

# INVERSOR DE FREQUÊNCIA NO SISTEMA DE EXAUSTÃO DOS VENTILADORES DO MRPL DA APERAM SOUTH AMERICA – PLANTA DE TIMÓTEO\*

César Augusto Cruz<sup>1</sup>  
Edilson Simões Cavalieri<sup>2</sup>  
Hélio Antonio da Silva<sup>3</sup>  
Hélio Braz Loss<sup>4</sup>  
Leonardo de Andrade Ribeiro<sup>5</sup>  
Luciano Lellis Miranda<sup>6</sup>  
Marcelo Seixas Vieira<sup>7</sup>

## Resumo

Este trabalho demonstra o ganho potencial de energia elétrica que é conseguido alterando a velocidade dos motores elétricos do sistema de desempoeiramento através da utilização de inversores de frequência. A proposta prevê a alteração da velocidade, desenvolvendo uma nova forma de se controlar a vazão não mais por variação de posição de dampers mas por variação de velocidade dos ventiladores considerando as fases do processo. As seguintes fases são consideradas no processo: carregamento, sopro, amostragem, redução, vazamento, slag splashing, tempo entre carregamento e sopro e ociosidade. Sendo o ganho expressivo nos momentos de ociosidade do conversor MRP-L. Com a proposta de redução de 65% da energia consumida o projeto se torna viável devido a um pay-back menor que 2,5 anos. Este projeto foi implantando no final de março de 2017 e o ganho na redução do consumo de energia elétrica está na ordem de 55%.

**Palavras-chave:** Sistema desempoeiramento MRP-L, Economia Energia.

## FREQUENCY INVERTER IN APERAM SOUTH AMERICA MRPL FANS EXHAUST SYSTEM - TIMÓTEO PLANT

### Abstract

This work demonstrates the potential save of electric energy that is achieved by changing the speed of the electric motors of the dedusting system through the use of frequency inverters. The proposal foresees the change of speed, developing a new way of controlling the flow no longer by variation of position of dampers but by variation of speed of the fans considering the steps of the process. The following steps are considered in the process: charging, oxigen blowing, sampling, reduction, tapping, slag splashing, time between charging and blowing and idleness. The expressive gain is on the idle moments of the MRP-L converter. With the proposed reduction of 65% of energy consumed the project becomes viable due to a payback of less than 2.5 years. This project was implemented at the end of March 2017 and the save in the reduction of the consumption of electric energy is in the order of 55%.

**Keywords:** MRP-L Dedusting System, Energy Saving.

<sup>1</sup> Engenheiro elétrico, Consultor, Engenheiro eletricitista, Gerenciamento de projetos, C&S Prestação de Serviços, Timóteo, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Contador, Bacharel, Analista técnico, Controle de processo de aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.

- <sup>3</sup> *Engenheiro elétrico, pós-graduado, Engenheiro elétrico, Engenharia de implantação de projetos, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Engenheiro mecânico, Mestre em engenharia metalúrgica, Gerente, Controle de processo da aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- <sup>5</sup> *Engenheiro eletricitista, pós-graduado, Analista de automação, Gerência de automação e infraestrutura, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- <sup>6</sup> *Engenheiro metalúrgico, Mestre, Assistente técnico, Departametro de excelência operacional, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*
- <sup>7</sup> *Engenheiro elétrico, Bacharel, Engenheiro de manutenção elétrica, Manutenção de aciaria, Aperam South America, Timóteo, MG, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas grandes Siderúrgicas é cada vez mais comum a utilização de sistemas captadores de poluentes, principalmente na aciaria onde acontece a transformação do gusa em aço.

O sistema de desempoeiramento, nome dado ao equipamento responsável pela exaustão dos gases poluentes, é responsável pela coleta e purificação do ar contaminado pelas partículas suspensas geradas durante o processo de transformação do aço. Neste sistema se faz necessária a utilização de equipamentos como ventiladores para fornecer energia potencial ao gás gerado no processo.

Para o acionamento dos ventiladores, normalmente são utilizados motores de indução trifásicos, onde durante muito tempo os métodos de partida mais utilizados eram: partida direta, partida estrela - triângulo e partida com chave compensadora. Porém esses métodos de partida e o automatismo utilizado apresentam grandes desperdícios de energia elétrica, além de causar danos às partes mecânicas do conjunto.

Com a finalidade de demonstrar a redução no consumo de energia elétrica substituindo o acionamento direto dos motores via disjuntores por outro onde se possa controlar a velocidade dos motores, é analisado o funcionamento dos ventiladores de acordo com o processo produtivo em função das variáveis envolvidas: pressão, vazão, potência, velocidade, ponto de operação, curva do sistema versus curva do ventilador, permitindo quantificar os valores, em kW e em kWh que não serão mais gastos com o novo automatismo.

O objetivo do trabalho é estudar a dinâmica dos ventiladores acionados pelos motores elétricos sem controle de velocidade, levantando o ponto de operação dos ventiladores a partir dos dados de vazão, potência, corrente elétrica e fases do processo. Aplicar as leis das afinidades e propor alteração na velocidade dos motores em função do processo. Validar os cálculos realizados, comparando os resultados antes e depois comprovando a economia de energia em função da variação de velocidade dos motores elétricos.

O Sistema de desempoeiramento tem como função retirar todas as partículas em suspensão que são emitidas no processo de fusão dos diversos tipos de aço no convertidor MRP-L. Essas partículas são retiradas no filtro de manga para que não sejam emitidas para atmosfera. Desta forma é cumprida a determinação ambiental, vigente, para a emissão de partículas no processo siderúrgico (VIEIRA, 2009).

A figura 3.1 apresenta o forno convertidor MRP-L, na qual é possível ver alguns dos componentes que compõem o equipamento.

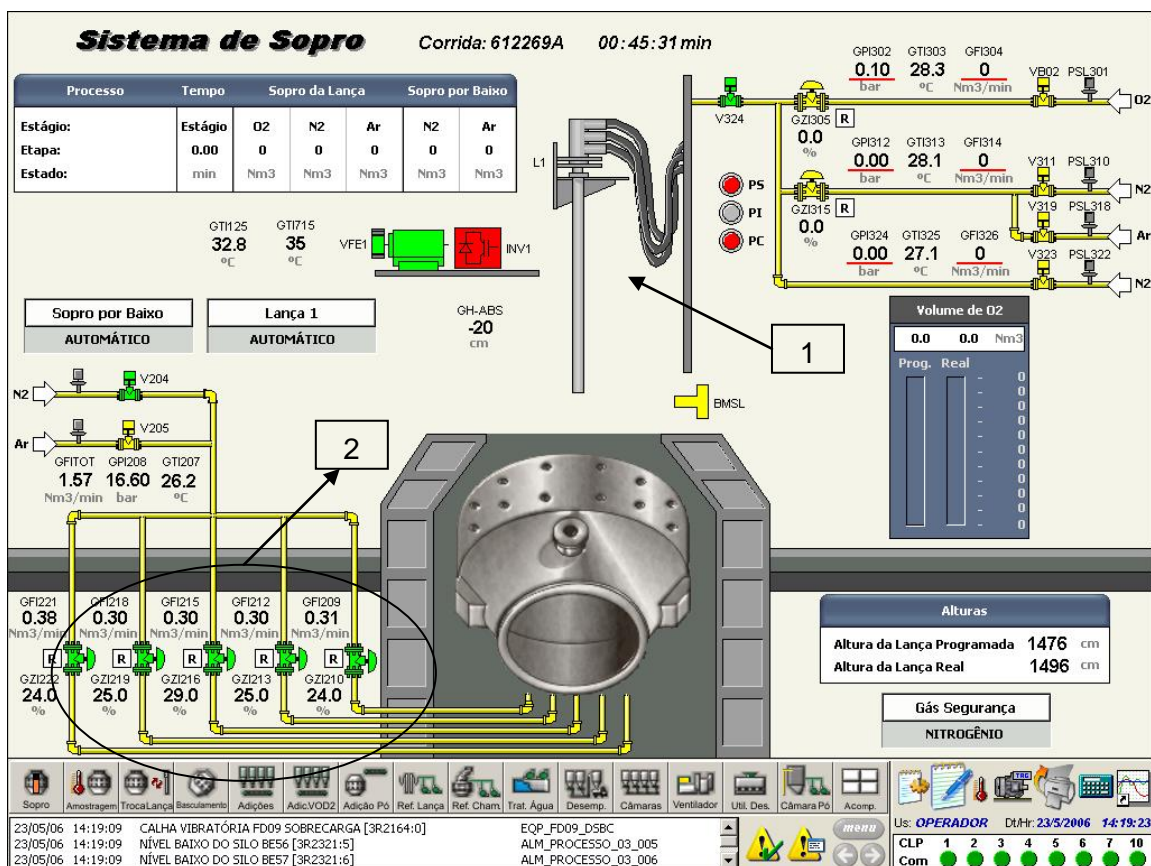


Figura 3.1 – Convertedor 80 t para fabricação do aço

Fonte: (WILLIAN, 2010)

A figura 3.1 representa os seguintes componentes:

### 1 – Lança de Sopros (Oxigênio)

A lança de oxigênio é formada por um tubo externo e dois tubos internos, fazendo com que uma parte seja para passagem de oxigênio e gás inerte e por outra parte a

água de refrigeração. A lança possui três furos dispostos em ângulos, para injeção destes gases.

O acionamento da lança é feito por um motor controlado por inversor de frequência, que garante o controle da velocidade. O motor foi projetado de acordo com o torque requerido da carga, durante a operação normal a lança é freada eletricamente.

Os equipamentos do Subsistema Lança são comandados da sala de controle do Conversor via supervisor.

## 2 – Sopros pelo fundo (plugues)

O sopro pelo fundo tem a função de garantir a agitação do banho metálico durante a fase de sopro, resopro. O sistema é composto de 5 plugues tendo seu próprio controle de vazão, pressão, controle de abertura, etc.. Não é possível executar um sopro sem que exista vazão de gás pelo plug.

A abertura / fechamento das válvulas de alimentação dos gases (Nitrogênio ou Argônio) e das cinco válvulas de controle são feitos através do Sistema Supervisor. O controle da vazão dos gases é feito pelo PLC a partir das válvulas de controle (LANA, 2001).

Os motores de indução trifásico modelo GEVISA, potência nominal de 1400 kW, tensão nominal 2,4kV e corrente nominal de 416A do sistema de despoejamento são supervisionados por sistemas de partida sem controle de potência. O tipo de partida é direto através de disjuntores. Há correntes de partida da ordem de 5 a 6 vezes a corrente nominal, trazendo desta forma dificuldades para a partida desses motores com todo o processo produtivo em funcionamento. Há redução de funcionamento do processo industrial para que a partida possa acontecer sem problemas para o sistema elétrico.

O controle para fluxo necessário de retirada de particulados é realizado através de conjunto de dampers, que são variadores mecânicos para ajustes ao processo produtivo. Há grandes limitações para redução das potências dos mesmos em períodos de baixa utilização do sistema de exaustão. Toda a adequação do fluxo de

ar é controlada através dos dumpers existentes (VIEIRA, 2009). A figura 3.2 apresenta um esquemático do sistema de desempoeiramento.

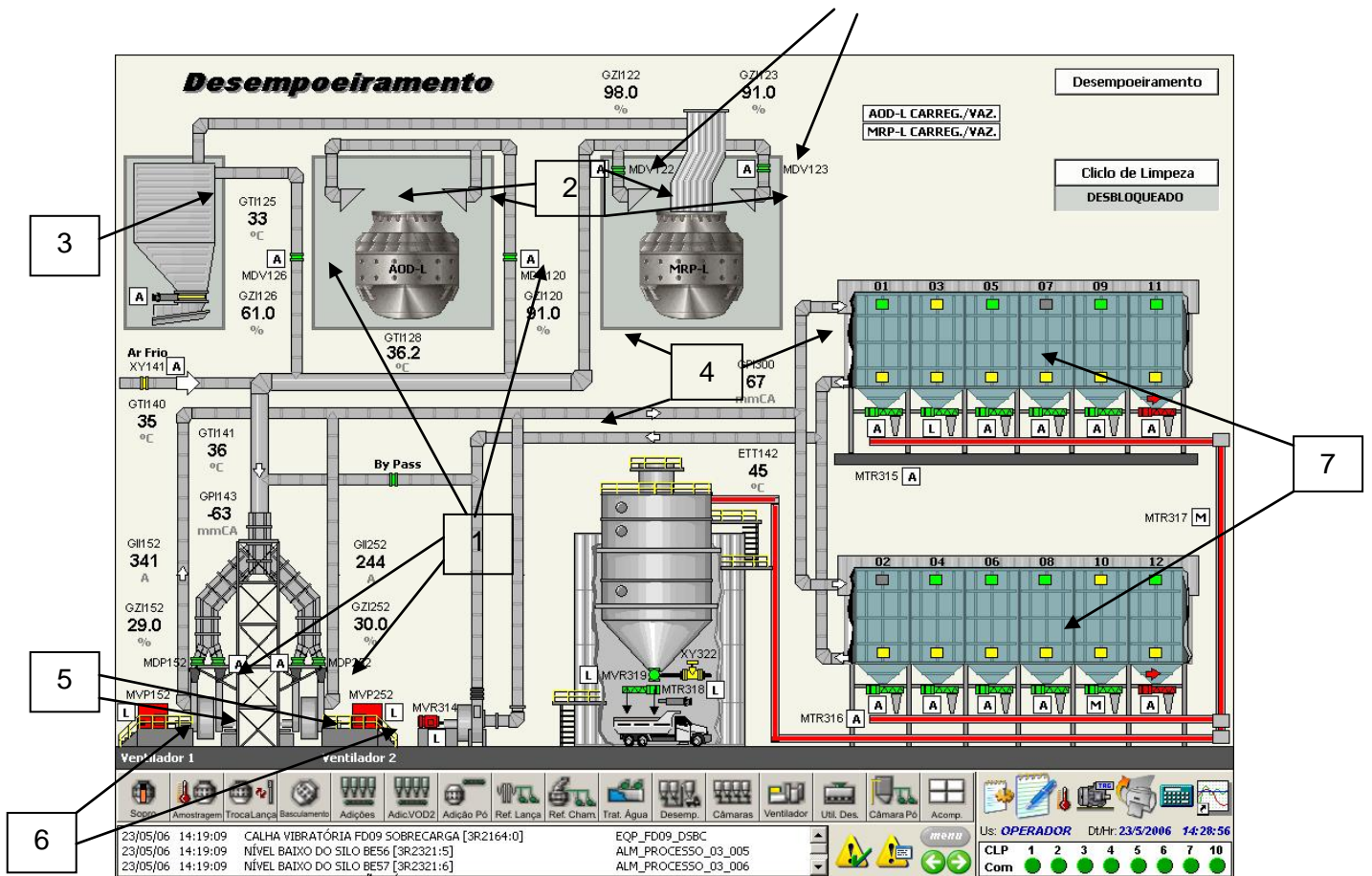


Figura 3.2 - Desenho esquemático do desempoeiramento

Fonte: (WILLIAN, 2010)

Na figura 3.2 pode se destacar os principais componentes do sistema de despoeiramento:

### 1 – Dampers:

Damper é um variador mecânico que dependendo do seu posicionamento restringe a passagem do ar pelo duto. Os dampers da figura 3.2 são dos tipos motorizados (CONFAB, 1996).

### 2 – Coifas de Carregamento:

São coifas que visam a captura não somente dos gases oriundos das operações de carregamento dos convertedores, mas também das operações de vazamento e sopro (CONFAB, 1996).

### 3 – Câmara de Pré – Coleta:

Esta câmara é do tipo resfriada a água, dotada de entrada de gases na sua parte superior, chapa defletora interna e saída na lateral. Sendo dotada de boca na sua parte inferior para retirada dos pós acumulados em seu interior, via válvula do tipo faca acionada por cilindro pneumático (CONFAB, 1996).

### 4 – Sistema de Dutos Secundários e Combinados:

Estes dutos são do tipo resfriado a ar e são conectados uns aos outros por meio de soldas e/ou flanges aparafusados. São responsáveis pelo direcionamento e condução do ar succionado pelos ventiladores até o filtro de mangas (CONFAB, 1996).

### 5 – Exaustores ou Ventiladores:

Responsáveis pela exaustão dos gases e particulados (poeiras) oriundos do processo.

### 6 – Motores de indução trifásicos:

São 2 motores de indução trifásicos, com acionamento independente conectado no seu eixo um exaustor ou ventilador do tipo centrífugo.

### 7 – Filtro de mangas:

O filtro de mangas é o nome comum dado a diferentes tipos de coletores industriais, onde um tecido filtrante é usado para separar o pó contido em gases ou ar. Seu funcionamento é semelhante a um aspirador de pó (CONFAB, 1996).

A produção do aço através do forno convertedor tem as seguintes etapas de processo:

#### 1 - Início de corrida:

Para iniciar o processo de transformação do gusa em aço no convertedor, o operador do forno inicia a corrida através do comando “ início de corrida” disponível no supervisor.

## 2 - Início de carregamento:

Nesta fase o vaso do convertedor é posicionado com a sua abertura (boca) para a posição de carregamento, onde uma ponte rolante transporta uma canoa para carregamento de sucata e outra ponte rolante transporta uma panela de carregamento de gusa líquido e carrega o forno com uma carga total que varia de 75 a 95 toneladas.

## 3 - Fim de carregamento:

Ao final do carregamento do convertedor é dado o comando no supervisório de fim de carregamento, indicando que o forno está carregado e pronto para iniciar o processo de sopro.

## 4 - Início de Sopro:

Nesta fase ao ser confirmado no supervisório o comando “início de sopro” é injetado oxigênio no gusa líquido através de uma lança de 3 furos que se posiciona dentro do forno a uma altura entre o bico da lança e a superfície do metal líquido calculada por modelo matemático/termodinâmico de acordo com o tipo de aço que esta sendo fabricado. O objetivo no final de sopro é alcançar uma temperatura e análise química do metal (principalmente o teor de fósforo e carbono) em função do tipo de aço a ser produzido e da rota de produção após o convertedor. Para isso a vazão sopro de oxigênio pode chegar a até 160 Nm<sup>3</sup>/minuto.

## 5 – Amostragem:

É retirada uma amostra de temperatura e de metal para análise da composição química nesta fase com o auxílio de uma lança automática. Nesse tempo o forno fica aguardando o resultado da análise química que dura cerca de 10 minutos.

## 6 – Ressonamento:

Caso o resultado da análise química ou temperatura do metal no fim de sopro ainda não estejam nos valores adequados, é realizado um sopro de oxigênio de curta duração.



7 – Redução (Somente nos aços inoxidáveis):

Durante o sopro de oxigênio nos aços inoxidáveis há bastante oxidação de cromo. Para recuperar este cromo oxidado, é adicionado ferro silício no processo e realizado uma agitação intensa no banho com a vazão máxima de gás inerte pelos 5 plugues por um tempo que varia de 7 a 15 minutos.

8 – Início de vazamento:

Fase que permite o início e retirada do aço do forno convertedor para a panela de aço através de um furo de corrida.

9 - Fim de vazamento:

Fase que finaliza o processo de retirada do aço do convertedor. Neste momento, toda a escória gerada no processo é retida dentro de convertedor.

10 - Fim de corrida:

O fim de corrida ocorre automaticamente com o fim de vazamento.

11 – Slag Splashing:

O revestimento do forno é constituído principalmente de óxido de magnésio. Nesta fase, a escória retida no forno no fim vazamento é enriquecida com óxido de magnésio e é realizado um sopro com nitrogênio pela lança durante 3 minutos, projetado esta escória enriquecida na parede refratária do forno, evitando assim que o revestimento se desgaste na próxima corrida. Logo após a escória é retirada do vaso que já está pronto para o próximo carregamento.

A figura 3.3 ilustra de maneira sintética as etapas do processo de fabricação dos aços silícios e carbono:

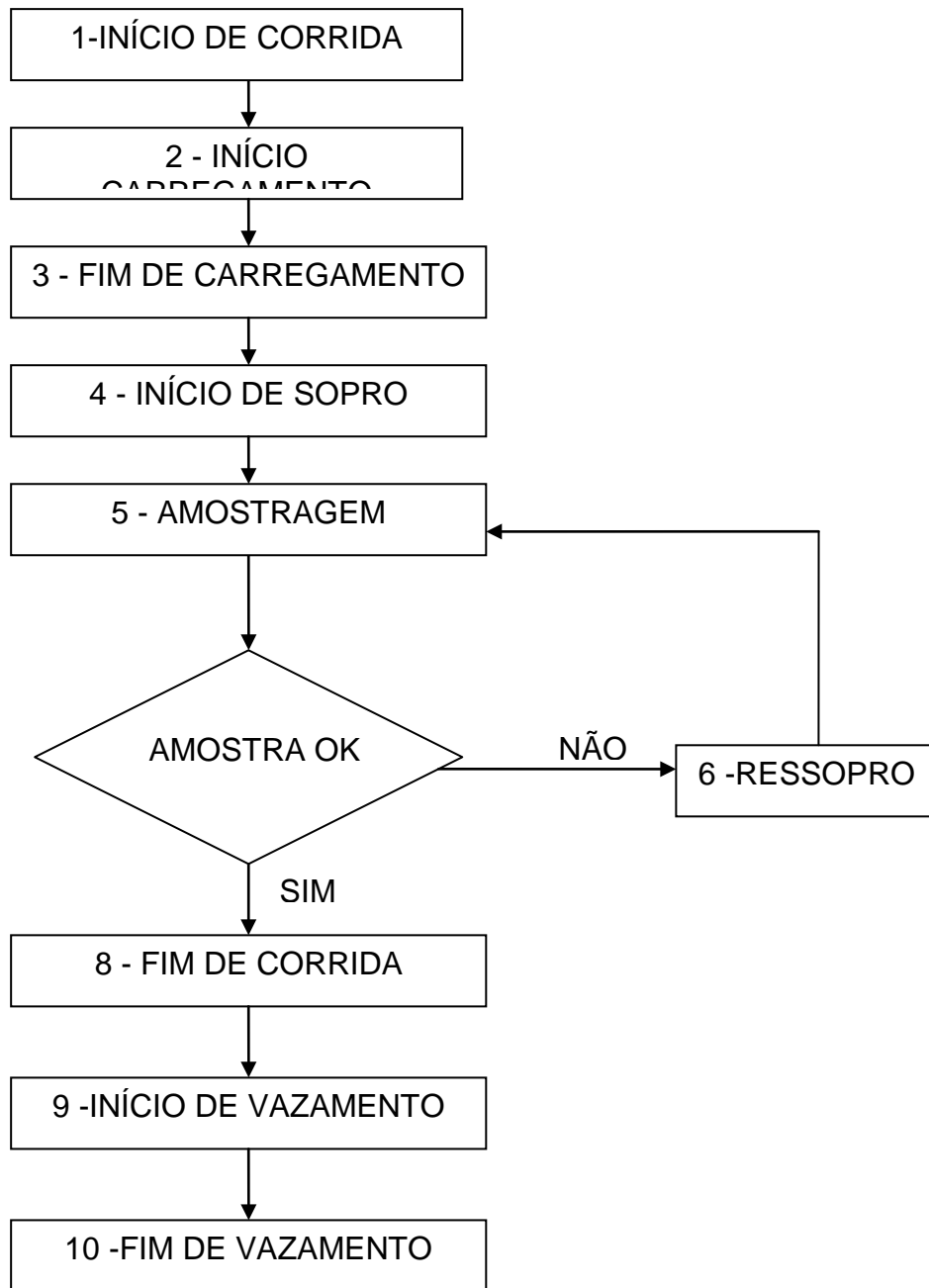


Figura 3.3- Fluxograma esquemático do fluxo produtivo de aços silíciosos

Fonte: (LANA, 2002).

A figura 3.3 ilustra de maneira sintética as etapas do processo de fabricação dos aços inoxidáveis:

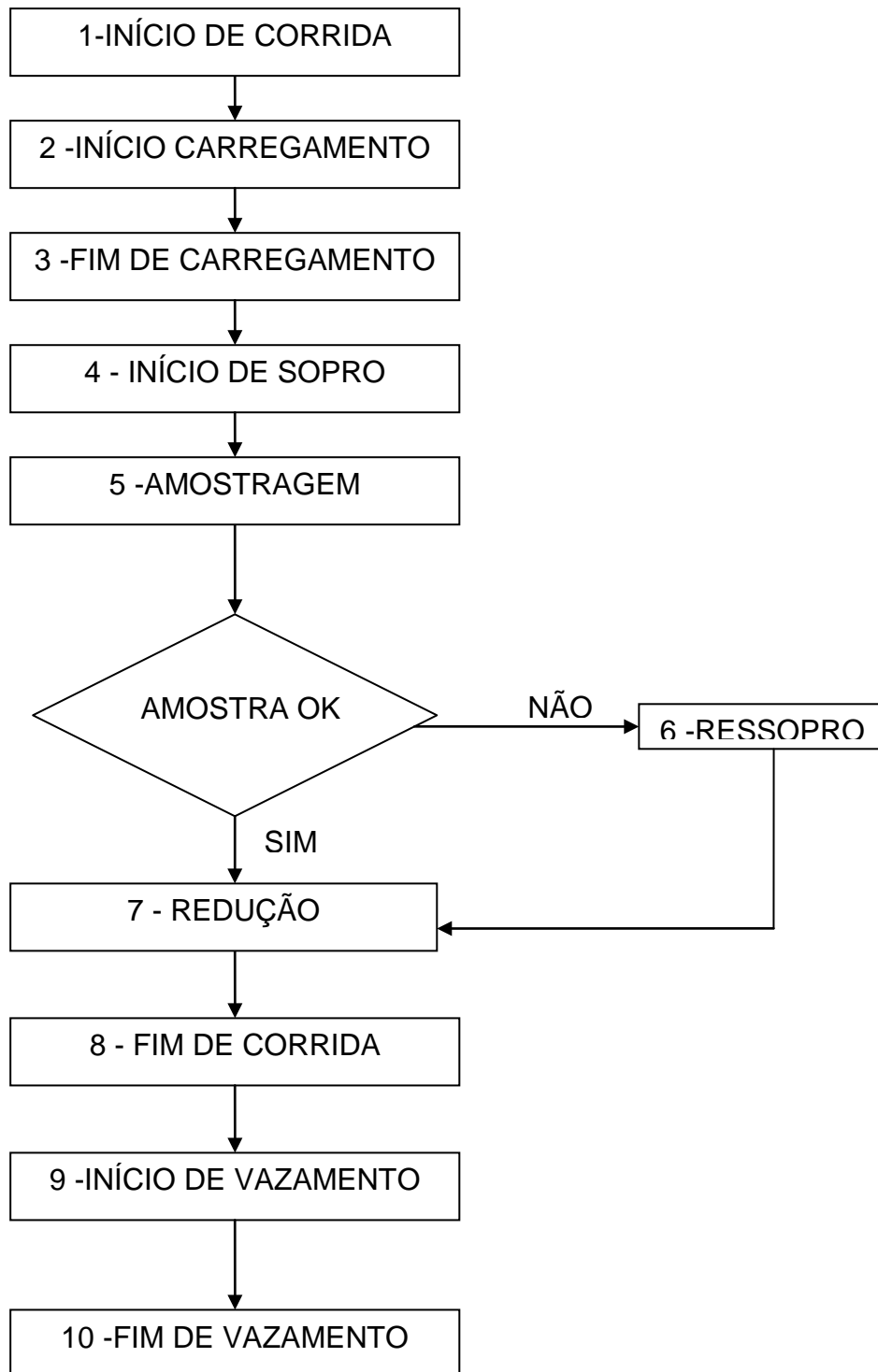


Figura 3.4 - Fluxograma esquemático do fluxo produtivo de aços inoxidáveis

Fonte: (LANA, 2002)

O Filtro de mangas do sistema de desempoeiramento tem as características técnicas apresentadas na tabela 3.2.

## 2 DESENVOLVIMENTO

As medições de vazão foram compreendidas entre o horário de 15:30 a 16:29, as fases do processo (item 1) levantadas no PIMS, bem como o horário (item 2) extrapolaram o limite dos horários estabelecidos no relatório de medição. Portanto, na tabela 4.1 os itens 5 e 6 que estão destacados em “amarelo” foram valores obtidos pela comparação da corrente elétrica com as fases em que houve efetivamente a medição de vazão. Já a célula que está destacada em “azul” o valor da vazão foi estimado em função do valor medido da corrente elétrica.

1 - Fases do processo	Carregamento	Sopro	Amostragem	Ressopro	Vazamento	Splashing	Tempo entre Car./ Sopro	Ociosidade
2 - Horário (03/05/12)	15:22	15:43	15:57	16:00	16:29	15:06	16:49	15:10
3 - Corrente (A) medida (PIM's) 1 ventilador	361	330	342	343	350	342	350	350
4 - Potência (kW) damper calculada 1 ventilador	1.199	1.096	1.135	1.139	1.162	1.135	1.162	1.162
5 - Vazão medida 2 ventiladores (Nm <sup>3</sup> /h)	900.000	782.422	885.288	727.296	610.035	885.288	610.035	610.035
6 - Vazão para 1 ventilador (Nm <sup>3</sup> /h)	450.000	391.211	442.644	363.648	305.017	442.644	305.017	305.017

Tabela – 4.1

Fases do Processo	Tempo médio (min)	BASE ANUAL 2007		
		minutos	horas	*IDFUNC(%)
Carregamento	3	14.884	248	2,94
Sopro	25	134.056	2234	26,50
Amostragem	15	70.194	1170	13,87
Redução	-	-	-	-
Ressopro	2	11.197	187	2,21
Vazamento	10	53.233	887	10,52
Splashing	3	11.173	186	2,21
Tempo entre Carregamento / Sopro	2	11.197	187	2,21
Ociosidade	-	200.000	3333	39,53
Tempo total	-	505.934	8432	100

Tabela – 4.2

Para o desenvolvimento dos cálculos foi considerado o ano de 2007, ano em que o Convertedor MRP-L apresentou um índice de funcionamento de 60,47% superior a

todos os anos até a presente data (2017). As fases do processo foram divididas conforme mostrado na tabela 4.2.

- IDFUNC : Índice de funcionamento do equipamento extraído da base de dados SIP módulo MCT.

Fases do Processo	Vazão (Nm3)	DAMPER	
		Energia (1 Ventilador kWh)	Energia no ano (2 Ventiladores kWh)
Carregamento	450.000	1.199	594.921
Sopro	391.211	1.096	4.898.101
Amostragem	442.644	1.135	2.657.969
Redução	-	-	-
Ressopro	363.648	1.139	425.216
Vazamento	305.017	1.162	2.062.891
Splashing	442.644	1.135	423.091
Tempo entre Carregamento / Sopro	305.017	1.162	433.894
Ociosidade	305.017	1.162	7.750.400

TOTAL

\* 19.246.483

Tabela – 4.3

A tabela 4.3 mostra os valores de energia (kWh) para cada fase do processo calculado anualmente com a utilização de dampers (variadores mecânicos).

Fases do Processo	Vazão (Nm3) correspondente ao damper	Frequência ajustada (hz)	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	
			Energia (1 Ventilador kWh)	Energia no ano (2 Ventiladores kWh)
1 Carregamento	450.000	45	590	292.640
2 Sopro	391.211	40	414	1.849.752
3 Amostragem	442.644	45	590	1.380.600
4 Redução	-	-	-	-
5 Ressopro	363.648	40	414	154.836
6 Vazamento	305.017	35	277	491.398
7 Splashing	442.644	45	590	219.480
8 Tempo entre Carregamento / Sopro	305.017	35	277	103.598
9 Ociosidade	305.017	35	277	1.846.482

TOTAL

6.338.786

Tabela – 4.4

Conforme demonstra a tabela 4.5 foram ajustados os valores de velocidades dos motores para cada fase do processo de acordo com a vazão correspondente aos dampers. Confrontando os valores via acionamento damper conforme tabela 4.3 (19.246.483 kWh), contra os valores via acionamento velocidade variável conforme tabela 4.4 (6.352.828 kWh), estima-se que seja reduzida a demanda em 65% da energia consumida.

O projeto contemplou a alteração do sistema supervisório para a nova condição de funcionamento do desempoeiramento. Foi desenvolvida uma tela contendo duas tabelas conforme figura 4.5 de acesso aos parâmetros de velocidade e posicionamento de dampers no supervisório, sendo duas condições distintas de funcionamento:

- Os dois motores operando simultaneamente com controle de velocidade;
- Um motor operando com controle de velocidade e outro motor operando em partida direta.

Ref. Inversores

V. O2: 0 Nm3 Corrida 712164C  
 CO: 0.0 % Tempo Trat. 83 : 42 ms  
 O2: 19.8 % Estágio:

LC1 Ling.: 03 min Rest.: 00 min Ordem: 2  
 LC2 Ling.: 63 min Rest.: 04 min Ordem: 4  
 Etapa: Estágio:

2 INVERSORES FUNCIONANDO SIMULTANEAMENTE

	Ref. Veloc.		Damper AOD MDV120	Secundário		Primário MDV126	Entr. Vent. 1 MDP152	Entr. Vent. 2 MDP252
	Drive 1	Drive 2		MDV122	MDV123			
Carregamento	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Sopro	45 Hz	45 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Amostragem	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Redução	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Ressopro	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Vazamento	25 Hz	25 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Splashing	25 Hz	25 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Tempo entre carregamento	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %
Ociosidade	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	59 %	70 %	70 %

1 INVERSOR E 1 MOTOR FUNCIONANDO SIMULTANEAMENTE

	Ref. Veloc.		Damper AOD MDV120	Secundário		Primário MDV126	Entr. Vent. 1 MDP152	Entr. Vent. 2 MDP252
	Drive 1	Drive 2		MDV122	MDV123			
Carregamento	40 Hz	40 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Sopro	40 Hz	40 Hz	95 %	95 %	95 %	56 %	42 %	42 %
Amostragem	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Redução	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Ressopro	40 Hz	40 Hz	95 %	95 %	95 %	80 %	42 %	42 %
Vazamento	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Splashing	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Tempo entre carregamento	30 Hz	30 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %
Ociosidade	20 Hz	20 Hz	95 %	95 %	95 %	65 %	42 %	42 %

REFERÊNCIA EM CASO DE TEMPERATURA ALTA

Ref. Velocidade	49 Hz
Ref. Pos. Dumper	70 %

CONV 7/6/2017 03:57:40 FLUXO BAIXO OLEO LUBRIFICACAO BASC. R2321.8  
 DESEMP 7/6/2017 03:05:12 DEF. ABERTURA XY307B DUMPER REVERSAO R2324.14  
 06/07/2017 16:02:37 ROSCA TRANSPORTADORA CAMARA 6 PRONTO PARA PARTIR

Usuário: Visitante  
 04:00:20  
 7/6/2017

Figura 4.5 – Tela do Supervisório de Controle dos motores / dampers do despoeiramento

### 3 CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados, o projeto implantado confirma que a redução da vazão por meio da variação da velocidade proporciona ao conjunto motor de indução e ventilador uma redução de energia elétrica, quando comparada ao uso de válvula de estrangulamento (dampers).

- Consumo com damper : 13.221.878 kWh ( linha base fev.2017\* 2.270 kWh)
- Consumo com variação de velocidade: 5.880.590 kWh
- Redução de energia na ordem de: 7.335.791 kWh

Com um percentual de redução de energia elétrica de aproximadamente 55% e considerando que o valor objetivado foi de 65% de redução, o projeto alcançou um resultado acima do esperado.

### REFERÊNCIAS

- 1 VIEIRA, F.A. et al. **Relatório de Identificação de Oportunidade : Unidade Industrial – Timóteo – MG – Sistema despoeiramento** – FEA, Rio de Janeiro, BR-001/09, REV.1, p.1-41, jun./jul. 2009.
- 2 WILLIAN, A. Sistema supervisor do convertdor MRP-L – Citect , ARCELORMITTAL INOX BRASIL jan. 2010.
- 3 LANA, Anderson B. et al. **Manual de operação do MRP-L – Descritivo funcional do equipamento.** Timóteo, jul.2001.
- 4 LANA, Anderson B. et al. **Manual de operação do MRP-L – Utilização do modelo Carbono/Silício e telas do nível 2.** Timóteo, jul.2002.
- 5 CONFAB. **Manual de manutenção sistema de desempoeiramento dos convertedores MRP-L e LDII**, N.ºConfab: 77668 MH – COM – 00MM910, Rev.0, set./1996.
- 6 AQUA AMBIENTAL. **Monitoramento atmosférico N.º 3030-12/04-12 – S1 (R01 – Versão – 01)**, maio/2012.

