



# XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE COSTOS

II Congreso Colombiano de Costos y Gestión

*Los costos y la gestión en la ruta de la innovación y el conocimiento!*

## RELAÇÃO ENTRE CUSTO DE ENERGIA E MODALIDADE TARIFÁRIA EM UM PROCESSO DE USINAGEM DE AÇO ENDURECIDO COM FERRAMENTA COM GEOMETRIA WIPER USANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

### **Autores:**

Danielle Martins Duarte Costa  
Instituto Federal de Educação  
Ciência e Tecnologia do Sul de Minas  
Gerais, Pouso Alegre  
Brasil e Universidade Federal de  
Itajubá, Itajubá, Brasil  
dmdc.duarte@gmail.com,

Ronã Rinston Amaury Mendes  
Instituto Federal de Educação  
Ciência e Tecnologia do Sul de Minas  
Gerais, Pouso Alegre  
Brasil e Universidade Federal de  
Itajubá, Itajubá, Brasil  
rona.rinston@ifsuldeminas.edu.br

Paulo Henrique da Silva Campos  
Universidade Federal de Itajubá  
Itajubá, Brasil  
paulohcamposs@hotmail.com

Anderson Paulo de Paiva  
Universidade Federal de Itajubá  
Itajubá, Brasil  
andersonppaiva@unifei.com.br

### **Área temática:**

Custos e gestão em perspectiva setorial

### **Metodología aplicada:**

M4 – Experimental

**Medellín, Colombia, Septiembre 9, 10, 11 de 2015**

### **Convocan:**



FACULTAD DE  
CIENCIAS ECONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE  
CIENCIAS CONTABLES



## **RESUMO**

Existem no Brasil três modalidades tarifárias para consumidores de média/alta tensão: convencional, Horo-Sazonal Verde e Horo-Sazonal Azul, com tarifas diferenciadas por potência demandada, período/ano e horário/dia. Este estudo determinou o custo de energia do processo de torneamento do aço ABNTH13 endurecido com ferramenta CC-605 *wiper* e verificou a melhor modalidade tarifária a ser contratada de forma a reduzir os custos com energia. Um conjunto de 19 experimentos foram modelados utilizando Metodologia de Superfície de Resposta. Considerando as condições de usinagem estudadas e uma potência máxima demandada de 18kW (potência do torno), a modalidade Horo-Sazonal Azul-HFP apresentou o menor custo de energia para um lote de 1000 peças; a diferença foi de 79,77% e 89,45% em relação às modalidades Horo-Sazonal Verde e Convencional, respectivamente. Simulações considerando outros 05 tornos com potências entre 7kW e 42,5kW mostraram que, abaixo de 8,44kW de potência demandada, os custos são menores para a modalidade convencional.

**Palavras-chave:** Custo de energia, Modalidade Tarifária, Usinagem

“Este trabalho foi financiado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - IFSULDEMINAS”

## **1. Introdução**

### **1.1. O setor elétrico no Brasil**

O sistema de fornecimento de energia vem passando, desde a década de 1990, por várias mudanças de natureza institucional, ampliação da participação da iniciativa privada, inovações tecnológicas, infra-estrutura econômica, desregulamentação do setor e mudanças no regime tarifário (COSTA e GOUVEIA, 2013).

No que se refere ao sistema tarifário brasileiro, um passo importante, segundo a autora, foi a instituição da Lei n.º. 8.631/1993, regulamentada pelo Decreto n.º. 774/1993 que vieram regulamentar os níveis das tarifas a serem cobrados para a contraprestação do serviço público de fornecimento de energia elétrica, conforme características específicas de cada área de concessão e da classe do consumidor final determinada de acordo com o consumo energético.

Sob o ponto de vista tarifário, estas legislações extinguiram a equalização tarifária e manteve o regime de serviço pelo custo, com a previsão de reajustes das tarifas propostas pelos concessionários, homologadas pelo Poder Concedente, sendo que, os níveis das tarifas de energia fornecidas pelas concessionárias serão fixados levando em consideração os custos específicos das concessionários, os valores relativos aos preços de energia elétrica adquirida dos fornecedores, o transporte da energia elétrica gerada pela Itaipu Binacional, os relativos às quotas anuais da Reserva Global de Reversão, ao rateio do custo de combustíveis e às compensações financeiras pela utilização de recursos hídricos (Art. 2º, Decreto 774/93) deveriam estar previstos. Extinguiu-se, portanto, a remuneração legal mínima de 10% sobre o investimento, vigente desde o Código de Águas, de 1934, fixando, a partir dessas mudanças, o regime tarifário vigente.

Da mesma forma, o artigo 9º, da Lei 8.987, de 1995 inaugurou o regime de tarifa pelo preço, com a possibilidade de previsão de mecanismos de reajuste e revisão das tarifas. Segundo a legislação, a tarifa cobrada deveria ser estabelecida pela agência reguladora, no caso a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e ser suficiente para cobrir todos os custos do serviço, inclusive os tributos, de modo a garantir o equilíbrio econômico-financeiro da concessionária e a remuneração dos investimentos necessários à manutenção dos serviços com qualidade e confiabilidade.

Muito parecidas, as Leis n.º. 8.631/1993 e 8.987/1995 concederam ao concessionário o direito de estabelecer a revisão nas tarifas de energia elétrica sempre que houver o aumento de custos operacionais, independente da origem, bem como a criação, alteração ou extinção de qualquer tributo, ressalvados os impostos sobre a renda (COSTA e GOUVEIA, 2013).

Tendo em vista a atual situação econômica do país fica evidente que quanto maiores os custos das concessionárias, maiores os preços finais de energia elétrica sobre as indústrias e maiores os preços finais dos produtos destinados aos consumidores finais. Portanto, uma empresa que deseja alcançar uma estrutura de custos racionalizada e tornar-se mais competitiva deve saber como contratar corretamente a energia elétrica e não pode admitir o desperdício ou o uso ineficiente desse insumo, principalmente em momentos também de crise da água e energia vividos pelo país nos últimos tempos.

Levando em consideração a importância do setor de usinagem, em especial, os processos de torneamento, para a indústria brasileira, este trabalho teve como objetivo determinar a modalidade tarifária que apresente o menor custo possível de energia contratada por um Centro de Torneamento. Para tanto, 19 experimentos foram rodados para um processo de torneamento endurecido do aço ABNT-H13 usando a ferramenta CC-650, com geometria *wiper* e um Torno com potência de 18kW. Em seguida, os custos com energia total foram determinados para cada modalidade do sistema tarifário brasileiro. Para fins de comparação, o custo com energia do mesmo processo foi calculado considerando outros 05 tornos com potências entre 7kW e 42,5kW, sendo possível estabelecer uma relação entre modalidade tarifária, minimização de custos e estrutura do imobilizado apresentado pela empresa.

## **2. Referencial teórico**

### **2.1. O sistema tarifário brasileiro**

Como já mencionamos, o sistema tarifário brasileiro em vigor foi estabelecido a partir de 1993 pela Lei nº 8.631 e o Decreto nº 774, que a regulamentou.

O sistema vigente inclui a chamada Tarifa Binômica, por ser constituída de duas parcelas distintas, ou seja, o consumo de energia elétrica registrado (kW/h) calculado com base nos valores de potência (ou demanda) dos diversos equipamentos utilizados (em watts, W) e no consumo de energia (em horas, h) destes equipamentos elétricos.

Além dessa distinção entre potência e energia, o sistema acrescentou o segmento Horo-Sazonal, que estabelece tarifas para os horários de ponta (HP) e fora de ponta (HFP). O primeiro refere-se àquele de maior solicitação de energia e é composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos finais de semana e feriados definidos por leis federais. Em média são 66 horas durante o mês. O horário fora de ponta são as horas complementares às três horas consecutivas que compõem o

horário de ponta, acrescidas da totalidade das horas fins de semana e feriados. Neste horário as tarifas de energia são inferiores às do HP e em média são 664 horas durante o mês.

O sistema fixa ainda valores distintos para os períodos do ano compreendidos entre maio e novembro, definido como período seco (PS) e entre dezembro e abril como período úmido (PU). Os valores são fixados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que é o órgão regulador das relações entre as concessionárias e consumidores, estabelecendo os diversos tipos de contratos, normas e instruções.

Outro fator extremamente importante são as características de cada unidade consumidora determinam o seu enquadramento em cada categoria. Assim, para o mercado de comercialização de energia, os consumidores residenciais e as pequenas instalações industriais e comerciais são classificados como Grupo B (clientes de baixa tensão) e estão enquadrados na modalidade, denominada Tarifa Convencional. Nesta modalidade, as tarifas fixadas independem dos HP, HFP e dos PS e PU.

Podem optar pela modalidade os clientes com potência instalada entre 30kW e 300kW (este é o valor definido pela CEMIG e pode alterar dependendo da concessionária).

Para as instalações consumidoras com potência instalada acima de 300kW (este é o valor definido pela CEMIG e pode alterar dependendo da concessionária) o suprimento de energia é feito para os consumidores do Grupo A, conhecido como clientes de carga pesada (clientes de média ou alta tensão) e é obrigatória a contratação de potência e energia (demanda e consumo). Os consumidores com potência instalada acima de 300kW só podem optar por duas modalidades tarifárias: Horo-Sazonal Azul e Horo-Sazonal Verde. Nestas modalidades, as tarifas de consumo são diferenciadas conforme os postos horários (HP ou HFP) e os períodos do ano (PS ou PU). Algumas concessionárias não disponibilizam o suprimento de energia em média ou alta tensão na tarifa convencional.

No entanto, clientes do Grupo A, com demanda de energia abaixo de 300kW tem a opção de contratarem a modalidade tarifária Convencional. No entanto, neste caso, a demanda mínima contratada será de 30kW, ou seja, mesmo que todos os equipamentos utilizados pela empresa apresentem uma potência instalada menor que 30kW, o valor mínimo de demanda contratada será de 30kW e este valor independe do consumo registrado (em kW/h).

Demanda contratada refere-se à potência que a concessionária disponibilizará para uso pela unidade consumidora.

Entenda-se como baixa tensão àquela disponibilizada pela concessionária como tensão secundária de distribuição (220, 380, 440, 480 Volts), média tensão aquela utilizada pela

concessionária como tensão primária de distribuição (13,8 ou 25 kV) e alta tensão como a utilizada pelo sistema de transmissão (69 ou 138 kV na maioria das Linhas de Transmissão).

De forma resumida, as regras para o enquadramento tarifário estão apresentadas na Figura 1.

**Figura 1** - Estrutura do sistema tarifário - CEMIG, Brasil

Tipos de tarifa	Valores a serem faturados		
	Consumo (kWh)	Demanda (kW)	Ultrapassagem
<p><b>Convencional</b></p> <p>Aplicada como <b>opção</b> para consumidores com demanda menor que 300 kW.</p>	Total registrado	<p>Maior valor entre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- demanda medida</li> <li>- demanda contratada</li> </ul> <p>Preço único</p>	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 5%.
<p><b>Verde</b></p> <p>Aplicada como <b>opção</b> para consumidores com demanda superior a 30 kW.</p>	<p>Total registrado no HFP</p> <p>Total registrado no HP</p> <p>Preços diferenciados para HFP e HP e para períodos seco e úmido.</p>	<p>Maior valor entre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- demanda medida</li> <li>- demanda contratada</li> </ul> <p>Preço único</p>	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 5%.
<p><b>Azul</b></p> <p>Aplicada como <b>opção</b> para consumidores com demanda superior a 30 kW.</p>	<p>Total registrado no HFP</p> <p>Total registrado no HP</p> <p>Preços diferenciados para HFP e HP e para períodos seco e úmido.</p>	<p>Maior valor entre</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- demanda medida</li> <li>- demanda contratada</li> </ul> <p>Preços diferenciados para HFP e HP</p>	Aplicável quando a demanda medida superar a contratada em 5% nos respectivos horários.

Fonte: CEMIG, 2015

Observe que, na modalidade Horo-Sazonal, no caso da demanda as tarifas são diferenciadas apenas na modalidade Azul e somente para os horários, um para o HP e outro para o HFP. Para todas as modalidades, um percentual de 5% será cobrado caso a demanda utilizada pela empresa seja superior à prevista no contrato.

Todas as informações citadas nesta seção foram baseadas no Manual de Gerenciamento de Energia, disponibilizado pela empresa CEMIG (2015)

## 2.2. Metodologia de cálculo do custo total com energia no processo de usinagem

Antes de efetuar a análise do custo total com energia do processo, é necessário analisar

os tempos e ciclos de usinagem de uma peça ou lote  $Z$  de peças que, segundo Ferraresi (1979), podem ser divididos em: tempo total de usinagem ( $t_t/\text{min}$ ), tempo de corte ( $t_c/\text{min}$ ), tempo secundário ( $t_s/\text{min}$ ) - que corresponde à colocação, inspeção e retirada da ferramenta, tempo de aproximação e afastamento da ferramenta ( $t_a/\text{min}$ ), tempo de preparo da máquina para usinagem de lote de peças ( $t_p/\text{min}$ ) e, por fim, tempo de substituição de ferramenta ( $t_i/\text{min}$ ). Mais detalhes dos tempos e ciclos de usinagem podem ser vistos em Ferraresi (1979) e Diniz (2001), mas de forma geral, o tempo total de usinagem ( $t_t$ ) para um lote  $Z$  é dado como:

$$t_t = t_c + \left( t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{1}{Z} \cdot t_i \right) + \frac{t_c}{T} \cdot t_i \quad (1)$$

Com:

$$t_c = \frac{lm}{l} \quad (2)$$

Onde:  $T$  é a vida da ferramenta medida em número de peças usinadas. Na Equação (2),  $t_c$  é o tempo de corte que diminui com a velocidade de corte e é calculado com base no comprimento da peça ( $lm$ ) e comprimento da peça usinada por minuto ( $l$ ) ;

A Equação (1) evidencia que o tempo total de usinagem de uma peça ou um lote  $Z$  pode ser dividido em 3 partes:

$$t_t = t_c + t_1 + t_2 \quad (3)$$

Onde,  $t_1$  é o tempo improdutivo, referente à colocação, inspeção e retirada da peça, aproximação e afastamento da ferramenta, substituição da ferramenta e preparo da máquina para a usinagem de um lote, que é independente da velocidade de corte e,  $t_2$  é o tempo relacionado com a troca da ferramenta. Quanto maior a velocidade de corte, menor a vida da ferramenta e maior o número de paradas da máquina para substituição da mesma. Portanto, maior também esta parcela (MENDES, 2004).

Com os valores de tempos e ciclos de usinagem, o custo total de energia do processo produtivo no âmbito da usinagem de uma peça ou um lote  $Z$  de peças pode ser calculado conforme Equação (3) :

$$K_{ue} = P_c \cdot t_t \cdot K_e \quad (4)$$

Com,

$$P = \frac{V_c \cdot f \cdot a_p \cdot k_c}{60 \cdot 10^3 \cdot n} \quad (5)$$

Em que,  $P$  é a potência específica de corte;  $V_c$ ,  $f$  e  $a_p$  são os parâmetros de corte Velocidade de Corte, Avanço e Profundidade de Corte, respectivamente, definidos para cada experimento.  $k_c$  é o coeficiente de força específica de corte e depende do tipo de material, da resistência à tração e Dureza e da taxa de avanço ( $f$ ) definidos para cada experimento.  $n$  é a eficiência da máquina e  $60 \cdot 10^3$  é uma constante.

Na Equação (4),  $t_t$  é o tempo total de produção calculado conforme Equação (1) e  $K_e$  é o valor da tarifa total de energia elétrica definida de acordo com a modalidade tarifária contratada pela empresa e deve ser calculada levando em consideração uma parcela fixa e outra variável (CEMIG, 2015), tal como:

$$K_e = T_{ef} + T_{ev} \quad (6)$$

Em que,  $T_{ef}$  é o valor da parcela fixa cobrada de acordo com a modalidade tarifária contratada pela empresa e independe do consumo de energia. É dado em R\$ kW/h.  $T_{ef}$  é obtido multiplicando seu valor pela Potência das máquinas da unidade contratada.  $T_{ev}$  é a parcela variável cobrada de acordo com a modalidade tarifária contratada pela empresa.

### 2.3. Condições econômicas de usinagem: parâmetros de corte

A maioria dos estudos que abrangem o processo de torneamento utiliza os parâmetros de usinagem clássicos como velocidade de corte ( $V_c$ ), taxa de avanço ( $f$ ) e profundidade de corte ( $a_p$ ). Estas variáveis são reconhecidamente as mais importantes, uma vez que influenciam fortemente o comportamento do processo de torneamento (CAMPOS, 2011).

A velocidade de corte ( $V_c$ ) é a taxa na qual a superfície não cortada da peça passa pela aresta de corte da ferramenta, expressa normalmente em m/mim. É entendida como a velocidade instantânea entre um ponto de referência da aresta de corte da ferramenta e a peça, na direção e sentido de corte. A taxa de avanço ( $f$ ) é a distância percorrida pela ferramenta em relação à peça, em cada movimento de revolução. Esta variável é expressa em mm/rev. A profundidade de corte ( $a_p$ ) expressa em (mm) é entendida como a diferença entre a superfície cortada e a não cortada ou a metade da diferença entre o diâmetro cortado e o não cortado.



A relação entre esses parâmetros e as características analisadas pode ser exemplificada, segundo Diniz et al. (2001), como: quanto maior a velocidade de corte, menor a vida da ferramenta e maior o número de paradas da máquina para substituição da mesma, portanto, maior serão os custos com ferramenta. Porém, o tempo de corte por peça vai ser baixo, acarretando menor utilização da máquina e do operador, com custos menores. O contrário é observado para altos níveis de velocidade de corte.

A escolha da faixa a ser utilizada para os parâmetros de usinagem durante a execução do trabalho depende de diversos fatores, entre eles: o tipo de material que será usinado, a máquina disponível para o trabalho e a ferramenta de corte selecionada. Ressalta-se, portanto, que a escolha correta dos níveis desses parâmetros pode reduzir custo, tempo e melhorar a qualidade da peça usinada.

#### 2.4. Metodologia de Superfície de Resposta

De acordo com Montgomery (2001), a Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas utilizadas para modelar e analisar problemas no qual a forma de relacionamento entre as variáveis dependentes e independentes, é desconhecida. Usualmente, emprega-se, um polinômio de baixa ordem. Se houver curvatura no processo, então, um polinômio ordem mais elevado se torna necessário, tal como descreve a Equação (7).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (7)$$

Para estimar os parâmetros ( $\beta$ ) na Equação (6), emprega-se o método dos mínimos quadrados, que na forma matricial ser escrito como:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (8)$$

Em que,  $X$  é a matriz dos fatores e  $y$ , das respostas.

Um típico arranjo para modelos quadráticos é o Arranjo Composto Central (*CCD*, do inglês, *Central Composite Design*). Formado por três grupos distintos de elementos experimentais: um fatorial, um conjunto de pontos centrais e um grupo de pontos axiais, este arranjo possui a distância  $\alpha$  entre os pontos centrais e os axiais, constante. Este parâmetro confere rotacionalidade ao experimento, ou seja, a variância da resposta predita em um ponto de interesse  $x$  é consistente e estável (GOMES et al., 2013).

### **3. Materiais e métodos de pesquisa**

#### **3.1. Método experimental**

O método adotado neste trabalho foi a pesquisa experimental uma vez que a otimização do objeto de estudo se baseou em funções objetivo determinados a partir de dados coletados por experimentos. Os experimentos deste trabalho foram coletados por Paulo Henrique da Silva Campos, doutorando do programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI, 2015).

#### **3.2. Objeto de estudo**

O objeto de estudo deste trabalho foi o processo de torneamento do aço endurecido ABNT H13, usando a ferramenta de corte CC-650, com geometria *wiper*.

Torneamento duro trata-se da remoção de materiais de dureza variando entre 45 e 65 HRC realizados geralmente com materiais de ferramentas avançados, como cerâmica mista ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) e nitreto de boro cúbico (CBN) (CAMPOS, 2011).

Segundo Campos et al. (2011) e Sales (2014), o processo de torneamento duro permite produzir com valores mínimos de rugosidade. No aspecto econômico, este processo apresenta menor tempo de processamento consumido em cada operação e, conseqüentemente, maior produtividade por etapa, redução nos custos de produção e redução no consumo de energia (PAIVA et. 2012; CAMPOS et al., 2013; CAMPOS et al. 2011, SALES, 2004). Além disso, o torneamento de materiais endurecido é geralmente realizado a seco, o que elimina os problemas de saúde causados aos operadores e a necessidade de descarte de fluído de corte (DINIZ e OLIVEIRA, 2008). Todos estes aspectos podem ser alcançados com maior eficiência se ferramentas do tipo alisadoras são utilizadas no processo de corte (CAMPOS et al., 2011; SALES, 2004).

#### **3.3. Procedimento experimental e coleta de dados**

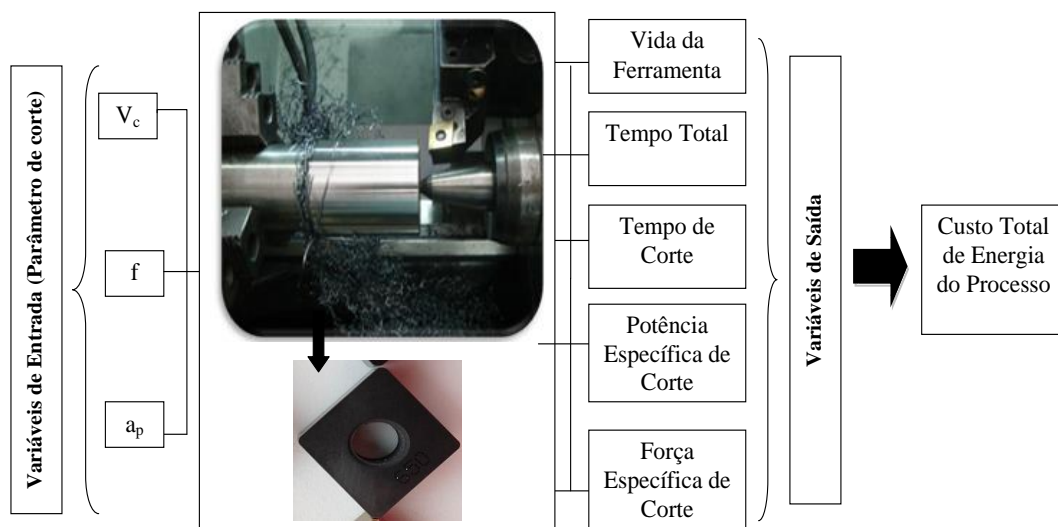
Uma vez definido o objeto de estudo, o levantamento dos dados foram obtidos por meio de um Arranjo Composto Central (CCD, do inglês *Central Composite Design*), criado para três parâmetros e dois níveis, seis pontos axiais e cinco *center points* resultando em 19 experimentos. Uma distância axial de  $\alpha = 1,682$  foi considerada. Os parâmetros (variáveis de entrada) adotados para esse procedimento foram Velocidade de corte ( $V_c$ ), taxa de avanço (f) e profundidade de corte ( $a_p$ ).

A variável de saída analisada foi o Custo total com energia do processo produtivo ( $K_{ue}$ ), calculado conforme Equação (4). Para tanto, o Tempo total de produção ( $t_t$ ), o Tempo total de Corte ( $t_c$ ), a Potência específica de corte ( $P$ ), o Coeficiente de Força Específica de Corte ( $k_c$ ) e a vida da ferramenta (T) foram também determinados (conforme Equações 1, 2 e 5) para cada um dos 19 experimentos a fim de calcular ( $K_{ue}$ ).

Para calcular ( $P$ ), foi considerado um valor de 85% para eficiência ( $\eta$ ) da máquina. Para o cálculo do ( $k_c$ ) o tipo de material considerado foi o aço cromo-molibdênio, com dureza de 730MPa e valores entre 2.850 a 4.500MPa para cada avanço foram considerados (MITSUBISHI, 2015).

A Figura 2 apresenta o diagrama de processo para o sistema investigado. A Tabela 1 apresenta os níveis dos parâmetros de corte utilizados no arranjo experimental, enquanto a Tabela 2 apresentam a matriz do arranjo experimental encontrado nas condições especificadas. Todos os experimentos foram realizados em um torno MHP Kingsbury, com potência de 18kW e rotação entre 4 e 4.500rpm. Não foram utilizados fluidos de corte.

Os valores definidos para as variáveis tempo secundário ( $t_s$ /min), tempo de aproximação e afastamento da ferramenta ( $t_a$ /min), tempo de preparo da máquina para usinagem de lote de peças ( $t_p$ /min), tempo de substituição de ferramenta ( $t_i$ /min), comprimento da peça ( $l_m$ ) estão descritos na Tabela 3.



Fonte: os autores

**Figura 2** - Processo de torneamento do aço endurecido utilizando CC-650 e CC-650 wiper

**Tabela 1** - Parâmetros de corte e seus respectivos níveis

Parâmetros de Corte	Níveis dos parâmetros				
	-1,682	-1	0	1	+1,682
Velocidade de Corte ( $V_c$ , mm/min)	57,39	100	150	225	267,61
Avanço ( $f$ , mm/rev)	0,06	0,1	0,15	0,225	0,27
Profundidade de Corte ( $a_p$ , mm)	0,09	0,15	0,225	0,33	0,39

Fonte: os autores

**Tabela 2** - Matriz do arranjo experimental

N. Exp.	CCD			Parâmetros de Corte				Respostas			
	$V_c$	$f$	$a_p$	$V_c$	$f$	$a_p$	$t_t$	$t_c$	P	$K_c$	T
	m/min	mm/rev	mm	m/min	mm/rev	mm	(min)	(min)	(kW)	(Mpa)	(min)
1	-1	-1	-1	100	0,1	0,15	2,321	1,571	0,132	4500	61,00
2	1	-1	-1	225	0,1	0,15	1,419	0,698	0,298	4500	32,25
3	-1	1	-1	100	0,22	0,15	1,474	0,698	0,252	3900	50,50
4	1	1	-1	225	0,22	0,15	1,039	0,31	0,568	3900	30,00
5	-1	-1	1	100	0,1	0,33	2,397	1,571	0,291	4500	62,25
6	1	-1	1	225	0,1	0,33	1,452	0,698	0,655	4500	28,50
7	-1	1	1	100	0,22	0,33	1,53	0,698	0,555	3900	50,50
8	1	1	1	225	0,22	0,33	1,02	0,31	1,249	3900	27,50
9	-1.682	0	0	57,39	0,16	0,24	2,521	1,684	0,169	3900	58,00
10	1.682	0	0	267,61	0,16	0,24	1,073	0,361	0,786	3900	23,50
11	0	-1.682	0	162,5	0,05	0,24	2,462	1,684	0,172	4500	37,50
12	0	1.682	0	162,5	0,26	0,24	1,108	0,361	0,676	3400	40,00
13	0	0	-1.628	162,5	0,16	0,09	1,317	0,595	0,179	3900	49,50
14	0	0	1.682	162,5	0,16	0,39	1,375	0,595	0,775	3900	46,00
15	0	0	0	162,5	0,16	0,24	1,376	0,595	0,477	3900	42,00
16	0	0	0	162,5	0,16	0,24	1,373	0,595	0,477	3900	42,50
17	0	0	0	162,5	0,16	0,24	1,379	0,595	0,477	3900	41,50
18	0	0	0	162,5	0,16	0,24	1,373	0,595	0,477	3900	42,00
19	0	0	0	162,5	0,16	0,24	1,381	0,604	0,477	3900	43,00

Fonte: os autores

**Tabela 3** - Dados do processo de torneamento do aço endurecido ABNT H13

Dados	Símbolo	Unidade	Valor
Tamanho do lote	Z	unid.	1000
Tempo secundário	$t_s$	min	0,5
Tempo de aproximação e afastamento da ferramenta	$t_a$	min	0,1
Tempo de preparo da máquina	$t_p$	min	60
Tempo de troca do inserto	$t_i$	min	1
Custo do inserto	$K_{pi}$	U\$	23,1
Vida média do porta ferramenta	$N_{fp}$	n° arestas	1000
Número de arestas de corte do inserto	$N_s$	unid.	4
Comprimento da peça	lm	mm	100
Diâmetro da peça	D	mm	50

Fonte: os autores

Os valores das tarifas de energia nas três modalidades tarifárias tiveram como base os valores disponibilizados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), na data de 23 de março de 2015, conforme consta na Figura 3.

<u>CONVENCIONAL</u>		<u>Demanda</u> R\$/kW	<u>Energia</u> R\$/kWh
A3a (30 kV a 44 kV)		29,14	0,29640
A4 (2,3 kV a 25 kV)		29,14	0,29742
AS (Subterrâneo)		47,03	0,31771

<u>TARIFA HORO-SAZONAL VERDE</u>						
Tipo	<u>DEMANDA</u> R\$/KW		<u>ENERGIA</u> R\$/KWH			
	<u>Ponta</u> R\$/kW	<u>Fora de Ponta</u> Tarifa de Ultrapassagem R\$/kW	<u>Ponta</u>		<u>Fora de Ponta</u>	
			<u>Seca</u> R\$/kWh	<u>Úmida</u> R\$/kWh	<u>Seca</u> R\$/kWh	<u>Úmida</u> R\$/kWh
A3a (30 a 44 kV)	8,28	16,56	1,12367	1,12367	0,28538	0,28538
A4 (2,3 a 25 kV)	8,28	16,56	1,12469	1,12469	0,28640	0,28640
AS (Subterrâneo)	19,76	39,52	1,36161	1,36161	0,30669	0,30669

<u>TARIFA HORO-SAZONAL AZUL</u>								
Tipo	<u>DEMANDA</u> R\$/KW				<u>ENERGIA</u> R\$/KWH			
	<u>Ponta</u> R\$/kW	<u>Fora de Ponta</u> R\$/kW	<u>Ultrapassagem</u>		<u>Ponta</u>		<u>Fora de Ponta</u>	
			<u>Ponta</u> R\$/kW	<u>Fora de Ponta</u> R\$/kW	<u>Seca</u> R\$/kWh	<u>Úmida</u> R\$/kWh	<u>Seca</u> R\$/kWh	<u>Úmida</u> R\$/kWh
A1 (230 kV ou mais)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
A2 (88 a 138 kV)	5,64	1,87	11,28	3,74	0,40578	0,40578	0,27357	0,27357
A3 (69 kV)	17,04	4,79	34,08	9,58	0,41737	0,41737	0,28516	0,28516
A3a (30 a 44 kV)	28,98	8,28	57,98	16,58	0,41759	0,41759	0,28538	0,28538
A4 (2,3 a 25 kV)	28,98	8,28	57,98	16,58	0,41861	0,41861	0,28640	0,28640
AS (Subterrâneo)	37,87	19,76	75,74	39,52	0,43890	0,43890	0,30669	0,30669

Fonte: CEMIG, 2015

**Figura 3** - Valores tarifários para as modalidades Convencional, Horo-Sazonal Verde e Horo-Sazonal Azul

Observe que, na modalidade Horo-Sazonal, no caso da demanda as tarifas são diferenciadas apenas na modalidade Azul e somente para os horários, um para o HP e outro

para o HFP. Observem que, no caso da Verde, a tarifa do consumo é muito elevada no HP e no caso da Azul a tarifa demanda HP é mais de 3 vezes e meia o valor da demanda HFP.

Apesar dos valores das tarifas consideradas neste trabalho terem sido da CEMIG, a metodologia de cálculo é a mesma considerando o cálculo para outras concessionárias.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Cálculo das tarifas de energia e dos custos totais de energia para cada modalidade tarifária

Diante dos resultados experimentais apresentados na Tabela 2, das condições do experimento demonstrados na Tabela 3 e das tarifas definidas pela CEMIG para cada modalidade tarifária, conforme apresentados na Figura 3 foi possível calcular o valor da tarifa de energia (aplicando a Equação 4) e, em seguida, os valores dos custos totais com energia elétrica (aplicando a Equação 6), para cada um dos 19 experimentos e em cada uma das três modalidades tarifárias, quais sejam: Tarifa Convencional, Tarifa Horo-Sazonal Verde e Tarifa Horo-Sazonal Azul.

As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam os resultados das tarifas de energia aplicados às modalidades tarifárias Convencional, Horo-Sazonal Verde e Horo-Sazonal Azul, respectivamente.

**Tabela 4** - Tarifa de energia elétrica - Modalidade Tarifária Convencional

Potência máxima contratada por mês: 18kW/220h/mês			Classificação A4 (R\$ kW/h)
Tarifa da Parcela Fixa	Tarifa da Parcela Variável	Tarifa Total de Energia	
2,3842	0,2974	2,682	

Fonte: os autores

**Tabela 5** - Tarifa de energia elétrica - Modalidade Tarifária Horo-Sazonal Verde

Potência máxima contratada por mês: 30kW/220h/mês				Classificação A4 (R\$ kW/h)	
Parcela Fixa (HFP)	Parcela Fixa (HP)	Parcela Variável (HFP)	Parcela Variável (HP)	Tarifa Total de Energia (HFP)	Tarifa Total de Energia (HP)
2,258	1,129	0,286	1,125	2,545	2,254

Fonte: os autores

**Tabela 6** - Tarifa de energia elétrica - Modalidade Tarifária Horo-Sazonal Azul

Potência máxima contratada por mês: 30kW/220h/mês					Classificação A4 (R\$ kW/h)	
Parcela Fixa (HFP)	Parcela Fixa (HP)	Parcela Variável (HFP)	Parcela Variável (HP)	Tarifa Total de Energia (HFP)	Tarifa Total de Energia (HP)	
1,129	3,952	0,286	0,419	1,415	4,370	

Fonte: os autores

Para o cálculo de todas as tarifas energéticas é importante destacar as seguintes condições: (a) foi considerado 220h/mês trabalhados, (b) foi considerado o período úmido (PU), (c) considerou-se que o Centro de Torneamento trabalhava apenas com um maquinário, no caso, o torno MHP Kingsbury, com potência de 18kW, (d) o Centro de Usinagem está classificado no Grupo A4, (e) os cálculos finais das tarifas de energia elétrica estão em R\$ kW/h e, (f) o custo total de energia do processo foi calculado para um lote Z de 1.000 peças.

A Tabela 7 apresenta os custos totais com energia elétrica do processo de torneamento do aço endurecido ABNT H13, encontrados para cada modalidade tarifária.

**Tabela 7** - Custos Totais com Energia Elétrica do processo de torneamento do aço endurecido ABNT H13 encontrados nas modalidades tarifárias Convencional, Verde e Azul

N. Exp.	Demanda contratada 18kW/mês	Demanda contratada 30kW/mês		Demanda contratada 30kW/mês	
		R\$ kW/min		R\$ kW/min	
		Convencional	Horo-Sazonal Verde		Horo-Sazonal Azul
		HFP	HP	HFP	HP
1	0,019	0,018	0,016	0,010	0,031
2	0,031	0,030	0,026	0,017	0,051
3	0,027	0,025	0,022	0,014	0,043
4	0,050	0,047	0,042	0,026	0,081
5	0,042	0,040	0,035	0,022	0,069
6	0,069	0,065	0,058	0,036	0,113
7	0,058	0,055	0,049	0,031	0,095
8	0,110	0,104	0,092	0,058	0,179
9	0,025	0,024	0,021	0,013	0,041
10	0,071	0,067	0,060	0,037	0,116
11	0,026	0,024	0,022	0,014	0,042
12	0,061	0,058	0,051	0,032	0,100
13	0,018	0,017	0,015	0,010	0,029
14	0,078	0,074	0,066	0,041	0,127
15	0,048	0,046	0,040	0,025	0,078
16	0,048	0,046	0,040	0,025	0,078
17	0,048	0,046	0,040	0,025	0,078
18	0,048	0,046	0,040	0,025	0,078
19	0,048	0,046	0,040	0,025	0,079
<b>Media</b>	<b>0,049</b>	<b>0,046</b>	<b>0,041</b>	<b>0,026</b>	<b>0,079</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,018</b>	<b>0,017</b>	<b>0,015</b>	<b>0,010</b>	<b>0,029</b>
<b>Maximo</b>	<b>0,110</b>	<b>0,104</b>	<b>0,092</b>	<b>0,058</b>	<b>0,179</b>

Fonte: os autores

Optou-se por deixar os valores dos custos totais na unidade minutos, uma vez que os tempos e ciclos do processo foram obtidos nesta mesma unidade. Da mesma forma que nos cálculos anteriores, foi considerado 1 mês como 220h.

Os resultados mostram claramente que, considerando uma potência máxima contratada de 18kW na Modalidade Convencional e de 30kW (potência mínima a ser contratada nas modalidades Verde e Azul) nas modalidades Tarifárias Horo-Sazonal Azul e Verde, a Modalidade Tarifária Azul, no horário sem ponta (HFP) apresentou o menor Custo Total com Energia Elétrica para todas as condições experimentais. Ou seja, mesmo o Centro de Usinagem utilizar apenas 18kW/mês, a empresa pagará menos energia optando pela Modalidade Tarifária Azul-HFP se comparado com as demais modalidades tarifárias, inclusive com a modalidade Convencional, onde a empresa iria pagar apenas sobre o consumo (no caso, 18kW).

Considerando que os cálculos foram realizados para um lote de 1.000 peças, a diferença no Custo Total com Energia da modalidade Horo-Sazonal Azul HFP foi de 79,77% e 89,45% em relação às modalidades Horo-Sazonal Verde e Convencional, respectivamente. Simulações considerando outros 05 tornos com potências entre 7kW e 42,5kW mostraram que, abaixo de 8,44kW de potência demandada, os custos são menores para a modalidade convencional.

Por outro lado, o maior custo com energia considerando o Horário de Ponta foi apresentado pela Modalidade Horo-Sazonal Azul e, curiosamente, o menor custo considerando o uso da energia neste horário foi encontrado para a Modalidade Horo-Sazonal Verde. Estes resultados mostram o quanto os turnos de trabalhos podem influenciar no Custo de Energia e, conseqüentemente no Custo Total do produto final.

#### **4.2. Cálculo das tarifas de energia e dos custos totais de energia para cada modalidade tarifária considerando potências requeridas diferentes**

Com o intuito de expandir os resultados para outros Centros de Usinagem, que por ventura venham apresentar outros equipamentos com valores de Potência diferentes, 05 simulações foram realizadas considerando as mesmas condições experimentais e os mesmos resultados apresentados para os 19 experimentos, mas com Tornos com Potência diferentes, aproximadamente: 6,8kW; 15,3kW; 30kW; 34kW e 42kW. As simulações foram aplicadas considerando as Modalidades Convencional, Horo-Sazonal Verde, no período fora de Ponta e Horo-Sazonal Azul no período fora de Ponta e os resultados apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente.



**Tabela 8** - Resultados da Simulação considerando Potências Máximas diferentes -  
Modalidade Convencional

Modalidade Convencional							Ponto de Equilíbrio
kW Máquina	6,8	15,3	18	30	34	42,5	<b>8,4415</b>
Valores dos Custos Totais com Energia (R\$ kW/min)							
1	0,006	0,012	0,014	0,022	0,025	0,030	<b>0,007</b>
2	0,009	0,016	0,019	0,030	0,034	0,041	<b>0,010</b>
3	0,008	0,014	0,017	0,026	0,030	0,037	<b>0,009</b>
4	0,012	0,022	0,026	0,042	0,047	0,058	<b>0,014</b>
5	0,014	0,026	0,031	0,050	0,056	0,069	<b>0,016</b>
6	0,019	0,036	0,042	0,068	0,076	0,094	<b>0,022</b>
7	0,017	0,032	0,038	0,060	0,068	0,084	<b>0,020</b>
8	0,026	0,049	0,057	0,091	0,102	0,126	<b>0,030</b>
9	0,009	0,016	0,019	0,030	0,034	0,042	<b>0,010</b>
10	0,017	0,032	0,038	0,060	0,067	0,083	<b>0,020</b>
11	0,009	0,016	0,019	0,030	0,034	0,042	<b>0,010</b>
12	0,015	0,028	0,033	0,053	0,059	0,073	<b>0,018</b>
13	0,005	0,009	0,010	0,017	0,019	0,023	<b>0,006</b>
14	0,022	0,040	0,047	0,076	0,085	0,105	<b>0,025</b>
15	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
16	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
17	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
18	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
19	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
Media	0,013	0,025	0,029	0,047	0,052	0,065	<b>0,015</b>
Mínimo	0,005	0,009	0,010	0,017	0,019	0,023	<b>0,006</b>
Maximo	0,026	0,049	0,057	0,091	0,102	0,126	<b>0,030</b>

**Tabela 9** - Resultados da Simulação considerando Potências Máximas diferentes -  
Modalidade Horo-Sazonal Verde - HFP

Modalidade Horo-Sazonal Verde - HFP						
kW Máquina	6,8	15,3	18	30	34	42,5
Valores dos Custos Totais com Energia (R\$ kW/min)						
1	0,013	0,013	0,013	0,013	0,015	0,018
2	0,018	0,018	0,018	0,018	0,020	0,024
3	0,016	0,016	0,016	0,016	0,018	0,022
4	0,025	0,025	0,025	0,025	0,028	0,034
5	0,030	0,030	0,030	0,030	0,033	0,040
6	0,040	0,040	0,040	0,040	0,045	0,055
7	0,036	0,036	0,036	0,036	0,040	0,049
8	0,054	0,054	0,054	0,054	0,060	0,074
9	0,018	0,018	0,018	0,018	0,020	0,025
10	0,036	0,036	0,036	0,036	0,040	0,049
11	0,018	0,018	0,018	0,018	0,020	0,025
12	0,032	0,032	0,032	0,032	0,035	0,043
13	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,014
14	0,045	0,045	0,045	0,045	0,050	0,062
15	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038

16	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038
17	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038
18	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038
19	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038
Media	0,028	0,028	0,028	0,028	0,031	0,038
Mínimo	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,014
Maximo	0,054	0,054	0,054	0,054	0,060	0,074

Fonte: os autores

**Tabela 10** - Resultados da Simulação considerando Potências Máximas diferentes - Modalidade Horo-Sazonal Azul - HFP

Modalidade Horo-Sazonal Azul - HFP						
kW Máquina	6,8	15,3	18	30	34	42,5
Valores dos Custos Totais com Energia (R\$ kW/min)						
1	0,007	0,007	0,007	0,007	0,008	0,010
2	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,013
3	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,012
4	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,018
5	0,016	0,016	0,016	0,016	0,018	0,022
6	0,022	0,022	0,022	0,022	0,025	0,030
7	0,020	0,020	0,020	0,020	0,022	0,027
8	0,030	0,030	0,030	0,030	0,033	0,040
9	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,013
10	0,020	0,020	0,020	0,020	0,022	0,026
11	0,010	0,010	0,010	0,010	0,011	0,013
12	0,018	0,018	0,018	0,018	0,019	0,023
13	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007
14	0,025	0,025	0,025	0,025	0,028	0,033
15	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
16	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
17	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
18	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
19	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
Media	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,021
Mínimo	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,007
Maximo	0,030	0,030	0,030	0,030	0,033	0,040

Fonte: os autores

Nota-se que para Potências requeridas acima de 6,8kW a melhor opção de modalidade tarifária é a Horo-Sazonal Azul - HFP e para valores abaixo ou iguais a esse valor, a melhor opção é a Convencional. Procurando o Ponto de Equilíbrio entre estes valores, foi possível chegar ao valor de 8,4415kW, ou seja, qualquer Potência requerida igual ou abaixo de 8,4415kW os custos serão menores para a modalidade convencional (última coluna da Tabela 8).

## 5. Conclusões

Os resultados mostram claramente que, considerando uma potência máxima contratada de 18kW na Modalidade Convencional e de 30kW (potência mínima a ser contratada nas modalidades Verde e Azul) nas modalidades Tarifárias Horo-Sazonal Azul e Verde, a Modalidade Tarifária Azul, no horário sem ponta (HFP) apresentou o menor Custo Total com Energia Elétrica para todas as condições experimentais. Ou seja, mesmo o Centro de Usinagem utilizar apenas 18kW/mês, a empresa pagará menos energia optando pela Modalidade Tarifária Azul-HFP se comparado com as demais modalidades tarifárias, inclusive com a modalidade Convencional, onde a empresa iria pagar apenas sobre o consumo (no caso, 18kW).

Considerando cálculo realizado um lote de 1.000 peças, a diferença no Custo Total com Energia da modalidade Horo-Sazonal Azul HFP foi de 79,77% e 89,45% em relação às modalidades Horo-Sazonal Verde e Convencional, respectivamente.

Simulações considerando outros 05 tornos com potências entre 7kW e 42,5kW mostraram que, abaixo de 8,44kW de potência demandada, os custos são menores para a modalidade convencional.

## 6. Referências

CAMPOS, P. H. S.; FERREIRA, J. R.; PAIVA, A. P.; BALESTRASSI, P. P.; DAVIN, J. P. Modeling and optimization techniques in machining of hardened steels: a brief review. Rev. Adv. Mater. Sci., v. 34, p. 141-147, 2013.

CAMPOS, P. H. S. **Otimização robusta multivariada do processo de torneamento do aço endurecido ABNT 52100 com ferramenta cerâmica alisador.** Itajubá. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajuba, Itajubá, Minas Gerais, Brasil (UNIFEI). 95 p. 2011.

CAMPOS, P. H. S.; FERREIRA, J. R.; PAIVA, A. P.; BALESTRASSI, P. P. Modelagem da Rugosidade (Ra, Rt, Rz, Rq e Ry) no torneamento do aço ABNT 52100 endurecido utilizando cerâmica mista com geometria wiper. ABCM. In: 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Abril, 2011, Caxias do Sul, RS, Brasil.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de tarifas de energia.** Disponível em <[http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>. Acesso em 23 de março de 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual de Gerenciamento de Energia.**

Disponível em <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/sustentabilidade/nossos\\_programas/Eficiencia\\_Energetica/Documents/MANUAL%20DE%20GERENCIAMENTO%20DE%20ENERGIA%202011\\_BAIXA\\_16-01\\_LOS%20%282%29.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Eficiencia_Energetica/Documents/MANUAL%20DE%20GERENCIAMENTO%20DE%20ENERGIA%202011_BAIXA_16-01_LOS%20%282%29.pdf)>. Acesso em 23 de março de 2015.

COSTA, D. M. D. ; GOUVEIA, F. S. . **OS EFEITOS DA POLÍTICA TRIBUTÁRIA E**

**DA REGULAMENTAÇÃO ECONÔMICA SOBRE AS EMPRESAS DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.** In: XX Congresso Brasileiro de Custos, 2013, Uberlândia, MG. XX Congresso Brasileiro de Custos Custos e Sustentabilidade nos Sistemas de Logística Reversa. Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Custos, 2013. v. XX.

DINIZ, A.E., MARCONCES, F.C., COPPINI, N.L. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** 3ª ed. São Paulo: Artliber Editora, 2001.

DINIZ,A.;OLIVEIRA, A.Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools. **Journal of Materials Processing Technology**, p. 275-281, 2008.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais.** São Paulo: Edgard Blucher, 1979.

GOMES, J. H. F.; BRITO, T. G.; PAIVA, A. P.; ANDRADE, A. X. Método de Interseção Normal à Fronteira aplicado à otimização do torneamento do aço ABNT 52100 com ferramentas de cerâmica mista. **E-Locução, Revista Científica da FAEX**, ed. 04, Ano 2, 2013

MENDES, R. R. A. **Estudo da minimização do custo de usinagem de aço endurecido usando metodologia de superfície de resposta.** Itajubá: UNIFEI, 2004. 112 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajuba, Itajubá, Minas Gerais, Brasil, 2004.

MITSUBISHI MATERIALS. **TORNEAMENTO.** Disponível em <[http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical\\_information/information/formula4.html](http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mht/pt/html/product/technical_information/information/formula4.html)> Acesso em 23 de março de 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** John Wiley & Sons, 1997.

PAIVA, A. P.; CAMPOS, P. H.; FERREIRA, J. R.; LOPES, L. G. D.; PAIVA, E. J.; BALESTRASSI, P. P. A multivariate robust parameter design approach for optimization of AISI 52100 hardened steel turning with wiper mixed ceramic tool. **Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 30. p. 152-163, 2012. Elsevier.

SALES, G. T. de. **Torneamento do aço ASTM 300M endurecido com ferramentas de cerâmica e PCBN com geometria "Wiper".** Itajubá: UNIFEI, 2004. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajuba, Itajubá, Minas Gerais, 2004.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem às instituições brasileiras FAPEMIG, CNPq e CAPES e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - IFSULDEMINAS.