

METODOLOGIA DE ENSINO DE TRATAMENTO TÉRMICO EM AULAS PRÁTICAS NOS CURSOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Denis Boing – denisboing@unifebe.edu.br

Fernando Darci Pitt – fpitt@hotmail.com

Laboratório de Ensaios e Desenvolvimento de Produtos

Centro Universitário de Brusque – Unifebe

Rua Dorval Luz, 123 – Bairro Santa Terezinha

88.352-400 – Brusque – SC

Resumo: *As estratégias de ensino nos cursos de engenharia modernos precisam proporcionar ao aluno a capacidade de compreender os fenômenos, para em seguida aplicá-los na resolução de problemas. Uma das metodologias utilizadas para promover este ambiente de aprendizagem são as aulas práticas experimentais. Neste contexto, este trabalho descreve uma metodologia de ensino aplicada ao curso de Engenharia de Produção para o tema: tratamento térmico e suas influências nas propriedades físicas e microestruturais dos aços. Em cursos de Engenharia de Produção, o referido tema geralmente é abordado em unidades curriculares como a Ciência e Tecnologia dos Materiais, cujo conteúdo é parte integrante do núcleo de conteúdos básicos dos cursos de engenharia, conforme disposto na resolução CNE/CES nº 11 de 11 de Março de 2002. Embora “básico”, este tema por vezes é de difícil assimilação por muitos acadêmicos, principalmente os que não possuem uma vivência industrial prévia ao curso. A experiência prática apresentada neste documento obteve excelentes resultados quanto à compreensão dos acadêmicos no tema proposto. Com a metodologia proposta, os acadêmicos visualizam o experimento prático e recorrem aos conceitos teóricos para explicar os fenômenos. Além disso, esta prática permite diversas variações e metodologias de avaliação, possibilitando um contato prévio com a iniciação científica e principalmente com a abordagem das metodologias de resolução de problemas.*

Palavras-chave: *Metodologia de ensino, Tratamento térmico, Aço 1045.*

1 INTRODUÇÃO

Com o aquecimento da economia Brasileira observada nos últimos anos, proporcionando um maior poder de compra a todas as classes sociais, concomitante a um crescimento da economia global, observa-se a falta de mão de obra especializada em determinadas áreas, como por exemplo, o número de profissionais formados nas áreas da engenharia, tanto em cursos de bacharelado quanto em cursos de tecnologia. E como agravante, muitos cursos tem formado engenheiros com características diferentes daquelas esperadas pelo mercado, como capacidade de resolver problemas, possuir larga base científica e cultural, demonstrar comportamento ético e visão sistêmica do mercado e dos setores produtivos, além de atitude empreendedora e de liderança (ANDRADE et al., 2006). Some-se a isto, o fato de muitos profissionais atuarem em áreas distintas da sua formação, tanto que Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) em parceria com a Confederação Nacional

da Indústria - CNI, em resposta ao convite da Secretaria de Comércio e Serviço – do Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior (SCS/MDIC), estudam a realização de um censo profissional junto aos profissionais registrados no sistema Confea/Crea (CONFEA, 2011).

Neste contexto, é obrigação das instituições de ensino superior que oferecem cursos de engenharia re-pensar suas estratégias de ensino, a fim de proporcionar ao aluno egresso condições de compreender cientificamente os fenômenos abordados e correlacioná-los com o mercado atual. Práticas como aulas demonstrativas, educação baseada em projetos, desenvolvimento de projetos interdisciplinares, iniciação científica, são exemplos de atividades que favorecem esta compreensão científica (DEMO, 2005).

Para demonstrar tal situação, foi desenvolvida uma prática que proporciona aos acadêmicos do curso de Engenharia de Produção a contextualização dos conceitos teóricos por meio de procedimentos experimentais práticos, aproximando o acadêmico dos seguintes temas: tratamento térmico, análise metalográfica, propriedades mecânicas e ensaios de materiais. Estes conteúdos, em cursos de Engenharia de Produção geralmente são abordados em unidades curriculares como a de Ciência e Tecnologia dos Materiais, cujo conteúdo é parte integrante do núcleo de conteúdos básicos dos cursos de engenharia, conforme disposto na Resolução CNE/CES nº 11 de 11 de Março de 2002 (CNE / CES, 2002).

Conforme Giorgetti (2006), com o desenvolvimento de práticas pedagógicas e metodologias apropriadas, torna-se possível conseguir uma melhoria de qualidade nos cursos de engenharia, mesmo que estes sejam ofertados somente a noite para alunos com pouco ou nenhum tempo para estudarem fora da universidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Determinados componentes utilizados na construção mecânica necessitam ser submetidos a processos de tratamento térmico com o propósito de modificar a resistência mecânica, a dureza e aliviar as tensões internas. O objetivo deste tratamento é aprimorar o rendimento em trabalho do componente ou viabilizar os processos de fabricação. O tratamento térmico é definido por um ciclo de aquecimento, manutenção em determinada temperatura para a homogeneização da peça, seguida de um resfriamento, sendo que, todas as etapas são realizadas em condições controladas de tempo e temperatura (CHIAVERINI, 1986).

Para atender as inúmeras finalidades, é possível submeter os materiais metálicos, como o aço, a diferentes tratamentos, dentre os quais, destacam-se: têmpera, recozimento, normalização e revenimento. A diferença entre estes tratamentos esta relacionada com os tempos, as temperaturas e as velocidades de resfriamento de cada ciclo. Deste modo, para que estes tratamentos atinjam seu propósito final, é imprescindível o conhecimento do diagrama de fases e de transformação - tempo - temperatura (TTT) da liga a ser tratada (ASM, 1991).

Para o aumento da resistência mecânica de aços, talvez o tratamento térmico mais importante seja a têmpera, que consiste no aquecimento da liga acima da temperatura crítica e permanência nesta pelo tempo suficiente para que toda a estrutura seja austenitizada, e em seguida submetida a um resfriamento muito rápido para promover a alteração microestrutural desejada. Geralmente a este tratamento é associado o revenimento, que consiste em novamente elevar a temperatura da peça abaixo da temperatura crítica e mantê-la nesta por um tempo determinado a fim de aliviar as tensões internas, corrigir a dureza final, aumentar a ductibilidade, dentre outras. Já o tratamento térmico de recozimento, visa o amolecimento do material, e se difere da têmpera no modo de resfriamento, enquanto na têmpera o resfriamento é abrupto, no recozimento é lento e geralmente ocorre no interior do próprio forno. O

tratamento térmico de normalização é muito semelhante ao recozimento, porém com resfriamento lento fora do forno (CHIAVERINI, 1986). Além da velocidade de resfriamento, a cinética de austenitização também é responsável pelas propriedades mecânicas finais de um aço temperado, pois afeta principalmente o tamanho de grão e a distribuição das fases do material (STEIN et al., 2005).

Embora “básico”, este tema por vezes é de difícil assimilação por muitos acadêmicos, principalmente os que não possuem uma vivência industrial prévia ao curso. O questionamento mais recorrente é: como uma liga metálica de ferro carbono (Fe-C), como o aço, pode ter suas propriedades mecânicas alteradas sem que seja modificada sua composição química?

Com o propósito de facilitar esta compreensão, foi desenvolvido a metodologia aqui apresentada, que é aplicada no curso de Engenharia de Produção e tem por objetivo a contextualização do que é tratamento térmico e suas finalidades. A prática é desenvolvida com um aço AISI SAE 1045, cujas propriedades mecânicas são decorrentes de sua composição química, contudo, podem ser melhoradas através da modificação microestrutural do aço por meio de tratamentos térmicos.

É necessário destacar, que esta prática não é desenvolvida de forma isolada, e sim, concomitante a outros conteúdos referentes ao estudo da metalurgia, como: estruturas cristalinas, diagrama de fases, diagrama TTT, classificação e nomenclatura dos aços além dos ensaios de materiais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o desenvolvimento da prática, é de fundamental importância contextualizar os procedimentos experimentais com os acadêmicos, demonstrando todos os cuidados necessários para a realização do experimento. Como isso, o acadêmico aprimora o senso de organização e principalmente os métodos de trabalho.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento de Produto da UNIFEBE. Este laboratório também é utilizado pelos acadêmicos do curso de Engenharia de Produção da IES. Para esta prática de ensino, foram utilizados os seguintes equipamentos: forno mufla com temperatura máxima de 1200 °C da marca Jung; embutidora, lixadeiras e politriz para preparação das amostras; durômetro modelo RASN-RB da fabricante Pantec; Microscópio óptico Olympus BX51M acoplado a câmara para aquisição de imagens e software Olympus Stream Essentials; e máquina universal de ensaios modelo Versat 300 KN, da fabricante Pantec. A seguir serão descritos pontualmente os passos do experimento.

Previamente a prática, os alunos desenvolveram uma pesquisa das propriedades e dos parâmetros do material a ser ensaiado. Esta pesquisa se deu na bibliografia tradicional, dentre as quais, destacam-se: “ASM Handbook Volume 4: Heat Treating” da ASM International; “Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos” e “Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento: volume 2” de Vicente Chiaverini; através do MatWeb- Material Property Data (MATWEB, 2011); além de boletins técnicos disponibilizados nos sites dos fornecedores dos aços de construção mecânica. Por meio da pesquisa dos parâmetros de tratamento térmico, os alunos evidenciam a aplicação prática dos diagramas de equilíbrio e de transformação tempo – temperatura (TTT), neste caso o do ferro - carbono e do aço AISI SAE 1045, respectivamente.

Foram preparados sete corpos-de-prova do aço de construção mecânica AISI SAE 1045. Com o objetivo de garantir a homogeneidade, os corpos-de-prova foram retirados da parte

central de uma única barra. Após a preparação, todos os corpos-de-prova foram devidamente identificados e submetidos aos tratamentos térmicos, conforme ilustrado na Figura 1.

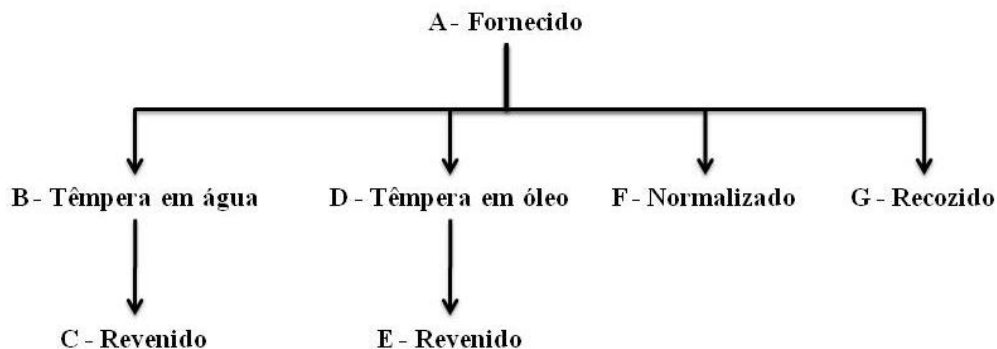


Figura 1: Sequência de tratamento térmicos e análises.

Antes de iniciar a prática de tratamento térmico é imprescindível que tanto os professores, quanto os alunos envolvidos diretamente com a prática estejam utilizando os EPI's necessários. Além disso, é preciso garantir que os demais alunos estejam observando a prática a uma distância segura.

Na análise metalográfica, das sete amostras iniciais, uma (A) foi analisada no seu estado fornecido, sem ser submetida ao tratamento térmico. Enquanto as demais foram levadas ao forno e austenitizadas a uma temperatura de 850 °C por aproximadamente 35 minutos (tempo de encharque), e então submetidas aos tratamentos térmicos específicos. Os corpos-de-prova (B) e (C) foram tratados por têmpera em água e (D) e (E) por têmpera em óleo. Já os corpos-de-prova (F) e (G) foram normalizados e recozidos, respectivamente.

O procedimento para resfriamento das amostras se deu da seguinte forma: o forno é desligado e com o uso de uma tenaz e dos EPIs necessários, os corpos-de-prova são retirados, na seguinte sequência: o corpo-de-prova (F) é retirado e submetido a um resfriamento lento em ar sobre uma base refratária, os corpos-de-prova (D) e (E) são resfriados em óleo e por fim os corpos-de-prova (B) e (C) são resfriados em água. Já a amostra (G) permaneceu no interior do forno para ser recozida. Simultaneamente, com um pirômetro digital a laser e um cronometro, são registrados os tempos necessários para que as amostras atinjam uma temperatura inferior a 100 °C. Esta informação permite a construção das curvas de resfriamento dos diversos corpos-de-prova sobre o diagrama TTT do aço estudado. Consegue-se desta forma, comparar a microestrutura obtida no tratamento térmico com o previsto na literatura, e descrever o uso dos referidos diagramas, e suas influências nas propriedades mecânicas, principalmente de dureza.

Após o rebaixamento da temperatura no interior do forno até uma temperatura de aproximadamente 100 °C, a amostra (G) é retirada e uma amostra temperada em água (C) e outra em óleo (E), foram novamente introduzidas no forno por mais 35 min a 300 °C para serem revenidas.

O passo seguinte foi a preparação dos corpos-de-prova para as análises metalográficas. Todas as amostras foram embutidas em baquelite e então preparadas utilizando lixas e polidas com alumina de 1µm. O lixamento e o polimento foram realizados de acordo com o descrito em norma, onde pode-se destacar a necessidade de lavá-las a cada mudança de lixa, além de rotacioná-las em cada mudança de lixa em 90°.

Em seguida procedeu-se o ataque metalográfico por imersão em Nital 4% por aproximadamente quatro segundos, lavadas em água corrente para neutralizar a ação do ácido, e em seguida lavadas com álcool isoprílico e secas com o auxílio de um soprador térmico.

Após todas as amostras terem sido preparadas, procedeu-se a análise metalográfica, utilizando a mesma ampliação (1.000x) e os mesmos filtros de luz disponíveis no microscópio para todas as amostras.

Concluída a captura das imagens, é medida a dureza final das amostras em cada tratamento térmico nas escalas Rockwell B (HR_B) e Rockwell C (HR_C). Tal análise permitirá correlacionar estas propriedades com o tratamento efetuado e a microestrutura obtida.

E por fim, quatro corpos-de-prova (A), (B), (D) e (F) são ensaiados por tração em uma máquina universal de ensaios, cujos resultados serão a sua tensão de escoamento, máxima e de ruptura, alongamento além de possibilitar a obtenção do módulo de elasticidade e resiliência do material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise das micrografias obtidas em cada tratamento térmico, conforme Figura 2, possibilita a correlação com a literatura, como nos diagramas de transformação tempo – temperatura (TTT). Nestas micrografias é possível identificar a presença das seguintes fases: ferrita, perlita e martensita, que foram obtidas em função do tratamento térmico aplicado.

A amostra (A), no estado fornecido, apresenta ferrita (grãos claros) e perlita (grãos escuros), assim como sugerido em literatura, e uma dureza de 69 HR_B . Já a amostra (B), o corpo de prova temperado em água apresenta grãos de ferrita (grãos claros), perlita (grãos escuros) e ainda martensita (grãos claros na forma de “agulha”), esta responsável por elevar dureza do corpo-de-prova para 88,7 HR_B . Nota-se que esta amostra apresenta grãos maiores do que no estado fornecido provavelmente decorrentes de um maior tempo de encharque durante o tratamento térmico, visto que foi a última amostra a ser retirada do forno e que a presença de ferrita indica uma têmpera incompleta neste corpo-de-prova. A amostra (C) referente a amostra temperada em água e revenida, possui martensita revenida. A diminuição da dureza desta para 84,3 HR_B é decorrente do revenimento que embora diminua sua dureza, aumenta sua ductibilidade.

A micrografia (D) referente ao corpo de prova temperado em óleo é composta por ferrita (grãos claros) e perlita (grãos escuros), esta última em maior quantidade em relação ao estado fornecido conseguida durante o resfriamento em óleo. Nota-se que nesta amostra não há a formação de martensita como ocorreu em (B), pois o gradiente de resfriamento em óleo é menor do que em água e conseqüentemente a curva de resfriamento cruzará por outra região no diagrama TTT. Assim como observado em (C), a dureza final do corpo de prova (E) temperado em óleo e revenido teve sua dureza diminuída de 71,5 HR_B para 68,7 HR_B .

Dois tratamentos térmicos utilizados na indústria para melhorar a ductibilidade de um componente de aço, para viabilizar o processo de fabricação por usinagem ou conformação, por exemplo, são os tratamentos de normalização e recozimento, cujas micrografias estão representadas em (F) e (G). Em ambos os casos o gradiente de resfriamento foi lento, ao ar e ao forno, respectivamente. Como resultado observa-se uma maior formação de ferrita (grãos claros), maior tamanho de grão e diminuição considerável de dureza, quando comparados ao estado fornecido. Quando a comparação se dá entre (F) e (G), nota-se que este último possui grãos maiores de ferrita, responsáveis por proporcionar ainda mais ductibilidade.

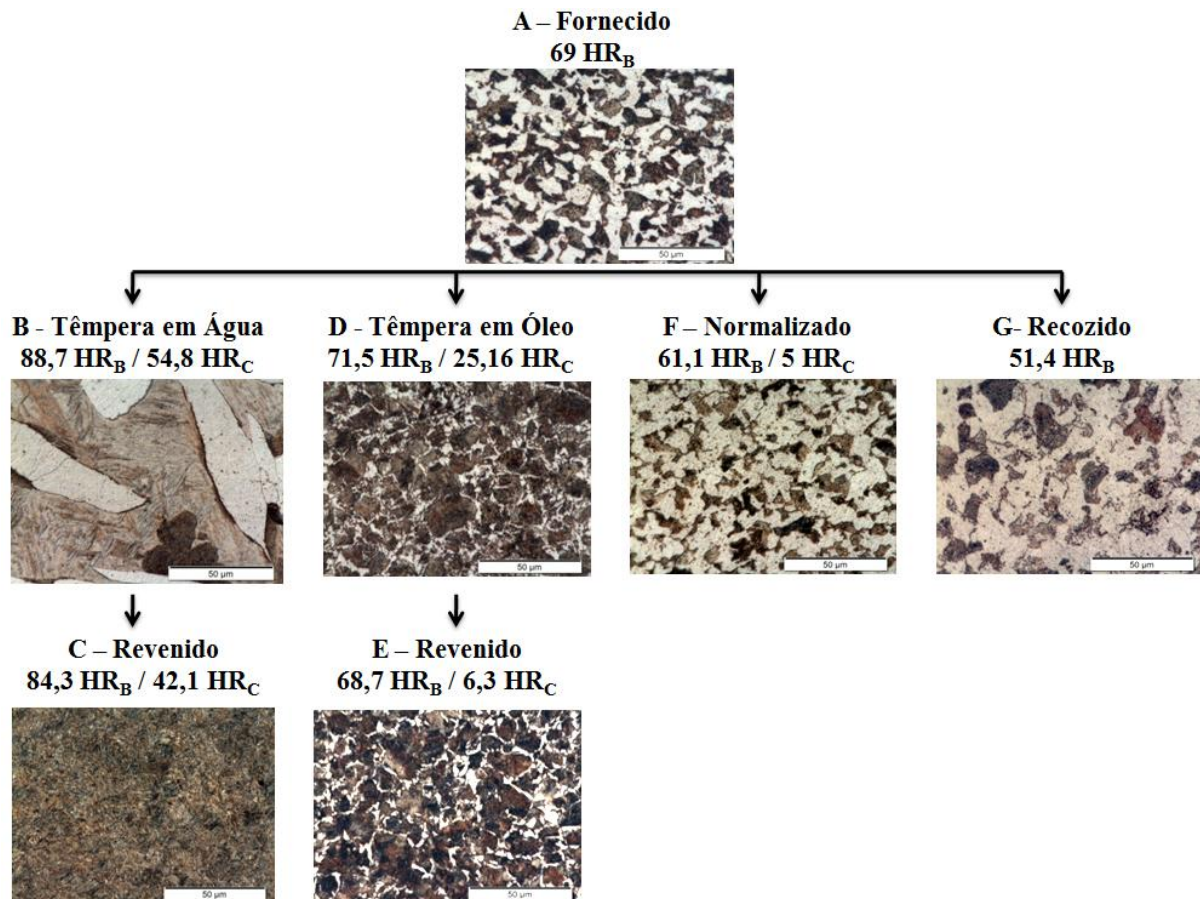


Figura 2: Micrografias obtidas em função do tratamento térmico, e suas respectivas durezas.

A finalização da aula prática se dá com o ensaio de tração dos corpos-de-prova especialmente preparados em uma máquina universal de tração, cujos resultados são representados na Figura 3. Foram ensaiados quatro amostras, no estado fornecido (A), temperada em água (B), temperada em óleo (D) e normalizada (F).

Observa-se claramente nos gráficos as curvas de tensão - deformação, com as respectivas tensões de escoamento, máxima e de ruptura, além dos mesmos permitirem o cálculo do módulo de elasticidade do material e da resiliência (área sob a região de proporcionalidade).

A partir da análise dos gráficos de tensão - deformação é possível confirmar que os materiais no estado fornecido (A) e normalizado (D) apresentam maior ductibilidade, este último (D) ainda maior, enquanto que os materiais temperados em água (B) e óleo (D) que têm sua ductibilidade reduzida, assim como o previsto em literatura, uma vez que a quantidade de fases de ferrita (microconstituente mais dúctil) diminui em ambos os casos.

Observa-se ainda, que a resistência ao escoamento e resistência máxima do material temperado em água (B) foi inferior ao temperado em óleo (D), neste caso contrariando a literatura. Contudo, uma vez que o corpo de prova (B) temperado em água foi o último a ser retirado do forno tendo um maior tempo de encharque, e conseqüentemente um aumento no tamanho de seus grãos quando comparados ao tratado em óleo (D), justifica-se esta diminuição em sua resistência mecânica.

Após os experimentos práticos, os acadêmicos são instigados a discutir os resultados obtidos e as variáveis que podem ter influenciado os valores obtidos. Além disso, os acadêmicos recorrem a literatura base para explicar os fenômenos ocorridos. Com esta abordagem é possível atingir um nível de aprendizado muito maior comparado ao estudo

teórico. E por fim, como forma de avaliação sugere-se o desenvolvimento de um relatório da aula prática, ou ainda o desenvolvimento de um artigo científico.

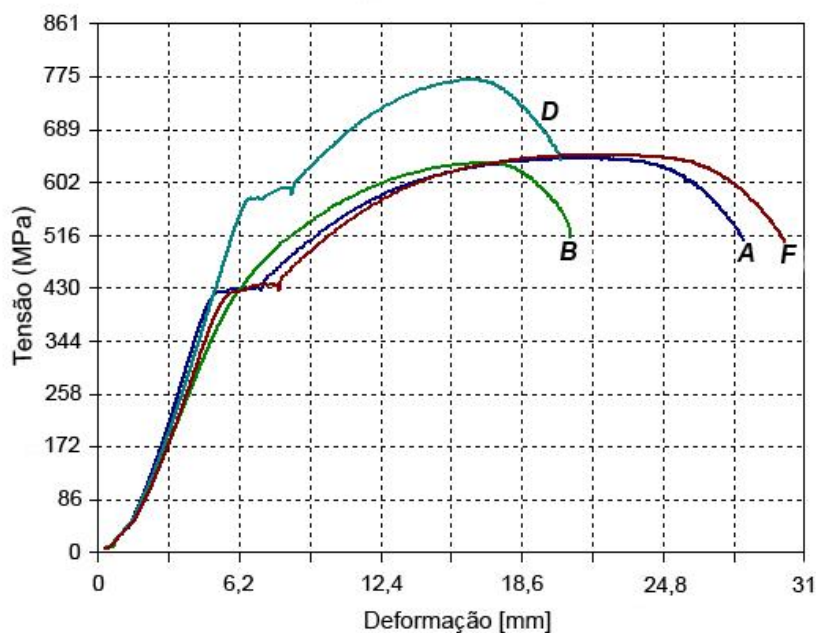


Figura 3: Gráfico Tensão x deformação para os corpos-de-prova ensaiados.

Com a aplicação desta metodologia, os acadêmicos são instigados à pesquisas bibliográficas prévias para condução dos experimentos e posteriormente para elaboração do relatório e/ou artigo. Deste modo, além do exercício prático, possibilitou aos acadêmicos a obtenção de uma visão sistêmica do conteúdo relacionado a Ciência e Tecnologia dos Materiais, reconhecendo que este não é um assunto “estranho”, e sim, que está relacionado com todo o processo produtivo, desde a obtenção até a aplicação final do componente mecânico.

Para a formação do Engenheiro de Produção, estas práticas experimentais ainda contribuem para fortalecer a sua visão global sobre os processos da empresa, contribuindo com a análise da organização como um todo, principalmente em função dos tempos e métodos necessários a cada processo estudado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento desta metodologia de ensino correlacionando as propriedades mecânicas de ligas metálicas, neste caso do aço AISI SAE 1045, em função do tratamento térmico que esta foi submetida, possibilitou aos acadêmicos a aquisição de uma visão sistêmica das influências dos processos de fabricação nas propriedades finais dos componentes metálicos, seja ele submetido a processos intermediários de fabricação, ou na aplicação final.

Uma vez que a condução da aula prática e a avaliação final deste conteúdo é realizado por meio de relatório técnico ou de um artigo científico, os acadêmicos recorrem à pesquisas bibliográficas mais amplas para explicar os resultados visualizados. Com isso, o acadêmico

estuda para os conteúdos da disciplina e não apenas para o ineficiente método de estudo conhecido como “estudar para a prova”.

Como complemento a esta prática, poderá ser trabalhado a influência do tempo e / ou temperatura de revenimento, tratamentos termo-químico como a cementação e ainda ensaios de tração para diferentes ligas metálicas, e ainda, a análise microestrutural dos grãos de componentes conformados. Ou seja, aplicando a mesma metodologia é possível desenvolver diversas práticas, objetivando a compreensão de diferentes conteúdos da disciplina de ciência e engenharia dos materiais.

Agradecimentos

O desenvolvimento e aplicação desta metodologia de ensino foi possível devido ao apoio da FAPESC para a Estruturação do Laboratório de Ensaios e Desenvolvimento de Produtos da UNIFEBE - Centro Universitário de Brusque.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, Sebastião Arthur Lopes de Andrade; VELLASCO, Pedro Colmar Gonçalves da Silva; LIMA, Luciano Rodrigues Ornelas de; SILVA, José Guilherme Santos da. **O Ensino de estruturas de aço no curso de engenharia civil da PUC-RIO**. Revista de Ensino de Engenharia, v. 25, n. 1, p. 17-24, 2006 – ISSN 0101-5001

ASM Handbook: **Volume 4: Heat Treating**, American Society for Metals, 1991

CHIAVERINI, Vicente,. **Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento: volume 2**. 2. ed. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1986. 315 p. ISBN 0074500902.

CNE / CES - Conselho Nacional de Educação, Câmara de Educação Superior. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. RESOLUÇÃO CNE/CES 11, DE 11 DE MARÇO DE 2002. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf>>. Acesso em 19 de Maio de 2011.

CONFEA - Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. **Confea propõe à CNI mapear postos de trabalho na indústria**. Disponível em <<http://www.confea.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=10499&pai=8&sid=10&sub=nil>> Acesso em: 19 de Maio de 2011.

DEMO, Pedro. **Educar pela pesquisa**. 7. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2005. 130 p. (Educação contemporânea) ISBN 8585701218.

GIORGETTI, Marcius F. **Educação em Engenharia: Algumas idéias e a semente para um projeto possível**. Revista de Ensino de Engenharia, v. 25, n. 2, p. 37-42, 2006 – ISSN 0101-5001

MATWEB. **Material Property Data**. Disponível em: <<http://www.matweb.com/>>. Acesso em: 10 de Junho de 2011.

STEIN, Cristiano Ramos; HERMENEGILDO, Tahiana Francisca; ARAUJO, Fernando Gabriel da Silva e COTA, André Barros. **Efeito da rápida austenitização sobre as propriedades mecânicas de um aço SAE1045**. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2005, vol.58, n.1 [citado 2011-05-19], pp. 51-56

TEACHING METHODOLOGY OF HEAT TREATMENT ON PRACTICAL LESSONS IN INDUSTRIAL ENGINEERING COURSES

Abstract: *Teaching strategies in modern engineering courses need to provide the student the ability to understand the phenomena, and then apply them to solve problems. One of the methodologies used to promote this learning environment are the experimental practices lessons. In this context, this paper describes a teaching methodology applied to the Industrial Engineering course to the subject of heat treating and their influence on physical properties and microstructure of steels. In Industrial Engineering courses, this theme is usually addressed in courses such as materials science and technology, which content is an integral part of the core content of basic engineering courses, as provided in CNE / CES n 11 resolution, March 11, 2002. Although it seems to be "basic", this theme is sometimes difficult to assimilate by many students, especially those who have an industrial experience prior to the course. The practical experience presented in this paper has obtained excellent results in terms of academic understanding of the theme. With the proposed methodology, the students visualize the practical experiment and use theoretical concepts to explain the phenomena. In addition, this practice allows several variations and assessment methodologies, enabling a prior contact with undergraduate research and especially with the approach of solving problem methodologies.*

Key-words: *Teaching methodology, Heat Treatment, Steel 1045.*