

MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA NO PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA CORTE A QUENTE DE BARRAS DE AÇO

Esly Ferreira da Costa Junior¹
eslyfcjr@yahoo.com.br

Evandro Fior Godoy²
evandro@panmol.com.br

Andréa Oliveira Souza da Costa³
andreaosc@yahoo.com.br

1 – Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG - Coronel Fabriciano, MG, Brasil

2 – Panmol LTDA - Timóteo, MG, Brasil

RESUMO

A empresa Panmol LTDA está desenvolvendo um equipamento para o corte de barras de aço a elevadas temperaturas. A alta temperatura é necessária para que seja possível o corte do material por cisalhamento a quente. Com o aumento da temperatura, a resistência do aço diminui de tal forma que o mesmo possa ser cortado. Entretanto, a faca de corte, construída em aço inox 420, é aquecida no processo e também tem sua resistência diminuída, o que pode levar à sua destruição. Para avaliar o nível de aquecimento durante o corte, realiza-se neste trabalho a modelagem e simulação do perfil térmico no interior desta faca. Numa primeira fase, foi possível a utilização de um domínio unidimensional resolução do problema utilizando-se solução analítica. Na fase final, era necessária uma simulação bidimensional e a solução do problema foi realizada por diferenças finitas. Todo o procedimento de normalização das variáveis do processo e de discretização, nas geometrias consideradas, é apresentado e discutido. Os resultados obtidos permitiram o desenvolvimento do projeto do equipamento de forma a viabilizar a aplicação do mesmo.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de Produto, Modelagem, Diferenças Finitas, Pesquisa Operacional.

1. INTRODUÇÃO

No estado de Minas Gerais existem duas regiões metropolitanas, uma é a região do Vale do Aço e a outra corresponde ao entorno da capital Belo Horizonte. A região do Vale do Aço é de extrema importância no estado devido à grande quantidade de indústrias, sendo as principais a Usiminas (produtora de aço em Ipatinga), a Usimec (produtora de estruturas metálicas, também em Ipatinga), a Acesita (produtora de aço inoxidável em Timóteo) e a CENIBRA, uma das maiores fábricas de celulose do mundo, localizada em Belo Oriente. Além destas grandes empresas, existe um número muito grande de pequenas e médias empresas que prestam serviços e ou processam resíduos das grandes empresas supracitadas. Um mapa da região metropolitana é apresentado na Figura 1.

A maior instituição de ensino da região do Vale do Aço é o UnilesteMG. O Curso de Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG, aprovado pela Capes na área de Engenharia de Produção é a única pós-graduação *Stricto Sensu* do Vale do Aço e seus pesquisadores têm procurado o desenvolvimento de atividades que colaborem para o desenvolvimento da região. O presente trabalho surge neste contexto.

A empresa Panmol LTDA, situada na cidade de Timóteo (Figura 1), trabalha principalmente com a manutenção de refratários e com a reciclagem de produtos cerâmicos. Esta empresa está desenvolvendo um equipamento para o corte de barras de aço a elevadas temperaturas. As dimensões destas barras são apresentadas na Figura 2.

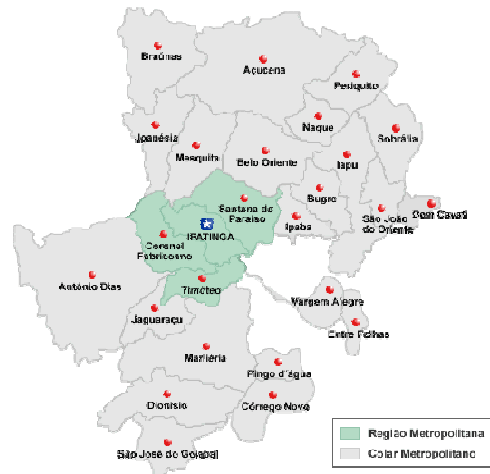


Figura 1. Região Metropolitana do Vale do Aço (Perfil do Município de Ipatinga, 2007, site: http://perfil.ipatinga.mg.gov.br/perf_vis.asp?cd=9 acessado em 25 de maio de 2007).

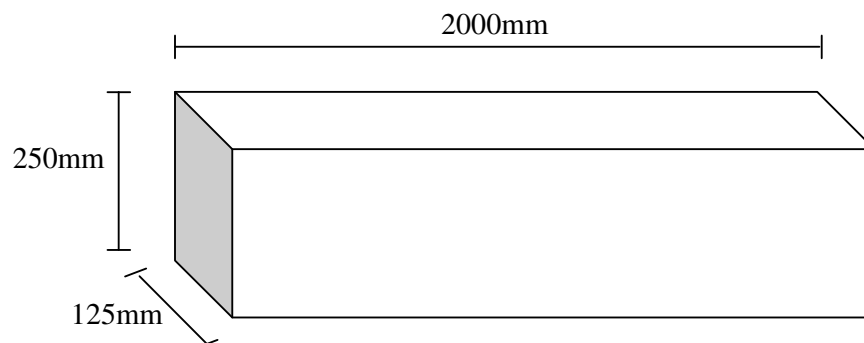


Figura 2. Representação esquemática da barra de aço a ser cortada.

A alta temperatura ($T = 1250^{\circ}\text{C}$) é necessária para que seja possível o corte do material por cisalhamento a quente. Com o aumento da temperatura, a resistência do aço diminui de tal forma que o mesmo possa ser cortado. A proposta inicial da Panmol consiste numa faca de corte, cuja representação esquemática é apresentada na Figura 3.

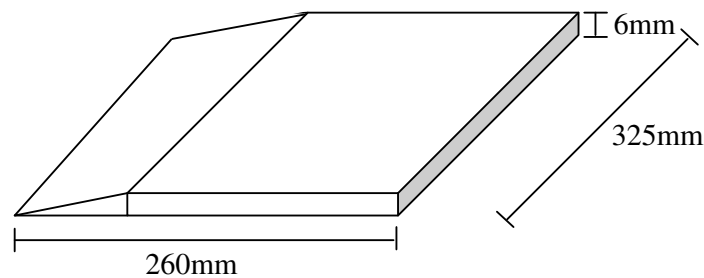


Figura 3. Representação esquemática da faca de corte inicialmente proposta.

Durante o corte, a faca de corte, construída em aço inox 420, é aquecida já que suas superfícies superior e inferior ficam em contato com a barra de aço à 1250°C . Com o aquecimento, a faca tem sua resistência diminuída, o que pode levar à sua destruição. Para avaliar o nível de aquecimento durante o corte, realiza-se neste trabalho a modelagem e simulação do perfil térmico no interior desta faca durante o corte.

2. EQUACIONAMENTO

No desenvolvimento do projeto, várias situações foram simuladas. Dependendo da condição considerada, o problema poderia ser resolvido como sendo uni ou bidimensional.

A equação da condução calor em coordenadas cartesianas e regime transiente num corpo sólido com propriedades constantes é (PERRY, 1999):

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{\Phi}}{c} \quad (1)$$

onde x , y e z são as posições direções cartesianas (m), t é o tempo (s), T é a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), $\dot{\Phi}$ e o calor gerado por unidade de tempo e por unidade de volume (W/m^3), c é o calor específico ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$), $\alpha = k / (\rho \cdot c)$ é chamada difusividade térmica (m^2/s), k é a condutibilidade térmica ($\text{W m}^{-1}\text{C}^{-1}$) e ρ é a densidade (kg/m^3).

Ressalta-se que para o problema considerado não há geração de calor no sólido que compõem o a faca de corte.

2.1. PROBLEMA UNIDIMENSIONAL

Considerando-se um problema de condução de calor unidimensional, a Equação (1) torna-se:

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2)$$

onde y é a posição na direção vertical e a temperatura é função de y e de t : $T(y,t)$.

Como o equipamento está em contado direto com o aço a ser cortado durante do processo, a temperatura do equipamento neste contado consiste na própria temperatura da chapa de aço (T_c), já que não pode haver descontinuidade por questões físicas. Assim, as condições de contorno são:

$$T(0,t) = T_c \quad (3)$$

$$T(L_y,t) = T_c \quad (4)$$

onde L_y é a altura do tira que compõem o equipamento.

Antes do corte, a tira está na temperatura ambiente (T_a). Portanto, tem-se a seguinte condição inicial:

$$T(y,0) = T_a \quad (5)$$

As Equações (2) a (5) definem o problema unidimensional. Para evitar trabalhar com variáveis com ordem de grandezas muito discrepantes e com isto minimizar erros numéricos, sempre que possível é interessante adimensionalizar as variáveis. A adimensionalização da posição vertical e da temperatura para um intervalo de 0 a 1 é direta:

$$v = \frac{y}{L_y} \Rightarrow y = L_y v \quad (6)$$

$$U = \frac{T - T_a}{T_c - T_a} \Rightarrow T = T_a + (T_p - T_a)U \quad (7)$$

onde v e U são a posição vertical e temperatura adimensionais (-).

Substituindo-se y e T por n e U na Equação (2) e realizando-se algumas operações algébricas, tem-se:

$$\frac{L_y^2}{\alpha} \cdot \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial^2 U}{\partial v^2} \quad (8)$$

Observa-se, nesta Equação (8), que o termo que multiplica a derivada temporal à esquerda possui dimensão em segundos e desta forma chega-se a seguinte adimensionalização da variável temporal:

$$\tau = \frac{\alpha}{L_y^2} t \Rightarrow t = \frac{L_y^2}{\alpha} \tau \quad (9)$$

onde τ é o tempo adimensional (-).

Finalmente, a equação adimensional e a condições de contorno e inicial são dadas pelas Equações (10) a (13).

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 U}{\partial v^2} \quad (10)$$

$$U(0, \tau) = 1 \quad (11)$$

$$U(1, \tau) = 1 \quad (12)$$

$$U(v, 0) = 0 \quad (13)$$

Este problema pode ser resolvido analiticamente pelo método da separação de variáveis (ZILL e CULLEN, 2000). A solução do problema é apresentada na Equação (13).

$$U(v, \tau) = 1 - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{[1 - (-1)^n]}{n} \exp(-n^2 \pi^2 \tau) \text{sen}(n\pi v) \right\} \quad (13)$$

A série que compõem a Equação (13) converge rapidamente devido ao crescimento quadrático do termo negativo dentro da exponencial. Neste trabalho, foram utilizados 20 termos, sendo que o valor do vigésimo termo é sempre inferior à precisão da máquina para todas as simulações feitas.

2.2. PROBLEMA BIDIMENSIONAL

Com o desenvolvimento do projeto, houve a necessidade da simulação em duas dimensões. Considerando-se um problema de condução de calor bidimensional, a Equação (1) torna-se:

$$\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (14)$$

onde x e y são as posições horizontal e vertical (m).

Na segunda versão do projeto, o equipamento é composto por uma parte anterior (à direita) de 6mm e uma parte posterior (à esquerda) de 4mm. A representação esquemática do equipamento é apresentada na Figura 4.

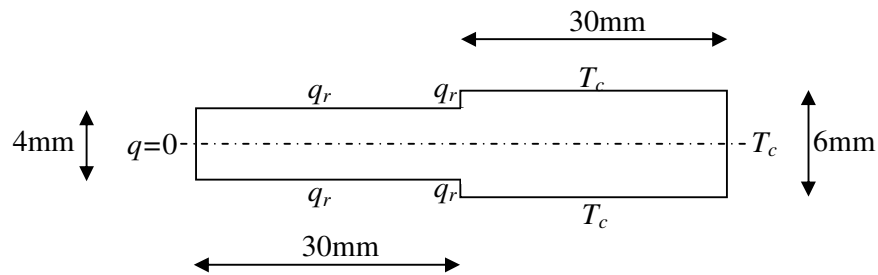


Figura 4. Representação esquemática do problema bidimensional a ser simulado.

A parte anterior está diretamente em contato com a chapa de aço a ser cortada em sua parte superior e inferior e à esquerda. Desta forma, conforme pode ser visualizado na Figura 4, a temperatura superficial nestas regiões é igual à temperatura da chapa (T_c). A região à direita da parte anterior, possui uma região interna em contato direto com a parte posterior e a superfície restante está recebendo calor por radiação (q_r) da chapa de aço a ser cortada.

A parte posterior está em contato direto com a parte anterior (vide Figura 4). As superfícies superior e inferior recebem calor por radiação (q_r) da chapa de aço a ser cortada. A superfície à esquerda está sendo considerada como isolada. Isto porque na verdade esta parte anterior é muito maior que os 30mm considerados, mas partiu-se da premissa que em 30mm o efeito do contato com a parte posterior não seja mais observado. Esta premissa é razoável, já que 30mm correspondem a mais que 7 vezes ao tamanho da outra dimensão considerada e o efeito do calor por condução já se tornaria muito pequeno.

Observa-se que o problema considerado apresenta uma linha de simetria ao centro. Em problemas de condução de calor, o fluxo de calor em qualquer linha de simetria é nulo e, para a resolução, o domínio pode ser dividido pela metade nesta linha. Isto porque os perfis de temperatura nas duas metades são espelhados, ou seja, ao se determinar um o outro está automaticamente determinado. A representação esquemática do domínio considerado na resolução é apresentada na Figura 5.

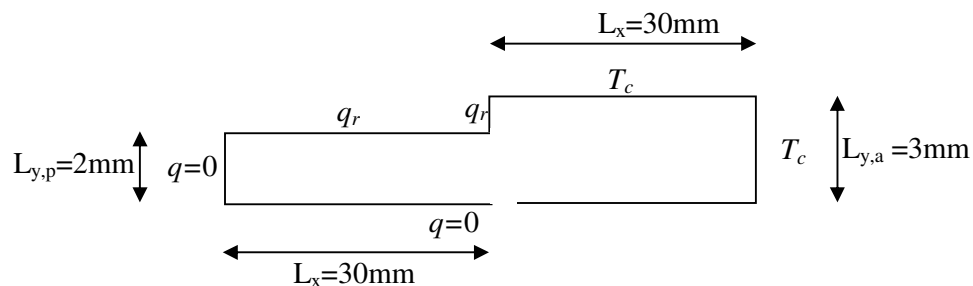


Figura 5. Representação esquemática do domínio considerado na simulação.

O uso da simetria é importante porque este problema não apresenta solução analítica devido ao fato de não possuir uma geometria tão simples quando um retângulo (por exemplo) e por causa da não linearidade no cálculo do calor por radiação. Desta forma só existe solução numérica e o uso da simetria neste caso reduz à metade o custo computacional. Arbitrou-se no equacionamento que o ponto com a posição $x=0$ está exatamente na junção das partes anterior

e posterior do equipamento. As condições de contorno do problema são apresentadas nas Equações (15) a (20).

$$\frac{\partial T(-L_x, y, t)}{\partial x} = 0, \quad 0 < y < L_{y,a}, \quad t > 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial T(0, y, t)}{\partial x} = -\frac{\varepsilon \sigma F \left([T(0, y, t)]^4 - T_c^4 \right)}{k}, \quad L_{y,p} < y < L_{y,a}, \quad t > 0 \quad (16)$$

onde ε é a emissividade (assumida como tendo seu valor máximo possível, $\varepsilon = 1$), σ é a constante de Stefan-Boltzman, F é o fator de forma, que placas planas paralelas com efeito de bordas desprezível é igual a 1.

$$T(L_x, y, t) = T_c, \quad 0 \leq y \leq L_{y,a}, \quad t > 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial T(x, 0, t)}{\partial y} = 0, \quad -L_x \leq x \leq L_x, \quad t > 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial T(x, L_{y,p}, t)}{\partial y} = -\frac{\varepsilon \sigma F \left([T(x, L_{y,p}, t)]^4 - T_c^4 \right)}{k}, \quad -L_x \leq x < 0, \quad t > 0 \quad (19)$$

$$T(x, L_{y,a}, t) = T_c, \quad 0 \leq x \leq L_x, \quad t > 0 \quad (20)$$

Observa-se, que ao contrário do problema unidimensional que só possuía condição de contorno de temperatura prescrita, tem-se, neste problema, os três possíveis tipos de condições de contorno (INCROPERA e WITT, 2002). As Equações (17) e (20) são de primeiro tipo já que o valor da temperatura na superfície é especificado. As Equações (15) e (18) são do segundo tipo já que o fluxo de calor é especificado, e desta forma tem-se, pela lei de Fourier da condução de calor a especificação da derivada especial da temperatura. As Equações (16) e (19) são do terceiro tipo já que consistem numa equação algébrica da temperatura e de sua derivada espacial. As variáveis adimensionais empregadas são apresentadas na Equação (7) e nas Equações (21) a (23).

$$v = \frac{y}{L_{y,p}} \Rightarrow y = L_{y,p} v \quad (21)$$

$$\theta = \frac{x}{L_x} \Rightarrow x = L_x \theta \quad (22)$$

$$\tau = \frac{\alpha}{L_{y,a}^2} t \Rightarrow t = \frac{L_{y,a}^2}{\alpha} \tau \quad (23)$$

onde θ é a posição horizontal adimensional.

Substituindo-se estas variáveis adimensionais na Equação (14), tem-se:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = m^2 \frac{\partial^2 U}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial v^2} \quad (24)$$

$$\text{onde } m = \frac{L_{y,a}}{L_x}.$$

As condições de contorno para esta Equação (24) são:

$$\frac{\partial U(-1, v, \tau)}{\partial \theta} = 0, \quad 0 < v < \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}}, \quad \tau > 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial U(0, v, \tau)}{\partial \theta} = -\frac{\varepsilon \sigma F L_x \left([T_a + (T_c - T_a) U(0, v, \tau)]^4 - T_c^4 \right)}{k(T_c - T_a)}, \quad \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} < y < 1, \quad \tau > 0 \quad (26)$$

$$U(1, v, \tau) = 1, \quad 0 \leq v \leq 1, \quad \tau > 0 \quad (27)$$

$$\frac{\partial U(\theta, 0, \tau)}{\partial v} = 0, \quad -1 \leq \theta \leq 1, \quad \tau > 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial U\left(\theta, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}}, \tau\right)}{\partial v} = -\frac{\varepsilon \sigma F L_{y,a}}{k} \left(\left[T_a + (T_c - T_a) U\left(\theta, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}}, \tau\right) \right]^4 - T_c^4 \right), \quad -1 \leq \theta < 0, \quad \tau > 0 \quad (29)$$

$$U(\theta, 1, \tau) = 1, \quad 0 \leq \theta \leq 1, \quad \tau > 0 \quad (30)$$

3. DISCRETIZAÇÃO POR DIFERENÇAS FINITAS

Conforme discutido anteriormente, não é possível a solução do problema de condução de calor composto pelas Equações (24) a (30). Neste trabalho a solução numérica é realizada pelo método das linhas que consiste na transformação de Equações Diferenciais Parciais (EDPs) em Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs) por meio de discretização de uma ou mais dimensões espaciais. Neste trabalho, as direções θ e v são discretizadas por Diferenças Finitas. As EDOs resultantes são integradas pelo método de Euler Explícito.

Uma representação esquemática da malha utilizada na discretização é apresentada na Figura 6. Por simplificação foi utilizado um número reduzido de pontos de discretização em ambas as direções consideradas.

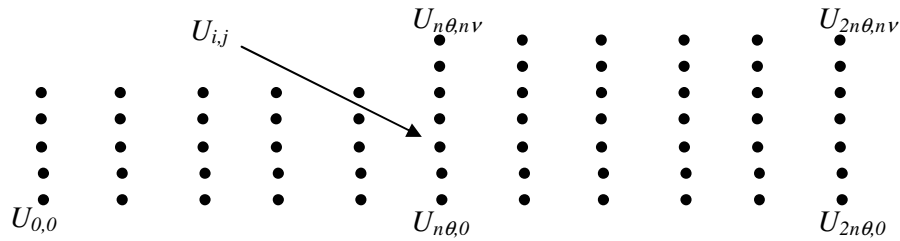


Figura 6. Representação esquemática da malha utilizada na discretização do domínio.

Observa-se, neste esquema da Figura 3, que as variáveis que indicam o número de pontos de discretização foram definidas em termos da parte anterior (à direita) do equipamento, sendo $n\nu$ o número de subdivisões da direção v e $n\theta$ é o número de subdivisões da direção θ . As variáveis utilizadas como contadores são i , que varia de 0 a $2n\theta$ na direção θ em todo o domínio, e j , que varia, na direção v , de 0 a $n\nu$ na parte anterior e de 0 a $(L_{y,p}/L_{y,a})n\nu$ na parte posterior. Na representação da Figura 6, tem-se $n\nu = 6$ e $n\theta = 5$.

As equações para os cálculos das derivadas de segunda ordem são (MALISKA, 1995):

$$\frac{\partial^2 U_{i,j}}{\partial \theta^2} = \frac{U_{i-1,j} - 2U_{i,j} + U_{i+1,j}}{\Delta \theta^2}, \quad 1 \leq i \leq 2n\theta - 1 \quad (31)$$

$$\frac{\partial^2 U_{i,j}}{\partial v^2} = \frac{U_{i,j-1} - 2U_{i,j} + U_{i,j+1}}{\Delta v^2}, \quad 1 \leq j \leq nv - 1 \quad (32)$$

As Equações (31) e (32) são de segunda ordem, ou seja, correspondem à aproximação da temperatura por um polinômio de segundo grau. Para manter esta ordem nos contornos, foram utilizadas as seguintes aproximações de segunda ordem:

$$\frac{\partial U_{0,j}}{\partial \theta} = \frac{-3U_{0,j} + 4U_{1,j} - U_{2,j}}{2\Delta \theta}, \quad 1 \leq j \leq \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv - 1 \quad (33)$$

$$\frac{\partial U_{n\theta,j}}{\partial \theta} = \frac{-3U_{n\theta} + 4U_{n\theta+1,j} - U_{n\theta+2,j}}{2\Delta \theta}, \quad \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv + 1 \leq j \leq nv - 1 \quad (34)$$

$$\frac{\partial U_{i,0}}{\partial v} = \frac{-3U_{i,0} + 4U_{i,1} - U_{i,2}}{2\Delta v} 0, \quad 0 \leq i \leq nv \quad (35)$$

$$\frac{\partial U(i, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv)}{\partial v} = \frac{3U(i, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv) - 4U(i, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv - 1) + U(i, \frac{L_{y,p}}{L_{y,a}} nv - 2)}{2\Delta v}, \quad 0 \leq i < n\theta \quad (36)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as simulações feitas, o equipamento é composto por aço inox 420. As propriedades deste material, necessárias para as simulações, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores das propriedades do material utilizados na simulação (ACESITA, 2007).

Propriedade	Valor
Condutibilidade térmica (k)	23 Wm ⁻¹ °C ⁻¹
Calor Específico (c)	1,5 × 10 ³ J kg ⁻¹ K ⁻¹
Densidade (ρ)	7,7 × 10 ⁻³ Kg/m ³

4.1. PROBLEMA UNIDIMENSIONAL

A idéia inicial do corpo técnico da Panmol consistia numa faca de corte de aço inox 420 com 6mm de espessura, 325mm de largura e 260mm de comprimento. A parte da tira em contato com a placa de aço a ser cortada possui largura de 125mm. Como a largura e o comprimento são mais que 20 vezes maiores do que a espessura, a maior parte do equipamento pode ser simulada considerando-se apenas a dimensão vertical (correspondente à espessura), tendo-se um problema de condução de calor unidimensional.

Para que as propriedades mecânicas do equipamento de corte não sejam deterioradas, este não pode possuir uma temperatura média superior a 400°C, segundo informações do corpo técnico da Panmol. Desta forma, o objetivo da simulação é determinar em que tempo equipamento atinge esta temperatura média limite. Este tempo seria o tempo de operação e

deveria estar entre 4 e 6 segundos, o que corresponderia a um tempo adimensional de 0,22 a 0,33.

Utilizando-se a Equação (7), pode-se verificar que a temperatura média limite equivale a uma temperatura adimensional $U = 0,306$. Por meio da Equação (13) é possível a determinação do perfil adimensional de temperatura. A temperatura adimensional média pode ser calculada pela Equação (37):

$$U_m(\tau) = \int_{v=0}^{v=1} U(v, \tau) dv, \quad (30)$$

Utilizando-se esta Equação (37) e a Equação (13), foi possível determinar que $U = 0,306$ é obtido em $\tau = 0,0184$. Este tempo é cerca de 12 vezes menor que o menor tempo considerado como razoável pelo corpo técnico da Panmol. Os perfis adimensionais de temperatura para os tempos considerados são apresentados na Figura 7.

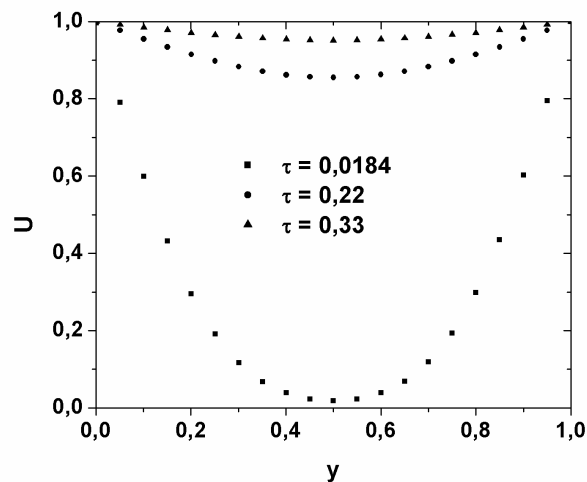


Figura 7. Perfis adimensionais de temperatura para diversos os tempos considerados.

Observa-se nesta Figura 4 a grande diferença entre os perfis de temperatura nos tempos adimensionais 0,22 e 0,33, que correspondem aos tempos de 4 e 6 segundos, em relação ao tempo que resulta na temperatura média de 400°C. Este resultado indica claramente que não é possível operar a faca de corte considerando-se este projeto inicial, mesmo que seja utilizado o tempo mínimo de 4 segundos. Isto porque neste tempo, a temperatura média obtida seria de 1137° C ($U = 0,908$) e nesta situação a resistência ao cisalhamento é muito baixa, inviabilizando a operação.

Com este resultado, o projeto inicial teve que ser modificado. A idéia do segundo projeto surgiu do fato de que o que provoca o rápido aumento da temperatura na faca de corte ser o fato da superfície da mesma estar em contato direto com a barra de aço a ser cortada. Desta forma, a temperatura da superfície se iguala instantaneamente à temperatura da barra de aço.

Na segunda versão do projeto, somente uma parte anterior da faca fica em contato direto com a barra de aço a ser cortada. Esta parte da faca, trabalha portanto a uma temperatura bastante elevada, mas a resistência para a realização do corte é fornecida por uma parte posterior, mais fina, mas que não fica em contato direto com a barra de aço, conforme apresentado na Figura 2. Ressalta-se que na Figura 2 apenas um pedaço (30mm) da parte

posterior é considerado. Uma outra modificação consiste no fato de a faca, nesta nova abordagem, se deslocar transversalmente durante o corte, promovendo uma redução do tempo de contato para 1 segundo. Neste deslocamento transversal, a parte da faca que não estiver realizando o corte, estará sendo resfriada por jatos de água fria.

4.2. PROBLEMA BIDIMENSIONAL

Para a simulação do aquecimento da faca de corte foram utilizados $n_x = 20$ e $n_y = 12$, o que já permite uma boa convergência da malha para este problema de condução já que todas as aproximações são de 2ª ordem. A integração das equações foi realizada utilizando-se o método de Euler explícito (que é de 1ª ordem) e assim, para garantir a convergência foram utilizados 1000 pontos de discretização no tempo adimensional. Os perfis adimensionais de temperatura das duas partes da faca são apresentados nas Figuras 8 e 9.

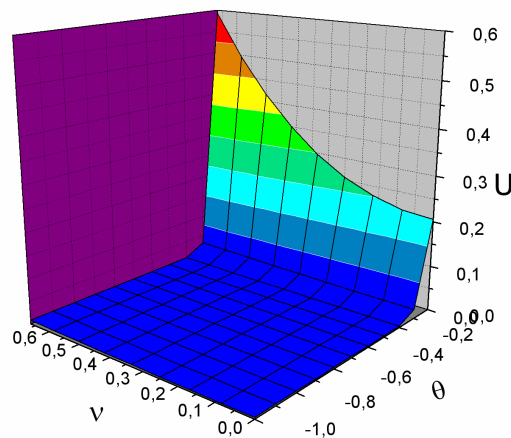


Figura 8. Perfil adimensional de temperatura para da parte posterior ao final de 1 segundo.

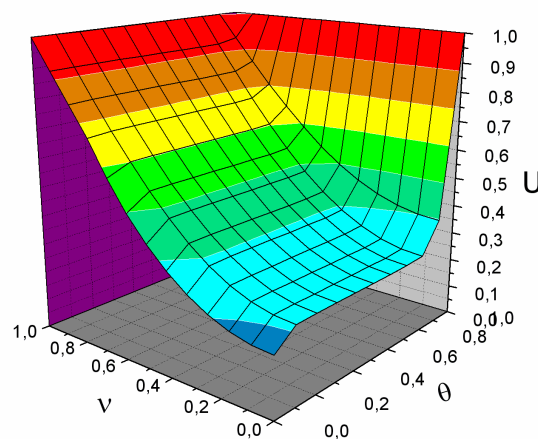


Figura 9. Perfil adimensional de temperatura da parte anterior ao final de 1 segundo.

Observa-se na Figura 8 que a maior parte da região posterior apresenta temperatura adimensional próxima de zero, o que indica que o seu aquecimento foi muito pequeno. Apenas na interseção desta região com a região anterior ocorrem temperaturas mais elevadas, mas numa faixa muito pequena. A temperatura média de toda a região é $U = 0,019$, o que corresponde a $48,1^{\circ}\text{C}$. Desta forma, esta parte posterior da faca não terá sua resistência de cisalhamento comprometida de forma significativa, como esperado.

Analisando-se os dados utilizados para a construção desta Figura 8, verifica-se que a uma distância superior a 12mm da parte posterior na direção x , as variações na temperatura adimensional são inferiores a 0,1%. Este fato deixa claro que o uso de apenas 30mm da direção posterior na simulação não compromete em nada o resultado obtido.

A Figura 9 mostra que a parte anterior é muito aquecida durante o processo de corte. A temperatura adimensional média é $U = 0,555$, o que corresponde a uma temperatura de $704,7^{\circ}\text{C}$. Desta forma, a região anterior realmente terá a sua resistência ao cisalhamento diminuída, o que não é problema já que a parte anterior é responsável por esta resistência.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho, desenvolvido por pesquisadores do Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG e do corpo técnico da Panmol, tem como objetivo avaliar o nível de aquecimento de uma faca durante o corte de barras de aço quente. Para tal, realiza-se a modelagem e simulação do perfil térmico no interior desta faca. Numa primeira fase, foi possível a utilização de um domínio unidimensional resolução do problema utilizando-se solução analítica. A partir do resultado desta primeira fase concluiu-se que o projeto original não era viável, já que o nível de aquecimento era muito elevado.

Modificações no projeto foram propostas a partir dos resultados obtidos na primeira fase. Para a simulação do projeto modificado, a consideração de problema unidimensional não é mais possível e realiza-se uma simulação bidimensional, sendo o domínio discretizado por diferenças finitas. Os resultados obtidos nesta segunda etapa indicam que a parte da faca responsável pela resistência ao cisalhamento não é aquecida de maneira significativa durante o corte. Concluiu-se destes resultados que o segundo projeto é viável no que se refere ao problema do aquecimento da faca.

6. REFERÊNCIAS

- ACESITA, Aço Inox – Especificações Técnicas, disponível no site: http://www.acesita.com.br/port/aco_inox/pdf/catalogoAcesita.pdf, 2007.
- INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa, Tradução da quinta edição americana, Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- MALISKA, C. R. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional, Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- PERRY, R. H., Perry's Chemical Handbook, 7rd Ed., McGraw-Hill, 1999.
- ZILL, D.G.; CULLEN, M.R. Differential Equations with Boundary-Value Problems, 5th ed., Brookes/Cole, 2000.