.

Ultrapassada a etapa de compreensão da situação didática, foi lançado o desafio, qual seja: modelar matematicamente o fluxo de corrente em um circuito elétrico por eles construído e interpretá-lo. Para isso, o laboratório de elétrica foi disponibilizado por um professor da instituição de ensino, ao qual foi solicitado não ajudar os alunos em suas tarefas, uma

vez que, caso necessitassem, deveriam procurar o pesquisador engenheiro eletricitista e idealizador, em conjunto com a professora-pesquisadora, da situação didática, e assim foi feito, lembrando que as idas ao laboratório ocorriam em momentos fora dos horários de aulas de Álgebra Linear.

As seis aulas seguintes, de cinquenta minutos, de Álgebra Linear foram reservadas para reunião dos grupos com a professora-pesquisadora, que verificaria os avanços e obstáculos para o cumprimento da tarefa de modelagem. Nessas aulas, pôde-se verificar que os estudantes construíram seus circuitos e iniciaram a modelagem, em um constante ir e vir de debates com a professora-pesquisadora, que buscava, com isso, mediar a construção daqueles conhecimentos. Poucos alunos recorreram ao engenheiro eletricitista, que relatou ter sido abordado apenas em questões pontuais, ligadas à parte elétrica do circuito. Nesse ínterim, ocorriam retornos às informações estudadas, pelo lado dos estudantes e, levantamento de hipóteses, promoção de generalizações e avaliações dos progressos conceituais dos estudantes, pelo lado da professora-pesquisadora. Os grupos de estudantes eram arguidos separadamente sobre seus progressos e/ou obstáculos, visando verificar se convergiam ou não para a formação das equações lineares e respectivo sistema linear que delimitaria a situação. A professora-pesquisadora realizava anotações sobre os protocolos dos alunos, formando a base de dados qualitativa do experimento.

Ao final, os estudantes foram questionados oralmente e separadamente, por grupos de trabalho, a respeito dos conteúdos estudados. Os quarenta estudantes produziram os resultados esperados pela professora-pesquisadora para a interpretação dos resultados obtidos por um sistema linear, para o que seja uma Ponte de Wheatstone e outros conceitos ligados à eletricidade, apesar de a preocupação e foco serem, prioritariamente, sobre o primeiro (interpretação de sistemas lineares).

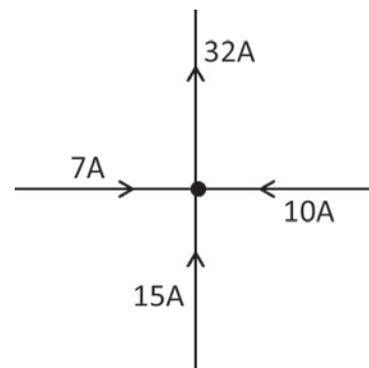
Ao término da aplicação da situação didática, os estudantes definiram corretamente resistência elétrica, tensão, corrente contínua, lei de Ohm, leis de Kirchhoff, circuitos elétricos, Ponte de Wheatstone, lei da conservação do fluxo e sistemas lineares e seus usos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para maior objetividade deste artigo, apresentar-se-á aqui a produção de conhecimento de um dos grupos de estudantes, uma vez que todos alcançaram as compreensões esperadas pela professora-pesquisadora, apesar de cada um obedecer a um ritmo próprio e trilhar caminhos, por vezes, diversos.

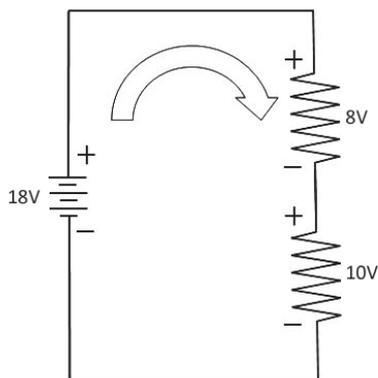
Particularmente, as leis de Kirchhoff foram os conceitos que mais contribuíram para a construção do sistema linear. A primeira lei de Kirchhoff, ou lei dos nós, enuncia que a soma das correntes que chegam a um nó é igual à soma das correntes que dele saem (cf. BARTKO-WIAK, 1999). O grupo demonstrou o conhecimento dessa lei por meio do circuito da Figura 1, e enunciou que  $7A + 15A + 10A = 32A$ .

**Figura 1: Correntes entrando e saindo de um nó qualquer.**



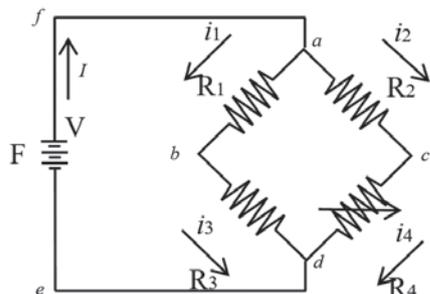
Em seguida, enunciaram a segunda lei de Kirchhoff, que diz que a soma algébrica das tensões, no sentido horário ou anti-horário, em uma rede, é zero. Disseram que o sinal negativo indicava o potencial menor e o positivo o potencial maior, lembrando que, ao percorrer uma resistência, a corrente flui no sentido do maior para o menor potencial, fato questionado pela professora-pesquisadora (questionamento previamente planejado para a aula) e respondido corretamente por eles. Exemplificaram esse enunciado, em uma das reuniões promovidas nas aulas de Álgebra Linear, por meio da Figura 2, afirmando que  $18V - 8V - 10V = 0$ , no sentido horário. Os protocolos dos alunos indicavam avanços na via da situação didática proposta.

**Figura 2: Esquema usado pelos estudantes para mostrar a segunda lei de Kirchhoff.**



Esses estudantes aplicaram os conhecimentos das leis de Kirchhoff em um circuito que continha uma Ponte de Wheatstone, composto por quatro resistores dispostos no formato de um losango, sendo R1 o resistor a ser medido, R2 e R3 os resistores de valor fixo conhecido, e um resistor ajustável (potenciômetro) R4.  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ ,  $i_4$  são as correntes em seus respectivos arcos, conforme a Figura 3.

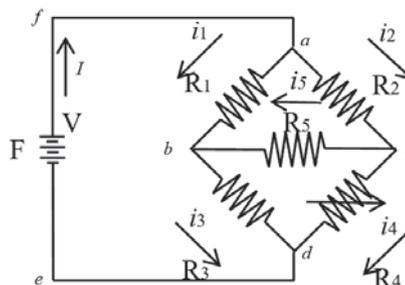
**Figura 3: Fluxo da corrente em um circuito.**



Os alunos declararam corretamente que “A tensão entre b e c será zero apenas quando o produto  $R_1.R_4=R_2.R_3$  for verdadeiro”.

A Figura 3 mostra o esquema elaborado pelos estudantes quanto ao sentido da corrente ( $I$ ) entrando na rede pelo vértice ( $a$ ) e saindo pelo vértice ( $d$ ). A tensão da fonte ( $F$ ) é representada pela letra ( $V$ ). Em seguida, informaram que, para análise do comportamento dessa ponte, seria acrescentado mais um ramo ligando o nó ( $b$ ) ao ( $c$ ), por onde passará  $i_5$ , conforme disposto na Figura 4.

**Figura 4: Percurso da corrente no circuito analisado.**



A primeira lei de Kirchhoff forneceu as três primeiras equações para o cálculo de  $i_5$ , e isso fez com que os estudantes percebessem a necessidade do uso de equações lineares pela situação didática proposta:

$$I - i_1 - i_2 = 0 \quad (1)$$

$$i_1 - i_3 + i_5 = 0 \quad (2)$$

$$-I + i_3 + i_4 = 0 \quad (3)$$

Os protocolos dos estudantes desse grupo, nesse momento, foram:

Estudante 1: E agora? Temos três equações...

Professora-pesquisadora: E que surgiram do mesmo circuito, certo?

Estudante 2: Sim, mas queremos encontrar o valor de  $i_5$ ...

Estudante 1: Professora, se montarmos um sistema e resolvermos, encontraremos  $i_5$ ?

Professora-pesquisadora: Para o que servem os sistemas lineares?

Estudante 2: [reflexão]... Ué... para sabermos os valores das incógnitas? [surgiu daí o *insight*] hummm... basta montarmos o sistema e resolver!

Professora-pesquisadora: E quanto à segunda lei de Kirchhoff?

Estudante 1: Precisamos usá-la, não é?

[...]

Esse momento reforçou a hipótese de a situação didática proposta ter algum potencial educativo para a ampliação do conceito de sistemas lineares e seus usos. Pelo lado humano, por assim dizer, os estudantes demonstravam interesse em estar engajados na proposta didática, aspectos integradores de

uma aprendizagem significativa, tal como defendido por Novak (1981).

Em seguida, fora do ambiente de sala de aula e com apoio do engenheiro electricista, aplicaram a segunda lei de Kirchhoff nas malhas  $abdefa$ ,  $abca$  e  $bcd b$ , e obtiveram outras três equações lineares.

$$-R1.i1 - R3.i3 + V = 0 \quad (4)$$

$$R1.i1 - R2.i2 - R5.i5 = 0 \quad (5)$$

$$R3.i3 - R4.i4 + R5.i5 = 0 \quad (6)$$

Em aula posterior, apresentaram as seis equações, quando questionados pela professora-pesquisadora:

Professora-pesquisadora: Então, o que conseguiram extrair do circuito até agora?

Estudante 1: Professora, nos encontramos com o engenheiro e conseguimos mais três equações no circuito. Agora, temos seis equações.

Estudante 2: Com essas seis equações, formaremos um sistema e encontraremos a corrente. Ficou bem grande... é isso mesmo?

Professora-pesquisadora: Grande em que sentido?

Estudante 2: Sei lá... parece bem maior do que os que estamos acostumados a resolver.

Professora-pesquisadora: Se as equações saíram do mesmo contexto e foram formadas pelas partes do circuito, não há com o que se preocupar... quantas incógnitas existem no circuito? Por que querem formar um sistema linear?

[silêncio]

Os questionamentos não foram respondidos imediatamente. Eles ficaram em silêncio ouvindo os questionamentos e demonstrando estar consultando internamente suas estruturas de conhecimento, até que um deles arriscou dizer:

Estudante 1: Precisamos do sistema para saber a corrente... O sistema é formado por essas equações. Vamos resolver o sistema...

Com isso, o grupo compreendeu que as seis equações lineares formavam um único sistema linear porque decorriam de um mesmo fenômeno. Aplicaram os conhecimentos de Álgebra Linear para re-

lar o valor de  $i5$ , resolvendo o sistema construído. Nessa altura, as ferramentas matemáticas adotadas pelos diferentes grupos para o cálculo de  $i5$  foram diversas, o que não causou nenhuma surpresa por parte da professora-pesquisadora, uma vez que essa diversidade foi apresentada em aula diagnóstica, antes da proposta da situação didática. A Figura 5 mostra a matriz que corresponde ao sistema linear construído pelos alunos.

**Figura 5: Matriz aumentada do sistema linear do circuito construído.**

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -R1 & 0 & -R3 & 0 & 0 & -V \\ 0 & R1 & -R2 & 0 & 0 & -R5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R3 & -R4 & R5 & 0 \end{bmatrix}$$

Esse grupo optou pelo uso da Regra de Cramer para resolver o sistema, resultando na seguinte equação do fluxo em  $i5$ , em função das resistências e da tensão:

$$i5 = \frac{V.(R1.R4 - R2.R3)}{R1.R2.(R3+R4+R5) + R2.R3.(R4+R5) + R4.R5.(R1+R3)} \quad (7)$$

Como o estudo tratou do funcionamento de sensores que utilizam esse estado da Ponte de Wheatstone, as aferições foram realizadas com base nesse estado de equilíbrio da Ponte. No circuito da Figura 4, tendo  $i5 = 0$  (fluxo mínimo), perceberam que a equação (7) gerava a seguinte relação:

$$R1.R4 = R2.R3 \quad (8)$$

Pela Lei de Ohm, sabiam que  $V = R.i$ , ou seja, tensão é igual ao produto resistência por corrente. Logo:

$$V = R5.i5, \therefore V = R5.0, \therefore V = 0 \quad (9)$$

Concluíram assim que, na Ponte de Wheatstone em equilíbrio, a tensão, ou ddp (diferença de potencial), entre os vértices  $(b)$  e  $(c)$  é igual a zero. A relação dada na equação (8) também valia para o circuito da Figura 3, pois, nos pontos  $(b)$  e  $(c)$ , a ddp seria igual a zero.

As equações (7) e (8) possibilitaram averiguar o comportamento da corrente  $i5$  no circuito, como

proposto na Figura 4. No laboratório de elétrica, foram realizados testes utilizando quatro resistores de valor fixo de  $10k\Omega$  (R1, R2, R3 e R5), um resistor ajustável (potenciômetro R4), de resistência máxima de  $10k\Omega$ , uma bateria de 24,1V, uma *protoboard* (placa de testes utilizada para a montagem de circuitos), um multímetro e também um miliamperímetro, ambos digitais. Após a montagem do circuito, foram medidos os valores reais dos resistores fixos (R1, R2, R3 e R5), da tensão da bateria, assim como o valor desejado da resistência do resistor ajustável (potenciômetro R4) para cada teste a ser executado. As medidas dos valores reais de cada componente (Tabela 1 – de R1( $\Omega$ ) a R5( $\Omega$ )) são necessárias pela variabilidade existente no processo produtivo

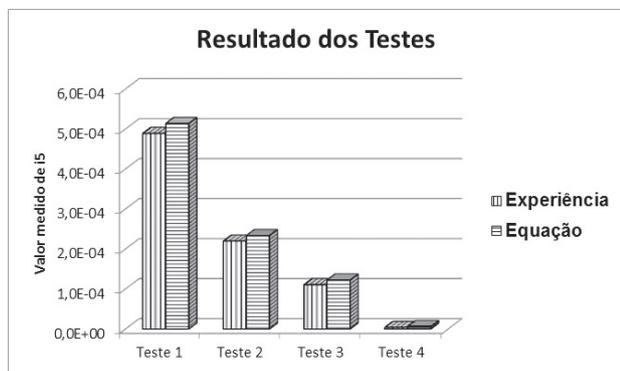
dos componentes. Além desse fator, outros, como temperatura, contatos imperfeitos e capacidade de precisão do multímetro, também contribuem para a divergência entre os valores obtidos por meio empírico e o valor comercial. Esse fato não invalida a comprovação da equação (7), pois os valores obtidos experimentalmente são muito próximos aos obtidos pela equação. Por fim, mediram a corrente  $i5$  (Tabela 1 –  $i5(A)$  Experiência) e, com auxílio da equação (7), obtiveram os valores da corrente  $i5$  (Tabela 1 –  $i5(A)$  Equação). Essa atividade aproximou a compreensão teórica da empírica, promovendo discussões pertinentes acerca do assunto, tanto com o engenheiro eletricitista quanto com a professora-pesquisadora.

**Tabela 1: Medições no laboratório e valores de  $i5$  gerados com a equação (7).**

Teste	R1( $\Omega$ )	R2( $\Omega$ )	R3( $\Omega$ )	R5( $\Omega$ )	E(V)	R4( $\Omega$ )	$i5(A)$ Experiência	$i5(A)$ Equação
1	9.980	9.890	9.980	9.820	24,1	1.980	0,0004890	0,0005138
2	9.980	9.890	9.980	9.820	24,1	5.100	0,0002200	0,0002337
3	9.980	9.890	9.980	9.820	24,1	7.000	0,0001110	0,0001224
4	9.980	9.890	9.980	9.820	24,1	10.070	0,0000040	0,0000063

A Figura 6 mostra, graficamente, a variação da corrente  $i5$  em função da variação da resistência de R4 (resistor ajustável – potenciômetro), bem como a variação da mesma corrente observada por meio da equação (7), cumprindo com as etapas de levantamento de hipóteses e suposições, antes planejadas pelos autores desta pesquisa.

**Figura 6: Proximidade das medições empíricas das medições pela equação (7).**



Ao final do experimento, a professora-pesquisadora promoveu uma discussão com toda a turma

sobre as possíveis situações em que sistemas lineares poderiam ser instrumento de uso e interpretação de fenômenos, tais como na produção de produtos mediante recursos limitados, no fluxo de dados da Internet, na ramificação de um gasoduto, etc. Os protocolos dos estudantes confirmaram progressos no conhecimento e usos de sistemas lineares em contextos diversos, o que evidenciou a aprendizagem significativa (NOVAK, 1981) perseguida pela ação educacional realizada.

## CONCLUSÕES

A situação didática proposta pareceu ter favorecido a produção de conhecimentos sobre sistemas lineares, por parte dos estudantes, propósito primeiro da intervenção pedagógica. Ademais, em meio às atividades propostas, outros significados foram apresentados pelos estudantes de Engenharia, como a compreensão pela aplicação de leis acerca de conceitos da eletricidade.

Todos os estudantes envolvidos souberam simular a experiência vivida com sistemas lineares aplicados à Ponte de Wheatstone (*milieu*) em outros contextos que exigiam o mesmo raciocínio e provocados pela professora-pesquisadora oralmente.

As atividades que compuseram a situação proporcionaram abordagem de conteúdos conceituais (sistemas lineares, Ponte de Wheatstone e os conceitos em eletricidade), procedimentais (a construção dos circuitos, os exercícios propostos, etc.) e atitudinais (a busca do conhecimento em livros, na Internet, no laboratório de elétrica e junto ao engenheiro electricista), observados pela professora-pesquisadora.

A mediação da professora-pesquisadora, bem como do engenheiro electricista e dos colegas que mais rapidamente atingiam as compreensões dos conteúdos, cumpriu com o papel de organizar e reorganizar a estrutura mental dos alunos a partir dos conceitos de adaptação, assimilação e equilíbrio, preconizados por Piaget.

O saber matemático, inicialmente oculto e emerso do estudo proposto na situação didática, parece ter conduzido esses estudantes a um patamar mais avançado sobre equações e sistemas lineares, como defendido por Brousseau – fato verificado durante a aplicação da situação didática, ao terem sido capazes de formular equações a partir do circuito proposto e de terem compreendido a necessidade da união das equações em um sistema, visando ao cálculo da corrente desejada. A generalização dos usos de sistemas lineares em contextos diversos questionados aos estudantes confirmou a hipótese do valor educacional da situação didática aqui experimentada, além de evidenciar a produção de significados e de agregação de novos conhecimentos aos subsunçores presentes em suas estruturas cognitivas, levando-os ao engrandecimento cognitivo e humano preconizados por Novak.

## REFERÊNCIAS

- ANTON, H. A.; RORRES, C. **Álgebra linear com aplicações**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BARTKOWIAK, R. A. **Circuitos elétricos**. 2. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1999.
- BROUSSEAU, G. Fundamentos e métodos da Didáctica da Matemática. In: BRUN, J. **Didática das Matemáticas**. Tradução de Maria José Figueiredo. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. p. 35-113.
- BROUSSEAU, G. **Theory of didactical situations in mathematics**: didactique des mathématiques, 1970-1990. Kluwer Academic Publishers, 1997.
- BROUSSEAU, G. **Théories des situation didactiques**. La pensée sauvage, Grenoble, 1998.
- CARLEN, E. A.; CARVALHO, M. C. **Álgebra linear**: desde o início. Tradução de José Rodolfo Souza. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- DOUADY, R. Didactique des Mathématiques. **Encyclopedia Universalis**, 1985. p. 885-889.
- GÁLVEZ, G. A. A Didática da Matemática. In: PARRA, C.; SAIZ, I. **Didática da Matemática**: reflexões psicopedagógicas. Porto Alegre: Artmed, 1996. p. 26-35.
- LÜDKE, M; André, M. E. D. **Pesquisa em Educação**: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986. p. 11-13.
- NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira, 1981.
- PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**: o problema central do desenvolvimento. Tradução de Marion Merlone dos Santos Penna. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.
- PIAGET, J. **A epistemologia genética**. Tradução de Nathanael C. Caixeira. São Paulo: Martins Fontes, 1990.
- PIAGET, J. **Para onde vai a educação?** Tradução de Ivette Braga. 14. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1998.
- POOLE, D. **Álgebra linear**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- SOUZA, M. A. V. F. de; SIMMER, L. M. Sistemas lineares: do ensino médio às engenharias. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Buenos Aires: Argentina, 27, julho. 2013.
- SOUZA, M. A. V. F. de. Sistemas lineares na Engenharia: conceito, significados e situação didática. *Enseñanza de las Ciencias*, v. extra, p. 3.656-3.661, 2013.



# UMA FERRAMENTA PARA SUPORTE AO ENSINO DO PROTOCOLO AODV

DOI: 10.15552/2236-0158/abenge.v34n2p71-81

Karine S. de Almeida,<sup>1</sup> Tassalon F. da Silva,<sup>2</sup> Daniel G. Costa<sup>3</sup>

## RESUMO

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um *software* para o ensino do protocolo de roteamento AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector*). O AODV é muito utilizado em diversas aplicações de redes de telecomunicações sem fio, a fim de possibilitar o encaminhamento de dados entre os dispositivos de origem e destino, quando uma infraestrutura de comunicação não está disponível. Devido à importância desse protocolo no cenário atual das telecomunicações, torna-se necessário o uso de ferramentas que possam contribuir para o ensino dos conceitos relacionados a essa tecnologia. Assim, cursos como o de engenharia de computação e engenharia de telecomunicações, por exemplo, poderão abordar os conceitos do protocolo AODV de forma diferenciada com o uso do *software* apresentado neste trabalho. Isso permitirá que alunos possam não apenas aprender, mas também simular, realizar análises e comparações e obter conclusões mais detalhadas sobre essa tecnologia.

**Palavras-chave:** Ferramenta de ensino; protocolo de roteamento; AODV.

## ABSTRACT

### A TOOL TO SUPPORT TEACHING OF PROTOCOL AODV

This article presents the development of a software tool for teaching a routing protocol, Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV). AODV is broadly used in many applications of wireless telecommunications networks in order to allow routing of data between source and destination devices, when a communication infrastructure is not available. Due to the importance of this protocol in the current telecom scenario, it becomes necessary to use tools that can contribute to teaching the concepts related to this technology. Thus, courses such as computing and telecommunications engineering, for instance, can treat the concepts of AODV protocol in a different way using the software showed in this paper. This will allow students to not only learn, but also to simulate, to perform analysis and comparisons and to get detailed conclusions about this technology.

**Keywords:** Teaching tool; routing protocol; AODV.

1 Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); Engenheira de Computação; karine.almeidaa@gmail.com

2 Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); Engenheiro de Computação; tassalonfs@gmail.com

3 Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Professor Adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); danielgcosta@uefs.br

## INTRODUÇÃO

Atualmente, presencia-se um notório crescimento na área de redes sem fio. Essas redes possibilitam a mobilidade de dispositivos, flexibilidade, diminuição de custos de infraestrutura, instalações em áreas de difícil cabeamento, entre outras características (KUROSE; ROSS, 2010). Esses aspectos permitem que a tecnologia móvel ofereça aos usuários a possibilidade de acesso a serviços e o compartilhamento de informações a qualquer instante e em diferentes lugares, propiciando, assim, seu uso em diversas aplicações, como, por exemplo, redes de sensores sem fio e redes veiculares (VIEIRA; CELESTINO JÚNIOR, 2001; CAO; LU, 2010).

Uma rede sem infraestrutura definida, mais conhecida como rede *ad-hoc*, corresponde a um conjunto de nós móveis, sem fio, com a capacidade de auto-organização em uma topologia arbitrária e temporária, com a inexistência de uma entidade central (KUROSE; ROSS, 2010). Um nó de uma rede *ad-hoc* pode se comunicar diretamente com outros nós que estiverem no seu raio de alcance, sendo chamados de nós vizinhos. Caso a distância entre dois nós seja maior do que o raio de cobertura, é possível estabelecer uma rota entre os dois, tornando a comunicação fim-a-fim possível. Isso é feito através de nós móveis intermediários, que agem como roteadores, encaminhando pacotes de dados para outros nós na rede.

Nesse contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento de um *software* para suporte ao ensino de um protocolo de roteamento usado em redes *ad hoc*, denominado *Ad Hoc On-Demand Distance Vector* (AODV), o qual estabelece formas de envio de pacotes entre dois nós quaisquer, em uma rede sem fio. O *software* desenvolvido apresenta as principais características do protocolo AODV, por meio da simulação de seu funcionamento, sendo possível, também, fazer análises de desempenho através de gráficos, permitindo que o usuário possa compreender as vantagens e limitações desse protocolo de comunicação.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, é apresentada uma revisão da literatura sobre o protocolo AODV, com enfoque nas suas principais características. Na Seção 3, descrevemos

em detalhes como foi desenvolvido o *software* para ensino do AODV e explicamos o seu funcionamento, bem como as possibilidades de análises de desempenho que ele oferece. Na Seção 4, apresentamos algumas simulações realizadas pelo *software* para demonstrar seu potencial didático e exemplificamos como ele pode ser usado para gerar resultados e fazer análises de desempenho. Por fim, na Seção 5, são feitas as considerações finais, resumindo os pontos mais relevantes deste trabalho, seguidas pelas referências.

## PROTOCOLO AODV

O AODV é um protocolo de roteamento que foi desenvolvido para utilização em redes *ad-hoc* com dezenas ou mesmo milhares de nós móveis. Seu principal objetivo é se adaptar de forma rápida e dinâmica às variações da rede (PERKIN; ROYER, 1999). Dessa maneira, o AODV possui um mecanismo de descoberta de rotas para otimizar o uso do canal de transmissão, ao mesmo tempo em que diminui o uso de memória e do processamento.

O mecanismo de descoberta de rotas do AODV atua sob demanda, de forma que não é preciso que um nó conheça uma rota até outro nó a todo instante, mas apenas quando um nó deseja se comunicar com outro nó da rede (PERKIN *et al.*, 2003). O processo de descoberta de rotas do AODV é iniciado quando um nó fonte envia para os seus vizinhos uma mensagem *route request* (RREQ) e cada vizinho encaminha essa mensagem para os seus respectivos vizinhos, e assim sucessivamente (MURTHY; MANOJ, 2004). Essa etapa da descoberta de rotas termina quando a mensagem alcança um nó que possui uma rota para o destino ou quando alcança o próprio nó destino. Além disso, é importante ressaltar que, quando um nó recebe um RREQ, ele insere uma entrada na tabela de roteamento referente ao nó que encaminhou a mensagem (PERKIN *et al.*, 2003).

Após alcançar o destino, ou algum nó intermediário que conhece uma rota para o destino, ocorre a segunda etapa do processo de descoberta de rotas, que diz respeito a uma mensagem de resposta denominada *route response* (RREP), enviada via *unicast*, através do caminho reverso configurado na primeira etapa (PERKIN; ROYER, 1999). Por se tratar de

uma rede de nós móveis, o protocolo tenta garantir que as rotas criadas sejam sempre válidas. Para isso, o AODV realiza um mecanismo conhecido como manutenção de rotas. A manutenção de rotas é acionada quando um nó detecta a queda de um enlace (MURTHY; MANOJ, 2004). Então, uma mensagem informando essa queda de enlace, o *route error* (RERR), é enviada e propagada através dos nós que pertencem ao caminho, sendo disparado um novo processo de descoberta de rota, atualizando, assim, as tabelas de roteamento. O reconhecimento da queda de um enlace é feito através da detecção de vizinhança, que atua enviando periodicamente mensagens de *broadcast* (mensagens HELLO) que servem para confirmar a conectividade entre vizinhos (PERKIN; ROYER, 1999). Quando um vizinho não recebe uma mensagem durante certo período de tempo, então é considerada a queda de um enlace (MURTHY; MANOJ, 2004).

O AODV tem uma política de fazer com que os nós intermediários de um caminho introduzam dinamicamente entradas em suas tabelas de roteamento para cada destino (PERKIN *et al.*, 2003). Entretanto, seus pacotes não precisam possuir todo o caminho do nó fonte até o nó destino, o que diminui a sobrecarga da rede. Em adição a isso, esse protocolo de roteamento é baseado na combinação de outros dois algoritmos, o *Dynamic Source Routing* (DSR) e o *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV) (TOMAR *et al.*, 2011). O AODV adota os mecanismos de descoberta e manutenção de rotas usados no DSR e utiliza uma perspectiva melhorada do DSDV no sentido de tratar erros. Outra diferença entre o AODV e o DSDV é que AODV busca eliminar a necessidade de um *broadcast* global para o roteamento de informações, diferentemente do DSDV, que possui essa característica, limitando, assim, a sua escalabilidade. Sem o *broadcast* global, o AODV minimiza a latência quando novos nós são incluídos à rede (TOMAR *et al.*, 2011).

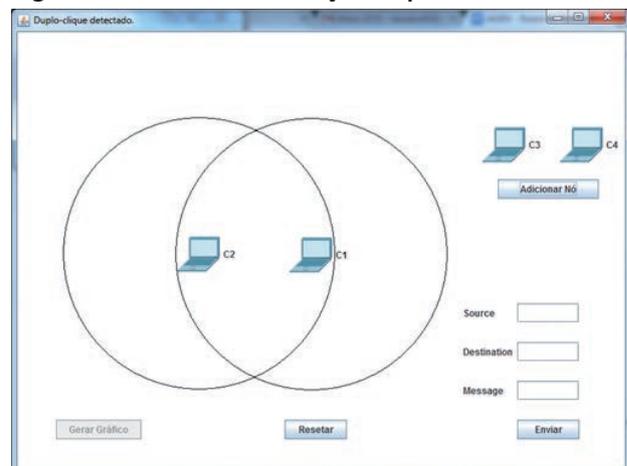
Em geral, alguns pontos que devem ser observados ao avaliar quantitativamente o desempenho de protocolos de roteamento são: *throughput* de dados fim-a-fim e o atraso dos pacotes; tempo de descobrimento da rota, principalmente nos algoritmos que operam sob demanda; e eficiência com relação à quantidade de dados de controle que precisa ser

trafegada na rede (TOMAR *et al.*, 2011). Entre os critérios de avaliação citados, o *software* desenvolvido é capaz de avaliar a sobrecarga de informações de controle no protocolo AODV, possibilitando ao usuário analisar quanto de dados de controle é necessário para transmitir dados úteis pela rede, levando em consideração a quantidade de nós móveis da rede.

## Ferramenta desenvolvida

O *software* para suporte ao ensino do protocolo AODV foi desenvolvido usando a linguagem de programação JAVA, com auxílio da biblioteca *jfreechart*, para a criação dos gráficos. O primeiro passo para o desenvolvimento do simulador foi criar um ambiente propício para o teste do AODV. Tal ambiente iria, então, permitir aos usuários a inserção de dispositivos móveis, também chamados de *hosts*, ou simplesmente de nós. Campos para especificar os *hosts* de origem e destino, bem como a mensagem a ser transmitidas entre eles, fazem parte da interface de simulação. A Figura 1 ilustra a interface desenvolvida para a simulação do protocolo AODV.

Figura 1: Interface de simulação do protocolo AODV.



Na interface desenvolvida, os nós (representados como computadores portáteis) podem ser arrastados e reposicionados em qualquer local do cenário, possibilitando simular os efeitos da mobilidade dos nós. A qualquer momento, novos nós podem ser adicionados ao cenário, não havendo limites para a quantidade de *hosts* que podem ser inseridos. O botão **Resetar** reinicia a interface, retirando os nós que foram inseridos e permitindo ao usuário realizar outra simulação. O botão **Enviar**

dá início ao processo de execução do protocolo de roteamento AODV, fazendo com que o *host* de origem consiga entregar uma mensagem para o *host* de destino.

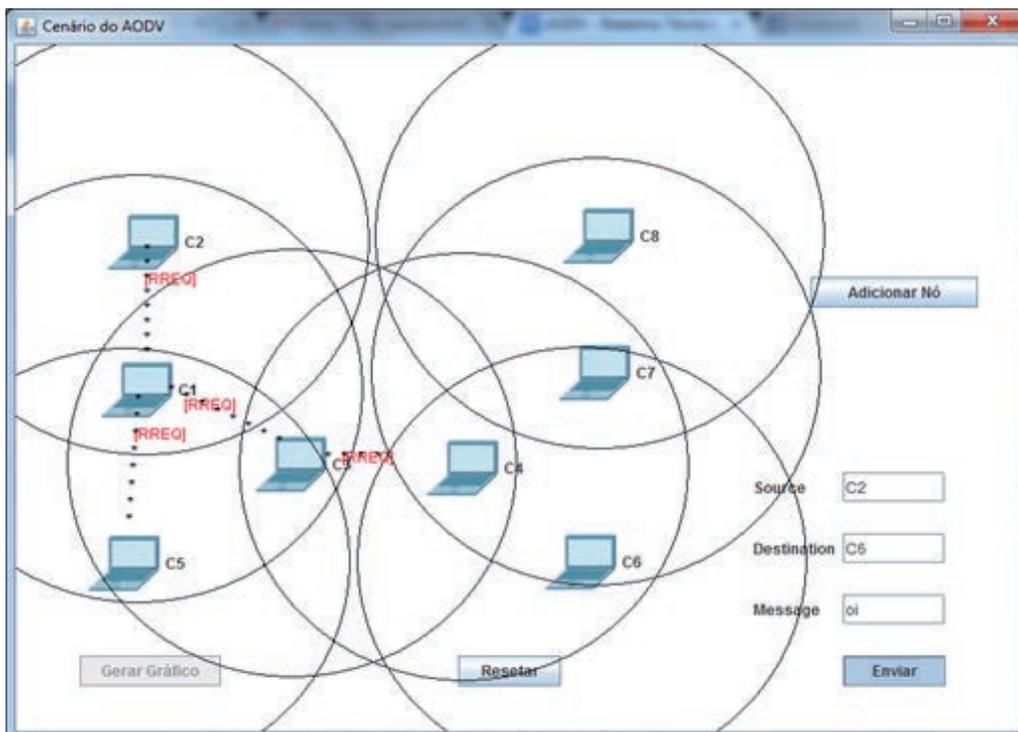
O círculo desenhado em volta de cada *host* inserido no cenário representa o seu raio de alcance, numa transmissão sem fio. A distância do alcance dos *hosts* é pré-fixada no programa, e é igual para todos os dispositivos. É a partir desse raio de alcance que os *hosts* detectam seus vizinhos e criam suas tabelas de vizinhos, necessárias para o posterior descobrimento de rotas para *hosts* remotos (não vizinhos). O raio de alcance de cada *host* é exibido após um duplo clique sobre o *host* posicionado no cenário. Em alguns momentos, durante a execução do protocolo AODV, o raio de alcance de todos os *hosts* é exibido simultaneamente, para facilitar a compreensão do seu funcionamento.

Quando um *host* está dentro do raio de alcance de outro *host*, eles são considerados vizinhos. Para implementar a detecção de vizinhos, calcula-se a distância entre dois nós e se verifica se o raio de alcance é maior que essa distância entre eles. Caso o raio de alcance seja maior do que a distância entre

eles, então, os nós envolvidos são considerados vizinhos e essa informação deve ser armazenada em cada *host*, em sua respectiva tabela de vizinhos.

Após adicionar *hosts* no cenário e definir quem será o nó de origem e o de destino, a mensagem pode ser enviada clicando-se no botão **Enviar**. Como o protocolo de roteamento AODV é um protocolo sob demanda, as rotas para os *hosts* são obtidas apenas quando uma mensagem precisa ser enviada. Quando um *host* precisa enviar uma mensagem e não conhece uma rota para o destino, ele envia um *route request* (RREQ) em *broadcast*. Os seus vizinhos recebem esse *broadcast* e verificam se conhecem uma rota para o destino da mensagem. Caso um dos vizinhos conheça uma rota para o destino ou caso seja o próprio destino da mensagem, ele envia então um *route reply* (RREP) *unicast* para a origem, informando a rota. Caso nenhum dos vizinhos conheça uma rota para o destino, então, eles repassam o RREQ até alcançar o nó de destino da mensagem ou um nó que tenha uma rota para o destino. A Figura 2 mostra o *host* C2 enviando um RREQ para descobrir uma rota para o *host* C6.

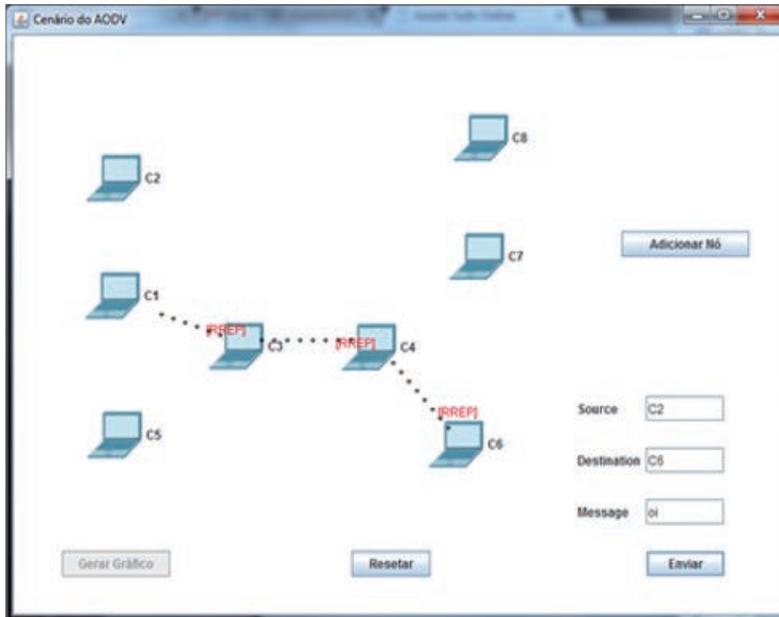
Figura 2: Envio de RREQs em busca de uma rota para o destino da mensagem.



Durante o processo de envio de RREQ, as tabelas de roteamento dos nós intermediários vão sendo montadas. Através dos RREQs, eles aprendem como alcançar o *host* de origem da mensagem. Quando algum *host* tem uma rota para o destino ou

é o próprio destino da mensagem, ele responde ao RREQ com uma resposta RREP, informando a rota para alcançar o destino. A Figura 3 mostra o RREP sendo encaminhado para o *host* de origem (que nesse exemplo é o C2).

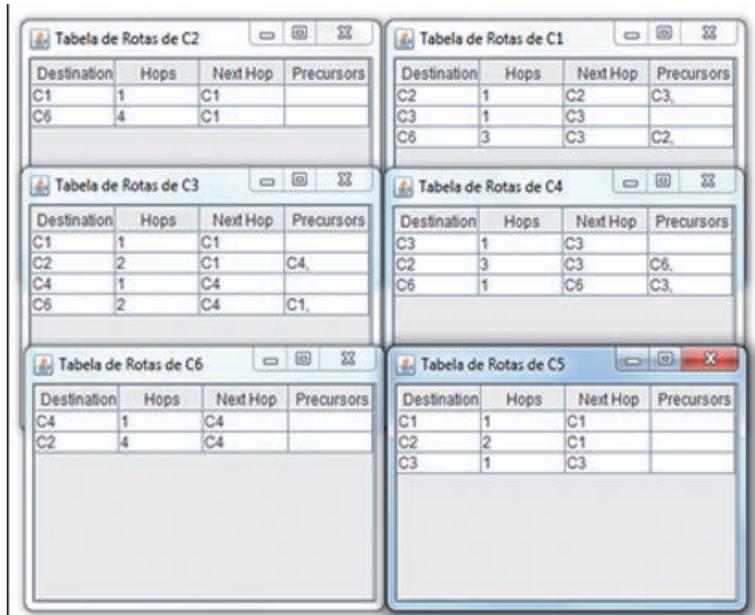
Figura 3: Envio de RREP para informar para origem (C2) de uma rota para o destino (C6).



O pacote RREP é encaminhado pelos nós até alcançar o *host* de origem da mensagem. Com isso, o nó de origem aprende uma rota para o destino e, a partir desse momento, ele pode enviar a mensagem para o destinatário. Durante o encaminhamento dos RREP, os nós intermediários aprendem novas rotas

para adicionar na tabela de roteamento. A tabela de roteamento de um *host* pode ser visualizada dando um duplo clique sobre o *host*. A Figura 4 ilustra a tabela de roteamento de vários *hosts* do cenário exibido na Figura 3, após C2 receber o RREP.

Figura 4: Tabela de roteamento dos *hosts* C2, C1, C3, C4, C6 e C5.



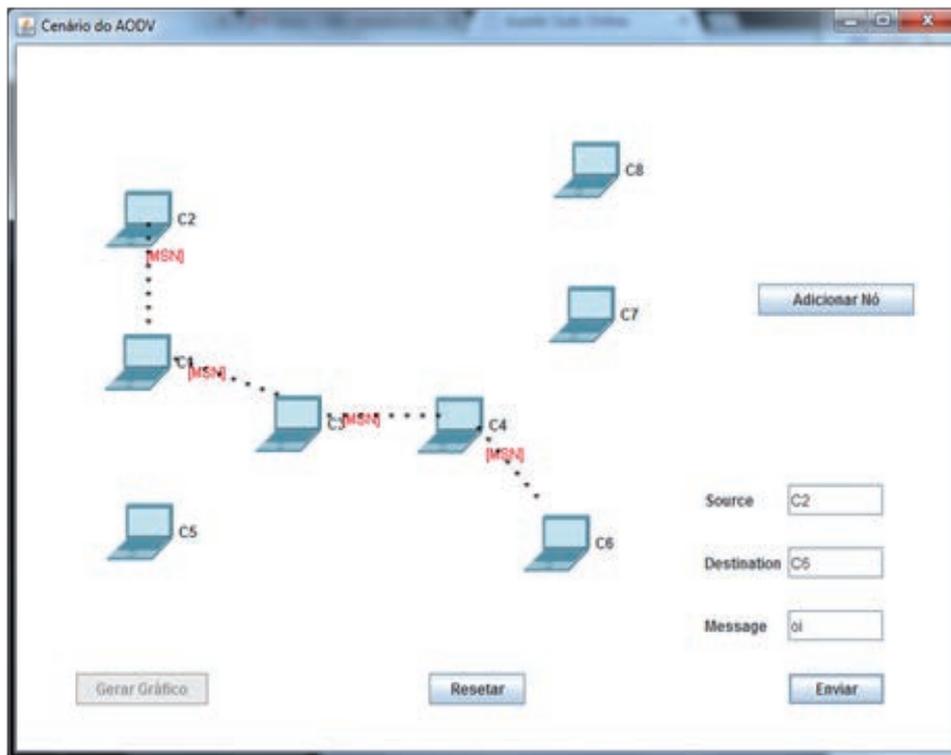
Cada rota da tabela de roteamento implementada é composta pelos campos:

- **Destination** – Campo responsável por identificar qual *host* é acessível com as informações dessa rota.
- **Hops** – Campo que informa por quantos *hosts* o pacote terá que passar para chegar ao destino.
- **NextHop** – Campo que determina qual é o próximo *host* a que deve ser enviado o pacote para se alcançar o destino.
- **Precursors** – Campo responsável em determinar os *hosts* que também usam essa rota para encaminhar pacotes. Esse campo é útil para informar aos *hosts* quando uma rota se torna inalcançável.

Além disso, há diversos outros campos que o protocolo AODV original determina para compor uma rota da tabela de roteamento, porém, eles não foram usados nessa implementação por questões de simplificação no desenvolvimento do simulador. Os campos usados são suficientes para simular as principais funcionalidades do protocolo, sem muitos prejuízos.

Quando o *host* de origem recebe um RREP informando uma rota para o destino da mensagem, ele pode de fato enviar a mensagem que deseja. Caso o *host* de origem não receba um RREP, ele considera que não há uma rota para o destino e, então, a mensagem é descartada. A Figura 5 mostra o envio da mensagem do *host* C2 até o *host* de destino C6.

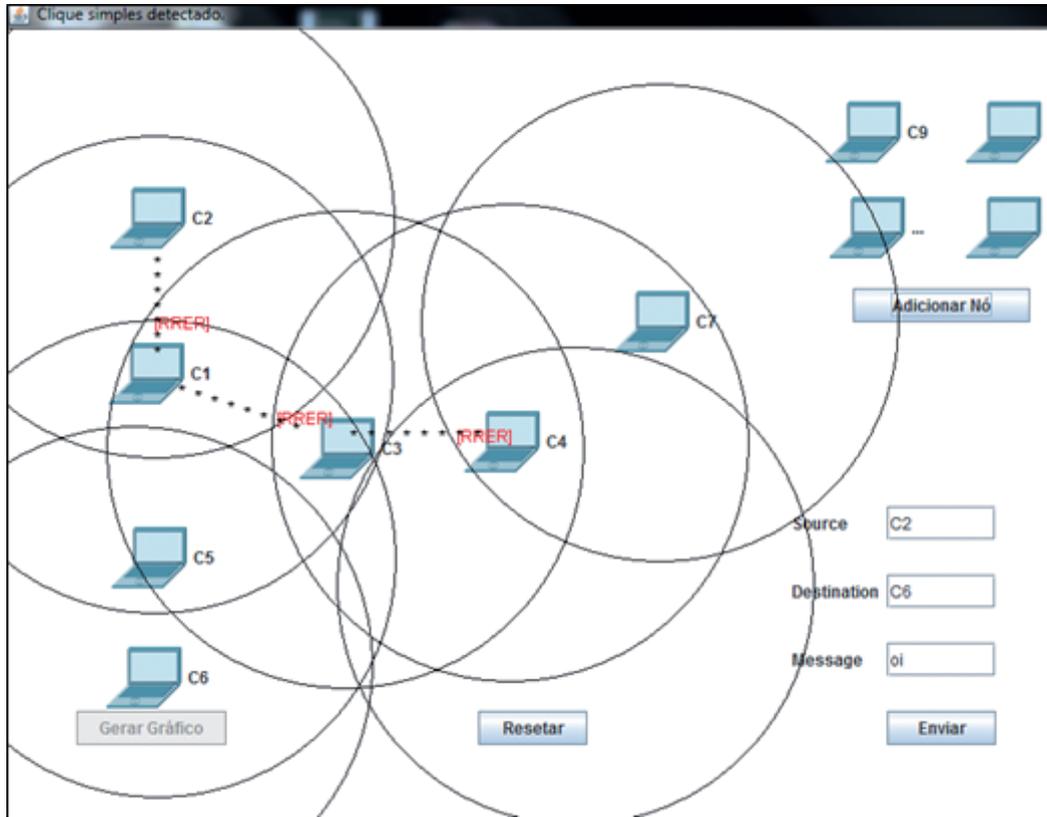
Figura 5: Envio da mensagem de C2 para C6, após a origem aprender uma rota para destino.



Pacotes *route error* (RERR) são enviados quando uma rota se torna inativa. Isso pode acontecer pela movimentação dos nós. Quando um *host* percebe que um nó vizinho se tornou inalcançável, ele envia um pacote RERR para todos os *hosts* que tinham uma rota para esse nó, informando que a rota não está mais disponível. Isso é possível porque o *host* que percebeu a ausência do vizinho armazena uma tabela de precursores para a rota que foi desativa-

tiva. Então, os *hosts* removem de suas tabelas de roteamento a rota para o destino que se tornou inalcançável. Caso o *host* que se movimentou tenha se tornado vizinho de outro *host* no cenário, será possível descobrir uma nova rota para ele através do envio de novos pacotes de requisição RREQ. A Figura 6 mostra o encaminhamento de mensagens RERR após a mudança de posição do nó C6.

Figura 6: Envio de RERR quando o *host* 6 muda de posição no cenário.



Por fim, foi desenvolvido um mecanismo para a geração de gráficos, com o objetivo de avaliar o desempenho e a sobrecarga da rede sob a operação do protocolo de roteamento AODV. Assim, as mensagens transmitidas pela rede são registradas e usadas para gerar gráficos que relacionam a quantidade de dados úteis (mensagens) transmitidos com a quantidade de pacotes de controle (RREQ, RREP e RERR) necessários para tornar a comunicação possível. Para gerar um gráfico, basta clicar sobre o botão **Gerar Gráfico**. Esse botão só se torna ativo após o envio de pelo menos três mensagens. Os gráficos obtidos são dinâmicos e irão variar de acordo com o cenário de teste utilizado, ou seja, a quantidade de mensagens transmitidas, a quantidade de *hosts* inseridos no cenário e a movimentação desses *hosts* irão influenciar diretamente no gráfico resultante.

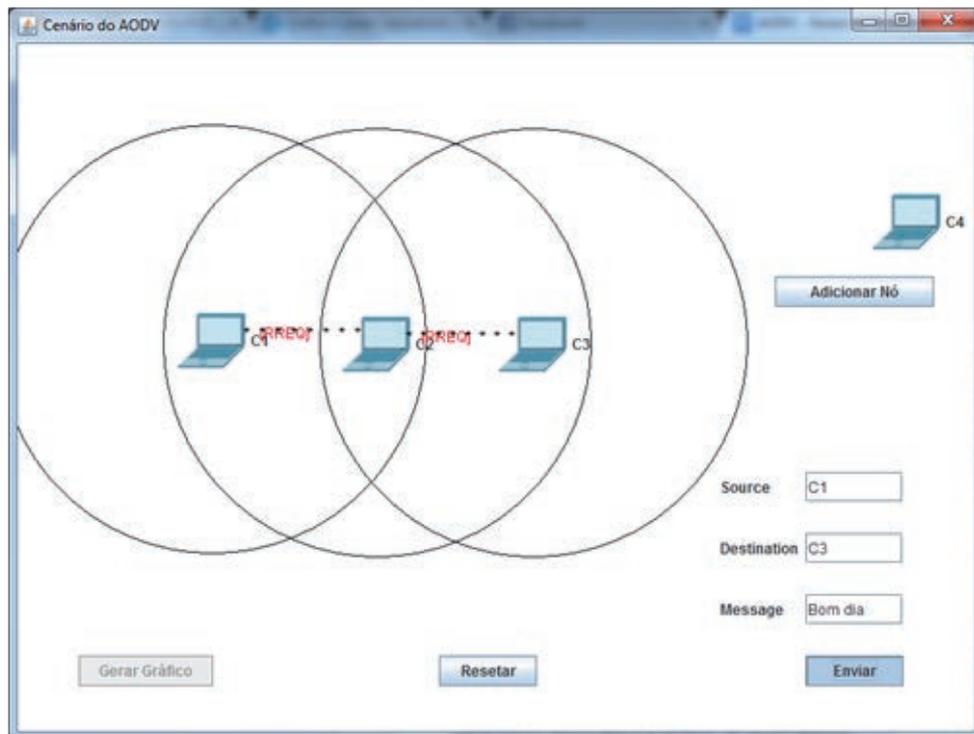
Os gráficos podem ser usados para avaliar diversas situações, como, por exemplo, a influência da quantidade de *hosts* para a sobrecarga da rede, bem como a diferença na sobrecarga da rede com a variação da quantidade de mensagens transmitidas. A sobrecarga ocasionada com a movimentação dos *hosts*

durante o envio de mensagens também é mais uma das diversas possibilidades de análise que o mecanismo de geração de gráficos desenvolvido permite realizar.<sup>1</sup>

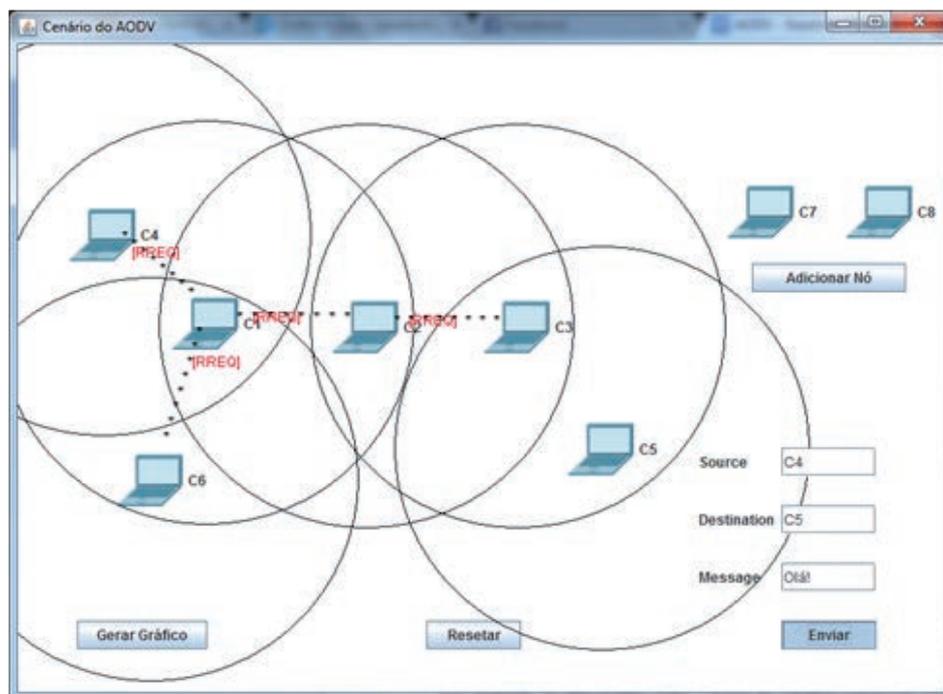
## ESTUDO DE CASO

Nesta seção, iremos apresentar alguns gráficos gerados pelo próprio simulador, durante a realização de testes sobre o protocolo de roteamento AODV, para diversas situações. O teste realizado tem o objetivo de avaliar a influência da quantidade de *hosts* para a sobrecarga da rede no pior caso. O pior caso acontece quando *hosts* das extremidades da rede tentam se comunicar, pois, nessa situação, os dados de controle precisam passar por toda a rede para alcançar os destinatários. Para realizar o teste, inicialmente, foram colocados três nós no cenário, como mostra a Figura 7, e enviadas dez mensagens entre os nós das extremidades.

<sup>1</sup> A ferramenta pode ser encontrada para download no endereço: <www2.uefs.br/netmedia/downloads.html>.

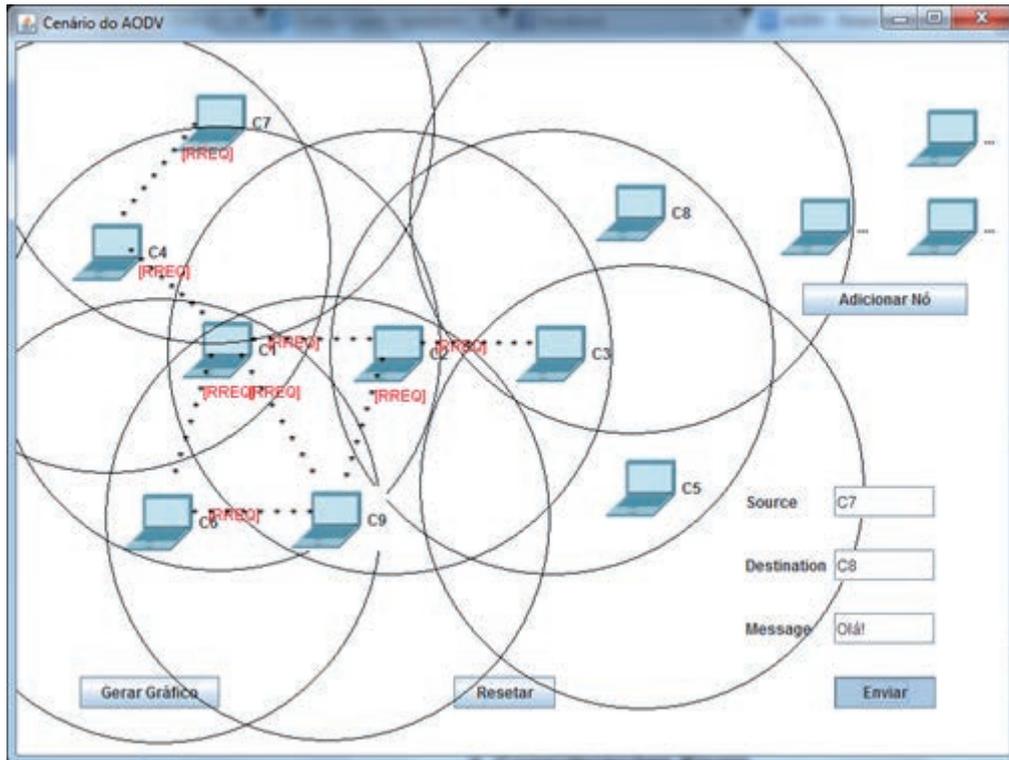
**Figura 7: Teste realizado com três *hosts* enviando mensagens entre C1 e C3.**

Em seguida, foram adicionados mais três *hosts* ao cenário, conforme mostra a Figura 8, e enviado outros dez pacotes entre os nós das extremidades.

**Figura 8: Teste realizado com seis *hosts* enviando mensagens entre C4, C5 e C6.**

Para finalizar o teste, foram adicionados mais três *hosts* ao cenário, totalizando nove *hosts*, conforme mostra a Figura 9, e foram enviados outros dez pacotes entre os nós das extremidades.

Figura 9: Teste realizado com 6 *hosts* enviando mensagens entre C7, C8 e C9.



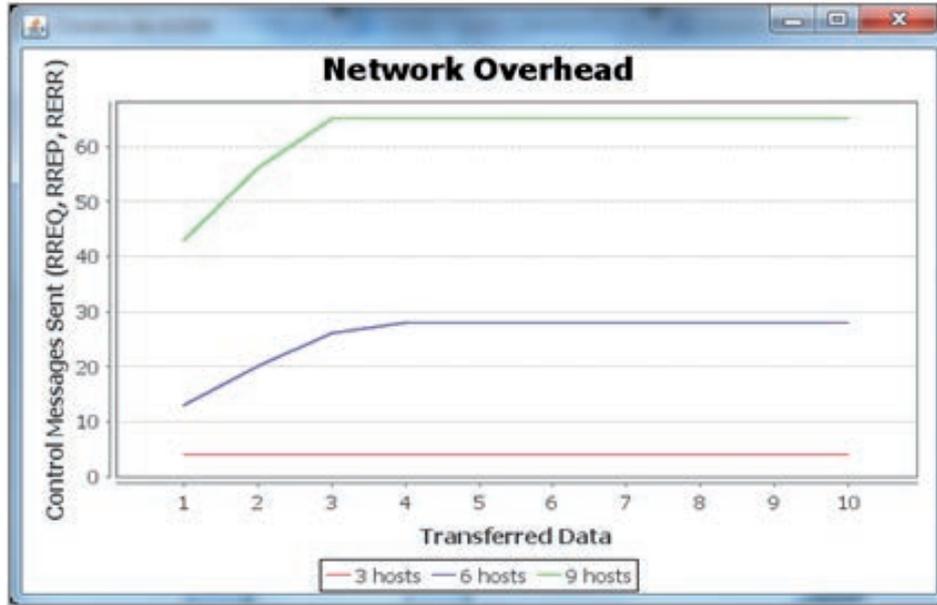
Após o envio das mensagens, o gráfico foi gerado e os resultados obtidos podem ser conferidos na Figura 10. Percebe-se um aumento considerável no envio de mensagens de controle à medida que mais *hosts* são adicionados na rede. Isso mostra que a sobrecarga da rede para enviar dados úteis (mensagens) aumenta diretamente com a quantidade de *hosts* que a compõem.

É importante notar que o aumento da quantidade de mensagens de controle enviadas reflete também no tempo gasto para transmitir as mensagens pela rede. Se mais mensagens de controle precisam ser enviadas para descobrir uma rota até o destino, consequentemente, o tempo gasto para enviar um pacote de dados entre os *hosts* também aumenta.

Porém, após o período de aprendizado das rotas, cada *host* já conhece uma rota para todos os

outros *hosts*, não sendo mais necessário o envio de mais mensagens de controle. A partir desse momento, a sobrecarga provocada pelas mensagens de controle é eliminada e o desempenho da rede melhora no envio de novas mensagens. Isso pode ser notado, na Figura 10, após o envio da quarta mensagem. A figura mostra que, para enviar cinco ou dez pacotes para as diferentes quantidades de *hosts*, a quantidade total de pacotes de controle necessários é a mesma. Em outras palavras, o tempo necessário para enviar o 5º pacote é o mesmo tempo gasto para enviar o 6º, o 7º ou o 10º pacote, pois não há necessidade de enviar mais mensagens de controle, já que os *hosts* de origem já conhecem as rotas para os destinos das mensagens. Nesse caso, novas mensagens de controle apenas são necessárias quando uma rota se torna inativa.

Figura 10: Gráfico comparando a sobrecarga sobre a rede em relação à quantidade de *hosts*.



## CONCLUSÕES

Na elaboração do *software* que simula o funcionamento do AODV, buscou-se focar nos aspectos didáticos para fazer da ferramenta não apenas um simples simulador, mas um facilitador do ensino de uma tecnologia cada vez mais comum no mundo real, como é o protocolo de roteamento AODV. Entre os aspectos didáticos desenvolvidos, podemos citar a interface com o usuário, que permite que qualquer indivíduo possa posicionar os *hosts* em qualquer local, simplesmente arrastando-o para a posição desejada. Além disso, o usuário pode adicionar quantos nós desejar para fazer desde simulações simples até as mais complexas.

Outro fator facilitador do entendimento do protocolo é tornar visível o raio de alcance de cada *host*, para que o usuário possa entender que a transmissão de dados só é possível quando os dispositivos estão dentro do raio de alcance dos demais, seja diretamente ou indiretamente, através de vizinhos. Durante a simulação da transmissão de dados, o *software* também informa ao usuário qual tipo de pacote está sendo transmitido (se são pacotes de controle, e quais são eles, ou de dados), o que facilita ainda mais o entendimento de todos os passos necessários para a construção das rotas e o encaminhamento correto dos dados. A possibilidade de o usuário também analisar a tabela de roteamento

de qualquer *host*, em qualquer instante da simulação, permite sanar quaisquer dúvidas e oferecer uma completa compreensão do funcionamento do AODV.

Por fim, a possibilidade de gerar gráficos de desempenho que possam levar o usuário a tirar conclusões pertinentes acerca do funcionamento do protocolo é de grande importância para completar o entendimento das vantagens e desvantagens do protocolo estudado. Através da geração dos gráficos, o usuário pode analisar a quantidade de requisições necessárias para realizar a comunicação entre diferentes dispositivos, levando em consideração a quantidade de *hosts* entre eles, e perceber, na prática, como a quantidade de nós influencia no desempenho da rede.

Contudo, é importante salientar que não foram desenvolvidos todos os detalhes do protocolo AODV. A implementação desenvolvida é o suficiente para simular uma comunicação sem fio típica entre *hosts* móveis. Apesar de não ser uma implementação fiel do protocolo AODV, o simulador é capaz de mostrar as principais funcionalidades do protocolo e de obter diversos resultados que contribuem para uma análise e um melhor entendimento da essência do protocolo, bem como as suas vantagens e desvantagens. Para projetos futuros, pode-se utilizar o mesmo ambiente já desenvolvido para simular outros protocolos de comunicação sem fio, e,

assim, permitir que o usuário possa testar diferentes protocolos sobre o mesmo cenário e comparar o desempenho entre eles.

## REFERÊNCIAS

- KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Redes de computadores e a Internet**: uma abordagem top-down. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- CAO, Z.; LU, G. **S-AODV**: sink routing table over AODV routing protocol for 6LoWPAN. Networks Security Wireless Communications and Trusted Computing (NSWCTC), 2010 Second International Conference on, p. 340-343, 2010.
- VIEIRA, A. S.; CELESTINO JÚNIOR, S. J. **Lógica Fuzzy para melhorar o desempenho do protocolo AODV em redes ad hoc veiculares**. Anais do InfoBrasil, 2001. Disponível em: <<http://www.infobrasil.inf.br/pagina/anais-2011>>. Acessado em: 13 jun. 2014.
- PERKINS, C. E.; ROYER, E. M. **Ad Hoc On-Demand Distance Vector**. Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on, pp.90, 100, 25-26 Feb 1999.
- PERKINS, C. E.; BELDING-ROYER, E.; DAS, S. **Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing**, RFC 3561, July 2003. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>>. Acessado em: 3 nov. 2014.
- MURTHY, C. S. R.; MANOJ, B. S. **Ad Hoc wireless networks**: architectures and protocols. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.
- TOMAR, G. S.; SHARMA, T.; BHATTACHARYYA, D.; TAI-HOON, K. **Performance comparison of AODV, DSR and DSDV under various network conditions**: a survey. Ubiquitous Computing and Multimedia Applications (UCMA), 2011 International Conference on, p. 3-7, 13-15 April 2011.

---

## DADOS DOS AUTORES



**Karine Souza de Almeida** – Engenheira de Computação Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS, 2013). No período da graduação, desenvolveu projetos de Iniciação Científica direcionados aos sistemas de controle e sistemas digitais. Atualmente, é mestranda em Computação Aplicada, pela UEFS, elaborando projeto na área de telecomunicações.,



**Tassalon Ferreira da Silva** – Engenheiro de Computação pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS, 2013). No período da graduação, desenvolveu projetos de pesquisa relacionados a sistemas de controle, automação e desenvolvimento de jogos digitais educativos. Atualmente, é mestrando em Computação Aplicada pela UEFS, desenvolvendo projetos de pesquisa na área de redes de sensores visuais sem fio.



**Daniel Gouveia Costa** – Possui Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2013), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2006), graduação em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2005) e graduação em Tecnologia em Informática pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do RN (2003). É pesquisador na área de redes de computadores e professor da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).