

CURVA DE RECOZIMENTO CONTÍNUO PARA AÇOS INOX AUSTENÍTICOS, COM PERFIL DE POTÊNCIA TÉRMICA EM ORDEM CRESCENTE ⁽¹⁾

Geraldo Batista Godoy ⁽²⁾
José Edson da Silva ⁽³⁾
José Nicacio da Silva ⁽⁴⁾
Márcio de Oliveira Gomes ⁽⁵⁾
Paulo Henrique dos Santos ⁽⁶⁾
Valdomiro Crispim Machado ⁽⁷⁾

RESUMO

O trabalho tem como objetivo atingir a capacidade de produção especificada para a linha de recozimento contínuo nº 4 da Acesita (RB4), com redução dos custos de produção e garantia de funcionamento contínuo do sistema de exaustão do forno. Foi feito o redimensionamento da potência térmica das zonas do forno, e realização de experimentos de campo fazendo as modificações físicas do equipamento previstas, bem como as alterações de processo para garantir a qualidade superficial e propriedades mecânicas do material produzido, através do desenvolvimento de um novo perfil de distribuição da potência térmica do forno. Foi obtido um aumento médio de 16% na produtividade do equipamento, com superação da capacidade de produção especificada de 15.000 t/mês, permitindo um desempenho satisfatório do sistema de exaustão devido a redução da temperatura dos gases produtos da combustão. Houve ainda uma redução dos custos de produção da ordem de R\$ 1, 5 milhões por ano.

Palavras-chave: recozimento, térmica, inoxidáveis

(1) Contribuição Técnica a ser apresentada no 41º Seminário de Laminação - Processo e Produtos Laminados e Revestidos - 26 a 28 de outubro de 2004 – Joinville – SC – Brasil

(2) Técnico em Eletrônica, Analista Técnico da Gerência de Manutenção da Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(3) Técnico em Mecânica, Analista Técnico da Gerência de Manutenção da Laminação a Frio de Inoxidáveis da Acesita.

(4) Engenheiro Metalúrgico, M. Sc., Assistente Técnico da Gerência de Metalurgia de Inoxidáveis da Acesita.

(5) Engenheiro Metalúrgico, Assistente Técnico da Gerência de Laminação a frio de Inoxidáveis da Acesita.

(6) Técnico em Mecânica, Analista Técnico da Gerência de Laminação a frio de Inoxidáveis da Acesita.

(7) Técnico em Mecânica, Assistente Técnico da Gerência de Laminação a frio de Inoxidáveis da Acesita.

1. INTRODUÇÃO

A figura 1 mostra o fluxograma dos equipamentos que compõem a linha de recozimento e decapagem de bobinas número quatro – RB4 – da Acesita, onde foi realizado este trabalho.

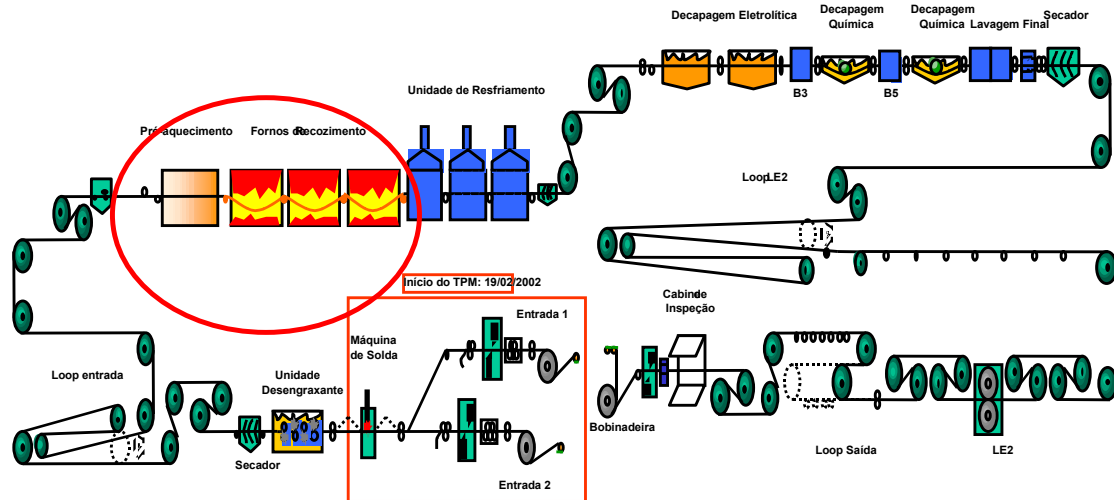


Figura 1 – Fluxograma da RB4

A RB4 foi especificada para recozer tiras de aços inoxidáveis laminadas a frio das séries 300 e 400, numa faixa de largura de 1000 mm a 1350 mm e numa faixa de espessura de 0,30 mm a 2,50 mm. Para uma produção de 15.000 t/mês, a produtividade prevista para os aços austeníticos é mostrada na tabela 1.

Tabela 1 – Produtividade especificada para os aços austeníticos em função das espessuras para a largura 1245 mm

Espessura (mm)	Velocidade (m/min)	Produtividade (t/hora)
0,45	70,0	18,5
0,70	70,0	28,9
1,10	54,5	35,4
1,65	36,3	35,4

Na especificação para produção dos aços austeníticos foi prevista uma temperatura na faixa de 1080°C à 1200°C, para uma atmosfera no interior dos fornos de 3,0 a 6,0 % de oxigênio livre. Foi considerado também que o encharque seria à temperatura de 1080°C num tempo mínimo de 10 segundos. O encharque se inicia a 930°C e o tempo de encharque aumenta com o aumento da espessura até um máximo de 43,4 segundos.

O conjunto total de câmaras tem 64 metros de comprimento, distribuídos em quatro células. A primeira célula é de pré-aquecimento com 19 metros de comprimento e as demais três células são de aquecimento, com 15 metros de comprimento cada. Para

atender a demanda de produção, o conjunto de fornos ficou com a configuração térmica mostrada na tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição da potência térmica por células e zonas

Células	Zonas	Nº Queimadores	Potência (Kcal/h)	Total de Potência (Kcal/h)	
1	1	12	258.000	3.096.000	7.296.000
	2	12	180.000	2.160.000	
	3	12	170.000	2.040.000	
2	4	12	142.000	1.704.000	3.972.000
	5	12	98.000	1.176.000	
	6	12	91.000	1.092.000	
3	7	12	71.000	852.000	2.472.000
	8	12	42.000	504.000	
	9	12	93.000	1.116.000	
Total		108			13.740.000

Para os aços austeníticos, a partir da temperatura ambiente, a célula de pré-aquecimento eleva a temperatura da tira para aproximadamente 450°C, com o fluxo dos gases do produto da combustão em contra corrente com a tira.

No início da célula de pré-aquecimento está instalado o sistema de exaustão que retira os fumos, produto da combustão das células de aquecimento, em regime forçado.

Observa-se também na tabela 2, pelos valores da potência térmica das células, que a configuração da curva térmica é de sentido decrescente a partir da célula 1 para a célula 3, onde a célula 3 tem uma potência de aproximadamente um terço da potência da célula 1.

Como a geração de fumos é muito maior na célula 1, que tem maior potência, e estando esta mais próxima do sistema de exaustão, o mesmo fica submetido ao um maior volume de fumos à temperaturas altas. Essa condição leva a uma redução na vida útil do exaustor, e a uma redução de velocidade do processo. A análise da equipe (processo, metalurgia, instrumentação, manutenção e térmica) para este problema, levou à decisão de se fazer uma inversão na distribuição de potência do forno, com vistas a ganhar maior eficiência no aquecimento da tira de aço, melhorando a troca de calor entre os fumos e a mesma, que se movimenta no forno em contra corrente com o fluxo de fumos aquecidos. Desta forma, possibilita uma maior permanência da tira de aço em contato com os fumos mais aquecidos, consequentemente aliviando o sistema de exaustão que receberia um volume de fumos menor numa temperatura mais baixa.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 – Alterações realizadas no equipamento

As alterações nos equipamentos iniciaram-se em outubro de 2001 com o aumento dos diâmetros dos furos das placas de orifício da rede de gás combustível das zonas 6, 7 e 8, conforme pode ser visto na tabela 3, e substituição das válvulas de gás

combustível destas mesmas zonas. Com estes aumentos de vazões foi possível aumentar as potências térmicas destas zonas conforme mostrado na tabela 4. Estes valores representam 19,3%, 12,7% e 13,1% respectivamente, de aumento na potência destas zonas. Foram também substituídas as válvulas do ar de combustão das zonas 6, 7 e 8 conforme pode ser visto na tabela 5.

Tabela 3 – Alterações realizadas no projeto para melhorar a vazão de gás combustível

Zonas	Vazão Gás (Nm ³ /h)		Diâmetro (mm)			
			Válvulas		Placas Orifício	
	Anterior	Atual	Anterior	Atual	Anterior	Atual
6	370,0	521,0	100,0	100,0	16,0	24,0
7	320,0	384,0	80,0	100,0	14,0	20,0
8	180,0	228,0	50,0	80,0	11,0	20,0

Tabela 4 – Potencial térmico das zonas 6, 7 e 8 após as alterações considerando o PCI da mistura de 2500 Kcal/Nm³

Zonas	Anterior (Kcal/h)	Atual (Kcal/h)
6	1.092.000	1.302.500
7	852.000	960.000
8	504.000	570.000

Tabela 5 – Alterações realizadas no projeto para melhorar a vazão de ar de combustão

Zonas	Vazão de Ar (Nm ³ /h)		Diâmetro das Válvulas(mm)	
	Anterior	Atual	Anterior	Atual
6	2050,0	2558,0	150,0	200,0
7	1795,0	1994,0	150,0	200,0
8	905,0	1180,0	100,0	150,0

No futuro, para se obter maiores ganhos de potência térmica nestes fornos será necessário um estudo mais profundo e detalhado da malha de distribuição de gás e de ar de combustão.

As pressões de GAF, GLP, gás combustível e ar de combustão tiveram que ser ajustadas conforme a tabela 6 para melhor atender os novos ajustes dos fornos na inversão da curva de aquecimento.

Tabela 6 – Alterações realizadas nas pressões para melhorar o desempenho dos fornos

Parâmetros	Curva Anterior (mmCA)	Curva Atual (mmCA)
GLP	2.430,0	2.650,0
GAF	2.250,0	2.450,0
Gás combustível	2.180,0	2.320,0
AR	1.100,0	1.150,0
Forno 1	1,2	0,5

2.2 – Alterações no processo de tratamento térmico dos aços 304

Durante as alterações no projeto do equipamento foram abertos controles de experiências que permitiram alterações gradativas na curva de tratamento térmico dos aços 304, visando uma inversão no sentido de aquecimento das tiras de aço dentro dos fornos. Conforme se pode verificar na tabela 7, anteriormente as temperaturas mais altas estavam nas primeiras zonas do forno. Com este tipo de curva de aquecimento, que chamamos de curva de aquecimento decrescente, o sistema de exaustão dos fumos de combustão e o recuperador de calor, que estão localizados na região da zona de pré-aquecimento, estavam ficando sobrecarregados, em termos de ter que trabalhar com a retirada de fumos em altas temperaturas, em torno de 1100°C e altos volumes. Como consequência, o exaustor foi trocado por quebra por duas vezes entre os anos de 1999 a 2000. O recuperador não apresentou quebra, porém funcionou sob acompanhamento de monitoração constante.

Tabela 7 – Alterações realizadas nas temperaturas das zonas do forno e nas velocidades de processo para os aços austeníticos

Situação	Esp. (mm)	Veloc. (m/min)	Temperaturas por Zonas (°C)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anterior	1,00	45,0	1170	1170	1160	1140	1130	1120	1120	1120	1120
Atual	1,00	53,0	Desl	1110	1130	1150	1160	1170	1180	1190	1200

Na tabela 7 podemos observar também a nova curva de tratamento térmico dos aços 304, que está sendo praticada atualmente, onde a primeira zona é desligada e as temperaturas vão crescendo gradativamente até a última zona. Pode-se observar nesta mesma tabela o aumento da velocidade de processo da curva atual para a curva anterior.

A figura 2 mostra o perfil das duas curvas. A que chamamos de decrescente conforme as condições originais do projeto, e a curva crescente que está sendo utilizada atualmente. A segunda curva tem a tendência contrária a da primeira porque proporciona maior alívio para o sistema de exaustão de fumos. Como consequência aumentou a sua vida útil, não sendo registrada nenhuma intervenção da manutenção para fazer reparos ou trocas de peças danificadas.

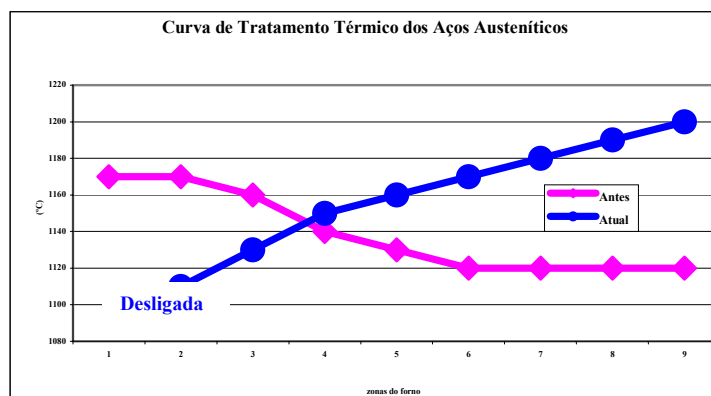


Figura 2 – Curvas de tratamento térmico dos aços austeníticos na condição anterior e na condição atual para a espessura de 1,00mm

A partir de junho/2002, 100% dos aços austeníticos estão sendo produzidos na RB4 com a nova curva.

3. RESULTADOS ALCANÇADOS

3.1 – Desempenho do exaustor

A tabela 8 mostra os valores de temperatura e percentual de rotação aos quais o sistema de exaustão estava submetido antes da inversão da curva de tratamento térmico e após a inversão da curva. Antes da inversão da curva a rotação era limitada a 80%. Nas condições atuais o sistema trabalha aliviado, aumentando conseqüentemente a vida útil dos componentes. Por exemplo, a primeira troca do exaustor ocorreu em 03/09/1999 por destruição do rotor devido ter trabalhado numa temperatura acima de 450°C. A segunda troca ocorreu em 17/02/2000 pelo mesmo motivo anterior. Em 01/09/2000 foi retirado para balanceamento devido a excesso de vibrações com risco de quebra, e em 01/04/2002 foi feita a terceira troca. O custo só de peças das três trocas foi de R\$ 39.160,00, sem considerar os tempos de paradas da linha que é de 34 horas para cada uma das trocas.

Tabela 8 – Resultados do comportamento do exaustor de fumos após a inversão da curva de tratamento térmico dos aços austeníticos

Descrição	Anterior	Atual
Temperatura (°C)	430 a 460	350 a 390
Rotação (%)	80 (limite)	25 a 70

As restrições de temperatura e rotação no sistema de exaustão deste equipamento eram limitadores para o aumento de produtividade dos aços austeníticos.

3.2 – Aumento da produtividade e produção

O alívio do sistema de exaustão, com a inversão da curva de tratamento térmico e com as alterações feitas nos sistemas de ar de combustão e de combustível, tornou possível aumentar a velocidade do processo, porque foi possível aumentar um pouco mais as temperaturas nas zonas de encharque, que estão entre as zonas 6 e 9. Com o aumento da velocidade, aumentou-se conseqüentemente a produtividade e a produção mensal, alcançando 15.571 toneladas no mês de agosto de 2003, ultrapassando assim o valor especificado pelo projeto inicial deste equipamento. Isto proporcionou uma redução de custo, já que foi feita a transferência de produção correspondente da linha contínua de recozimento de bobinas número 1 (RB1), para a RB4, cuja diferença de custo é de R\$ 34,95 por tonelada.

A tabela 9, mostra os valores de produtividade com a curva anterior e com a curva atual, e os ganhos percentuais de produtividade.

Tabela 9 - Produtividade dos aços austeníticos em função das espessuras na condição anterior e atual para largura de 1245 mm

Espessura (mm)	Velocidade (m/min)		Produtividade (t/hora)		
	Anterior	Atual	Anterior	Atual	Ganho (%)
0,45	60,00	67,00	15,83	17,68	11,67
0,70	58,00	67,00	23,81	27,50	15,52
1,10	41,00	48,00	26,45	30,96	17,07
1,65	28,00	33,00	27,09	31,93	17,86

A figura 3 mostra a evolução da produção da RB4, destacando o aumento ocorrido a partir de Junho de 2002, quando foi implantada a curva invertida para 100% da produção dos aços austeníticos.

O aumento de produção médio mensal em 2002 comparado com 2001 foi de 2.080 t, e em 2003 também comparado com 2001, foi de 2.457 t.

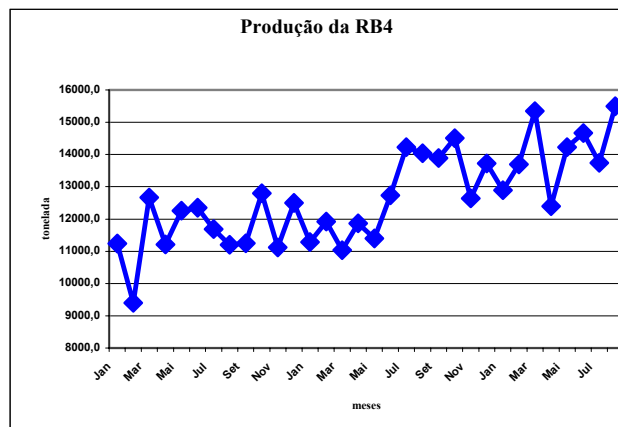


Figura 3 – Evolução da produção da RB4 no período 2001 a 2003.

3.3 – Redução de gastos com insumos

As tabelas 10 e 11 mostram a comparação entre o consumo específico dos principais insumos usados na RB4. Por exemplo, o período de janeiro a dezembro de 2001 é o de referência antes das mudanças no equipamento e do processo da curva térmica invertida. O período de junho a dezembro de 2002 é o primeiro período de resultados, e o período de janeiro a agosto de 2003 é o segundo período de resultados.

Nos processos de decapagem e nas concentrações dos banhos químicos não houve nenhuma alteração. Lembrando que foi a partir de Junho/2002 que se passou a trabalhar com 100 % da produção dos aços austeníticos, com a nova curva.

Tabela 10 – Ganhos com redução do consumo específico por insumos em 2002

Descrição	2001(Jan-Dez)	2002(Jun-Dez)	Diferença	Preço (R\$)	Ganhos (R\$)
HNO ₃ (Kg/t)	5,99	5,38	0,62	0,65	38.522,36
HF (Kg/t)	3,28	3,21	0,07	3,59	14.101,59
GAF (Nm ³ /t)	123,11	110,80	12,31	0,02	23.579,44
GLP (Kg/t)	28,34	27,20	1,14	1,16	73.696,96
Total					149.900,36

Tabela 11 – Ganhos com redução do consumo específico por insumos em 2003

Descrição	2001(Jan-Dez)	2003(Jan-Ago)	Diferença	Preço (R\$)	Ganhos (R\$)
HNO ₃ (Kg/t)	5,99	5,16	0,84	0,65	61.331,15
HF (Kg/t)	3,28	2,65	0,63	3,59	163.856,29
GAF (Nm ³ /t)	123,11	105,72	17,39	0,02	39.110,00
GLP (Kg/t)	28,34	27,34	1,01	1,16	79.922,96
Total					344.220,39

3.4 – Resultados de qualidade e propriedades mecânicas

A figuras 4 e 5 mostram as curvas dos resultados de dureza e alongamento respectivamente, dos aços 304 para o ano de 2001 até agosto de 2003. Uma ligeira elevação dos valores de dureza nos últimos meses está mais relacionada com oscilações de composição química.

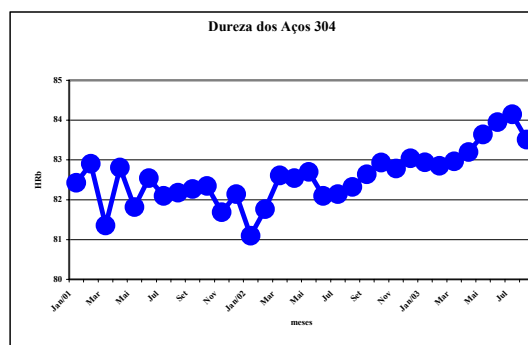


Figura 4 – Dureza dos aços 304 no período de janeiro de 2001 a agosto de 2003.

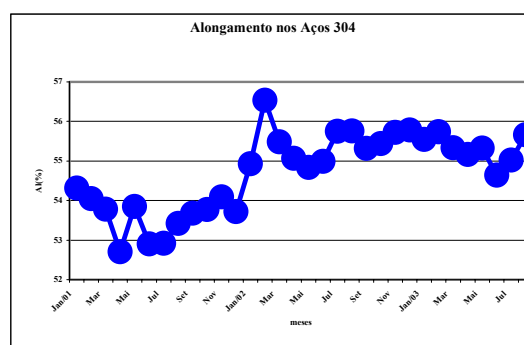


Figura 5 – Alongamento dos aços 304 no período de janeiro de 2001 a agosto de 2003.

A figura 6 mostra a curva dos resultados do limite de escoamento dos aços 304 para o ano de 2001 até agosto de 2003. Há uma ligeira tendência de aumento, semelhante ao que ocorreu com a dureza e as causas são as mesmas que provocaram o aumento da dureza.

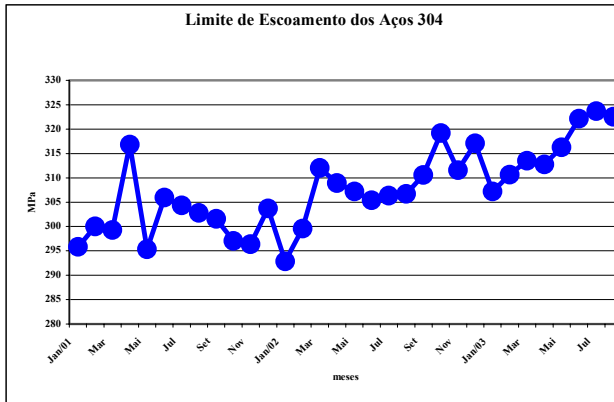


Figura 6 – Limite de escoamento dos aços 304 do período de janeiro de 2001 a agosto de 2003

Durante o desenvolvimento dos testes para aumentar a produção, houve um distúrbio no processo que levou a uma perda da qualidade, conforme pode-se observar na curva da Figura 7. Os resultados sofreram as seguintes interferências:

- a) ajustes no processo de recozimento, para bobinas originadas de bobinas laminadas a quente sem recozimento inicial, que provocou o aumento dos casos de oxidação, até se conseguir o ajuste adequado para este produto.
- b) operação dos fornos com mistura de gás do alto forno 1 com gás do alto forno 2.
- c) adequação do novo fluxo de processo da Aciaria, e a entrada da bobina pesada na Laminação a Quente.
- d) distúrbios no Alto Forno 2 e conseqüentemente no suprimento de GAF.

De janeiro a agosto de 2003 houve uma estabilização no PCI dos gases, principalmente no gás do alto forno 2, além dos ajustes finos de todo o sistema de controle necessário para assegurar a implantação da nova curva de tratamento térmico, ou seja, controle de instrumentação e térmica dos fornos, o que leva a uma maior confiabilidade operacional.

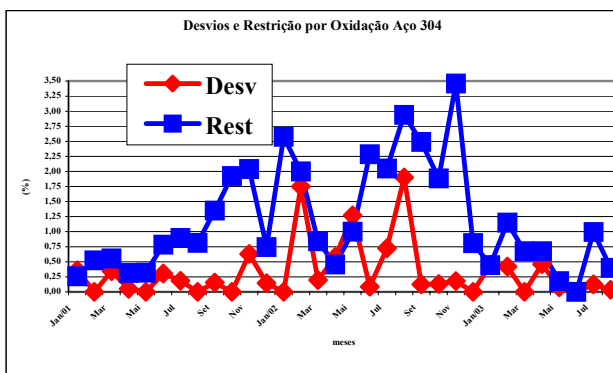


Figura 7 – Desvios e restrições de qualidade por oxidação no período de janeiro de 2001 a agosto de 2003

3.5 – Totalização dos resultados

A tabela 12 mostra um resumo dos ganhos em Reais.

Tabela 12 – Ganhos com redução do consumo de insumos e com a transferência de materiais da RB1 para RB4 em 2002 e 2003

Descrição	2002 (Jun a Dez)	2003 (Jan a Ago)	Total
HNO ₃	38.522,36	61.331,15	99.853,51
HF	14.101,59	163.856,29	177.957,88
GAF	23.579,44	39.110,00	62.689,45
GLP	73.696,96	79.922,96	153.619,91
Transferência RB1/RB4	508.933,37	687.034,08	1.195.967,45
Total	658.833,73	1.031.254,47	1.690.088,20

3.6 – Ganhos futuros estimados

A estimativa de ganho anual com base nos resultados obtidos em 2003 é de R\$ 1.546.881,60.

4. CONCLUSÕES

A implantação da nova curva permitiu atingir a capacidade de produção especificada para a linha, que é de 15.000 t/mês.

Com a redução da temperatura e volume dos gases produtos de combustão, conseguiu-se um bom desempenho do sistema de exaustão, eliminando as manutenções de recuperação do mesmo.

O aumento de 16% na produtividade permitiu uma redução de gastos com insumos, num total de R\$ 494.120,75 no período de junho de 2002 a agosto de 2003.

O aumento da capacidade de produção da RB4 permitiu uma economia de R\$ 1.195.967,45 com a transferência para a mesma de materiais que seriam processados na RB1, cujo custo do processo é maior.

Com relação às propriedades mecânicas e qualidade superficial, podemos considerar que de um modo geral não houve alterações significativas, mantendo os resultados dentro do padrão.

ABSTRACT

A rearrangement on the thermal power distribution of furnaces's zones was done in order to reach the specified production capacity of the number 4 Continuous Annealing and Pickling Line at Acesita's Stainless Steel Cold Rolling Plant, with the guarantee of a good performance for the exhaust system. Field trials, including equipment and process changes were done, preserving the surface quality and mechanical properties of the products. The new profile for thermal power distribution allowed increasing in 16% the line productivity, overcoming the specified production capacity, and also a cost reduction of up to R\$ 1,5 million per year.

Key words: annealing, thermal, stainless steel