

NOVA ESTAÇÃO DE DESGASEIFICAÇÃO RH NA ARCELOR MITTAL TUBARÃO: INOVAÇÕES E RESULTADOS DE PERFORMANCE¹

*Bruno Rodrigues Henriques²
Reinaldo Moreira De Paoli³*

Resumo

O objetivo do trabalho é apresentar à comunidade da metalurgia secundária as características técnicas da nova estação de desgaseificação a vácuo RH2 construída na ArcelorMittal Tubarão como parte do plano de expansão de 7,5 milhões de toneladas por ano. Aborda aspectos de concepção do projeto, inovações e tecnologias aplicadas, bem como dados da partida e resultados de desempenho.

Palavras-chave: Desgaseificação a vácuo; RH.

NEW RH DEGASSING STATION AT ARCELOR MITTAL TUBARÃO: INNOVATIONS AND PERFORMANCE RESULTS

Abstract

The objective is to present to the secondary metallurgy community the technical aspects of the new vacuum degassing station RH2 built at ArcelorMittal Tubarão as part of the 7,5 million tons per year expansion plan. It approaches aspects of the project conception, innovations and applied technologies, as well as start-up data and performance results.

Key words: Vacuum degassing; RH.

¹ *Contribuição técnica ao XXXIX Seminário de Aciaria – Internacional, 12 a 16 de maio de 2008, Curitiba, PR, Brasil*

² *Especialista de Controle Técnico do Aço – ArcelorMittal Tubarão*

³ *Gerente de Tecnologia – Siemens VAI Metals Technologies*

1 INTRODUÇÃO

O plano de expansão da ArcelorMittal Tubarão, concluído em 2007, incluiu uma segunda estação de desgaseificação a vácuo com capacidade de produção anual de 3.000.000 de toneladas. O pacote de aquisição da planta incluiu um sistema de despoeiramento e uma estação de tratamento de água. Todos os equipamentos foram fornecidos pela Siemens Vai Metals, em modalidade *turn-key*. As obras se iniciaram no final de 2004 e o *start-up* ocorreu em Março de 2007.

As premissas básicas do projeto objetivaram a construção de uma planta de alta produtividade, com flexibilidade de produção, reduzido intervalo entre tratamentos, alto grau de automação, segurança operacional e acessibilidade, além das metas estabelecidas de qualidade do produto.

Para alcançar esses objetivos foi fundamental o trabalho conjunto dos especialistas das diversas áreas da ArcelorMittal Tubarão, desde a engenharia e manutenção até a operação, com a equipe de engenharia da Siemens Vai. Desta forma foram definidos em conjunto aspectos importantes como o layout, a concepção básica da planta, as características dos equipamentos, os detalhes de automação e, principalmente, os índices de *performance* a serem alcançados.

Esse trabalho pretende destacar os pontos relevantes das soluções adotadas no projeto e demonstrar o sucesso alcançado através dos principais índices de *performance*: capacidade de sucção, tempo de evacuação, taxa de penetração, remoção de hidrogênio, descarburização, aquecimento químico e precisão do sistema de nível 2 (modelo matemático).

As referências literárias utilizadas foram somente a documentação técnica contratual, os documentos de engenharia gerados durante a execução do projeto e os registros de implantação e comissionamento da planta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de execução dos testes foi pré-definida na especificação técnica contratual através das pré-condições específicas de cada performance a ser verificada.

A avaliação dos resultados do projeto consistiu simplesmente na comparação dos parâmetros estabelecidos na especificação técnica contratual, tomados como índices de avaliação do desempenho da unidade de desgaseificação, com os resultados efetivamente alcançados durante os testes de performance e na fase de produção da planta.

3 RESULTADOS

3.1 Capacidade de Sucção

Performances a serem obtidas: $\geq 1.000 \text{ kg/h @ } 0,67 \text{ mbar}$

$\geq 5.000 \text{ kg/h @ } 67 \text{ mbar}$

Pré-condições:

- Capacidade de sucção inclui as penetrações do sistema;
- Utilização de instrumentos com certificado de calibração;
- Medições de acordo com norma DIN 28430;

- Pressões e temperaturas das utilidades dentro dos parâmetros contratuais e em condições estáveis;
- Medições feitas com a válvula principal de vácuo fechada; e
- Máximo valor de penetração no sistema: 50 kg/h.

Os resultados estão expressos na Tabela 1:

Tabela 1. Capacidade de Sucção – Resultados – 26/02/2007.

Valor contratual	Penetração	Valor medido	Observações
1000 kg/h @ 0,67 mbar	40 kg/h	1040 kg/h @ 0,6 mbar	Aprovado
5000 kg/h @ 67 mbar	40 kg/h	5040 kg/h @ 67 mbar	Aprovado

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.

3.2 Tempo de Evacuação

Performance a ser obtida: vácuo \leq 1 mbar em tempo \leq 3 minutos

Pré-condições:

- Revestimento refratário do vaso deve estar completamente seco;
- Condições das linhas de vapor e água dentro dos parâmetros contratuais;
- Máximo valor de penetração no sistema: 50 kg/h;
- Medição deve ser executada com instrumento de mercúrio na cabeça do primeiro ejetor (E1);
- Teste a ser realizado durante o tratamento de uma corrida completamente desoxidada;
- Taxa de argônio de circulação máxima de 2000 l/min durante as medições;
- Condição inicial de pré-vácuo contra a válvula principal de vácuo fechada;
- Medição do tempo se inicia com a válvula principal de vácuo completamente aberta (limite de posição aberta atuado);
- Não pode ser utilizada a função de aquecimento do vaso na posição de tratamento antes das corridas de teste; e
- Valor de avaliação será a média de três medições.

Os resultados estão expressos na tabela 2 abaixo:

Tabela 2. Tempo de evacuação – Resultados – 23/04/2007.

Teste	Data	Hora	Corrida	Tempo	Vácuo
1	19.04.2007	13:08	2540597	02min36s	0,3 mbar
2	20.04.2007	12:56	2540816	01min21s	0,2 mbar
3	21.04.2007	12:46	1558407	02min55s	1,0 mbar
Média obtida				02min17s	0,5 mbar
Valor contratual				03min00s	1,0 mbar
Resultado				Aprovado	

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.

3.3 Taxa de Penetração

Performance a ser obtida: aproximadamente 50 kg/h

Pré-condições:

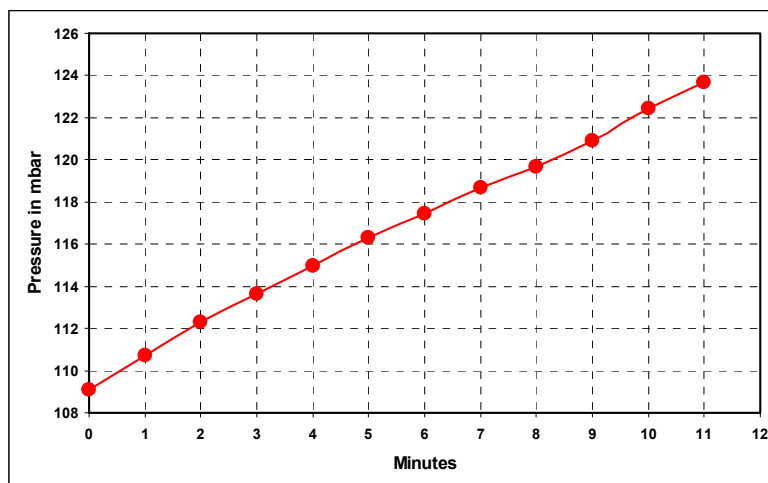
- Teste a ser executado com vaso sem refratários e com flange cego nas pernas;
- Conexão com sistema de adição de ligas fechada; e
- Resfriador de gases e linha de sucção secos.

Os resultados do teste estão indicados na Tabela 3 e Figura 1.

Tabela 3. Teste de taxa de penetração – Resultados – 18/04/2007.

Minuto	mbar	mbar/min	Hora
0	109,11		17:52:00
1	110,71	1,60	17:53:00
2	112,31	1,60	17:54:00
3	113,66	1,35	17:55:00
4	114,98	1,32	17:56:00
5	116,32	1,34	17:57:00
6	117,45	1,13	17:58:00
7	118,68	1,23	17:59:00
8	119,68	1,00	18:00:00
9	120,90	1,22	18:01:00
10	122,43	1,53	18:02:00
11	123,68	1,25	18:03:00
12	124,84	1,16	18:04:00
13	126,00	1,16	18:05:00
14	127,04	1,04	18:06:00
15	128,07	1,03	18:07:00
Média	119,12	1,26	
Referência (15.03.07)		Medição (18.04.07)	
0,97	mbar/min	1,26	mbar/min
17,51	kg/h	22,74	kg/h
RESULTADO:		APROVADO	

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.



Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI

Figura 1. Registro do aumento da pressão no sistema de vácuo em cada minuto de teste.

3.4 Remoção de Hidrogênio

Performance a ser obtida: $H \leq 1,5$ ppm em tempo máximo de 19 minutos
Resultado positivo em pelo menos 8 de 10 testes

Pré-condições:

- Hidrogênio inicial máximo de 7 ppm;
- Corrida completamente desoxidada ($AI > 0,030\%$);
- Utilidades dentro das especificações contratuais;
- Nenhuma adição de ligas durante as corridas de teste;
- Nenhum sopro de oxigênio durante as corridas de teste;
- Argônio de circulação mínimo 2500 NI/min; e
- Vaso com pelo menos 3 corridas já executadas.

Os resultados dos testes estão demonstrados na Tabela 4:

Tabela 4. Teste de remoção de hidrogênio – Resultados – 20/05/2007.

Teste No.	1	2	3	4	5
Data	10.05.07	14.05.07	14.05.07	14.05.07	19.05.07
Início de Vácuo	17:30:23	17:37:30	18:37:45	21:36:31	18:32:53
HYDRIS	antes do início	17:42:23	18:41:31	antes do início	antes do início
Tempo início de vácuo - HYDRIS	00:00:00	00:04:53	00:03:46	00:00:00	00:00:00
HYDRIS (após 19 minutos)	17:51:11	17:59:16	18:58:15	21:55:31	18:53:18
Hidrogênio inicial [ppm]	2,0/1,9	2,7	3,7	> 6,3	3,0
Hidrogênio final [ppm]	1,0	1,0	1,0	1,5	1,1
Teste No.	6	7	8	9	10
Data	19.05.07	19.05.07	20.05.07	20.05.07	20.05.07
Início de Vácuo	20:08:45	22:21:25	00:39:43	01:24:22	02:11:01
HYDRIS	antes do início	antes do início	antes do início	antes do início	antes do início
Tempo início de vácuo - HYDRIS	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
HYDRIS (após 19 minutos)	20:27:01	22:39:29	00:56:07	01:40:44	02:27:43
Hidrogênio inicial [ppm]	4,5	6,9	2,9	2,6	1,9
Hidrogênio final [ppm]	1,3	2,4	1,4	0,9	1,0

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.

Em apenas uma das dez medições a concentração de hidrogênio não alcançou o valor mínimo desejado ($H \leq 1,5$ ppm). Por particularidades de ocorrências em cada corrida alguns intervalos de medição de hidrogênio (HYDRIS) excederam os 19 minutos. Esses testes foram considerados válidos em comum acordo em função da concentração de hidrogênio estar bem abaixo do valor máximo de performance. Dessa forma o teste foi bem sucedido e aprovado.

3.5 Descarburaco

Performance a ser obtida: $C \leq 0,0015\%$ em tempo máximo de 15 minutos
Resultado positivo em pelo menos 8 de 10 testes

Pré-condices:

- Concentraco inicial de Carbono: $C \leq 0,045\%$;
- Concentraco inicial de Manganês: $Mn \leq 0,25\%$;
- Concentraco inicial de Silício: $Si \leq 0,015\%$;
- Concentraco inicial de Oxignio: O_2 min. 400 – 500 ppm;
- Sopro máximo de Oxignio durante a corrida: 3.000 Nm³/h;
- Tempo de descarburaco inicia com vácuo completamente aberta;
- Tempo de descarburaco finaliza com abertura do silo de adio a vácuo;
- Nenhuma adio de material durante a descarburaco;
- Temperatura inicial > 1.600 °C;
- Retirada da amostra para medio do Carbono 3 minutos aps adio de Alumínio;
- Vaso de teste limpo, livre de casces;
- Vazo de Argnio de circulao ≥ 2.500 l/min; e
- Corridas devem ser vazadas no convertedor oxidadas sem adio de escria sinttica, somente cal pode ser adicionada no vazamento.

Os resultados dos testes esto demonstrados nas Tabelas 5 e 6:

Tabela 5. Testes de descarburaco, 1 a 5 – Resultados – 16/05/2007.

Teste No.	1	2	3	4	5
Data	03.05.07	04.05.07	04.05.07	04.05.07	04.05.07
Início de vácuo	16:35:57	14:10:41	15:11:11	16:15:27	17:46:14
Temp. antes do RH [°C]	1600,5	1596,8	1577,7	1577,6	1601,5
Oxignio antes do RH [ppm]	771,7	674,2	575,4	353,5	532,6
Carbono antes do RH [%]	0,0240	0,0286	0,0277	0,0289	0,0400
Sopro de oxignio [Nm ³]			65	150	75
Início adio Al	16:50:57	14:26:01	15:27:11	16:30:40	18:01:27
Fim adio Al	16:51:35	14:26:28	15:27:56	16:31:16	18:02:00
Tempo vácuo até início Al [min]	15,00	15,33	16,00	15,22	15,22
Tempo vácuo até fim Al [min]	15,63	15,78	16,75	15,82	15,77
Carbono médio, espectrmetro [ppm]	5,0	5,0	5,0	5,0	14,5
Carbono médio, LECO [ppm]	7,0	7,0	10,5	8,5	12,0

Fonte: Relatrios de comissionamento SVAL.

Tabela 6. Testes de descarburização, 6 a 10 – Resultados – 16/05/2007.

Teste No.	6	7	8	9	10
Data	10.05.07	10.05.07	15.05.07	15.05.07	15.05.07
Início de vácuo	08:54:15	09:37:02	11:04:23	15:58:24	18:05:17
Temp. antes do RH [°C]	1617,8	1588,8	1601,3	1562,3	1586,4
Oxigênio antes do RH [ppm]	672,4	450,6	409,1	440,1	424,9
Carbono antes do RH [%]	0,0344	0,0488	0,0403	0,0441	0,0478
Sopro de oxigênio [Nm ³]	40	140	140	150	160
Início adição Al	09:09:15	09:52:02	11:19:23	16:13:24	18:20:17
Fim adição Al	09:09:51	09:52:55	11:20:01	16:14:04	18:20:57
Tempo vácuo até início Al [min]	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Tempo vácuo até fim Al [min]	15,60	15,88	15,63	15,67	15,67
Carbono médio, espectrômetro [ppm]	7,5	8,5	5,0	7,5	9,0
Carbono médio, LECO [ppm]	7,0	13,0	9,5	10,0	10,0

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.

Em todos os testes o Carbono foi reduzido a níveis abaixo da concentração máxima contratual. Considerando-se os níveis alcançados o teste foi extremamente bem sucedido.

3.6 Aquecimento Químico

Performance a ser obtida: Taxa de aquecimento ≥ 5 °C/min
Consumo Al entre 0,04 – 0,06 kg/t °C
Consumo O₂ entre 0,03 – 0,05 Nm³/t °C
Considerar valor médio de 10 testes

Pré-condições:

- Aquecimento de corridas desoxidadas;
- Tempo mínimo de homogeneização igual a 3 minutos;
- Taxa de resfriamento de vaso e panela a ser medida antes de cada corrida;
- Corridas em panelas de circulação e vaso a partir da segunda corrida da seqüência;
- Vaso limpo, livre de cascões, refratário com no mínimo 3 corridas;
- Temperatura superficial do refratário antes do teste ≥ 1.300 °C;
- Tempo de sopro objetivado entre 3 e 5 minutos; e
- Não permitido aquecimento do vaso por lança antes do teste.

A taxa de aquecimento foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$TC = \frac{T2 - T1 + TP (t2-t1)}{(t4-t3)}$$

Onde: TC = Taxa de aquecimento
 T1 = Temperatura antes do aquecimento químico, medida 3 minutos antes do início de circulação.
 T2 = Temperatura após aquecimento químico, medida 3 minutos após fim do sopro de oxigênio.
 TP = Taxa de perda de temperatura de vaso e panela
 t1 = Momento da medição T1
 t2 = Momento da medição T2
 t3 = Momento do início do sopro
 t4 = Momento do fim do sopro

Os resultados dos testes estão expressos na Tabela 7:

Tabela 7. Testes de aquecimento químico – Resultados – 03/05/2007.

TesteNo.	Taxa de aquecimento °C/min	Consumo específico de Al kg/t °C	Consumo específico de O ₂ Nm ³ /t °C
1	8,07	0,0252	0,0190
2	8,12	0,0255	0,0193
3	7,55	0,0273	0,0209
4	7,43	0,0211	0,0212
5	6,23	0,0335	0,0252
6	7,32	0,0295	0,0225
7	6,83	0,0304	0,0232
8	7,18	0,0284	0,0216
9	11,79	0,0182	0,0137
10	7,65	0,0278	0,0207
Average	7,82	0,0267	0,0207

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI.

A taxa média de aquecimento obtida superou consideravelmente o valor especificado, com consumos específicos de Al e O₂ bem abaixo da expectativa. Desta forma os testes foram aprovados.

3.7 Precisão do Sistema Nível 2 (Modelo Matemático)

Após estabilidade operacional da unidade de desgaseificação foram feitos os ajustes e testes de performance do modelo matemático (Nível 2), abrangendo diversos tipos de aços distribuídos em três grupos: médio carbono (MC), baixo carbono (LC) e ultra baixo carbono (ULC).

A função do modelo matemático é definir as ações durante uma corrida de forma a obter-se o resultado objetivado em composição química e temperatura. Um gráfico de tendência é exibido ao operador para garantir a previsibilidade dos resultados do tratamento e adiantar ações para evitar possíveis desvios.

Todos os índices contratuais de desvios aceitáveis foram alcançados, conforme demonstrado na Tabela 8:

Tabela 8. Testes de precisão do Nível 2 – Resultados – 12/11/2007.

Teste	Desvio Aceitável	Resultado
Controle de temperatura - corridas oxidadas	+/- 8°C	Aprovado
Concentração de Carbono - corridas oxidadas	+/- 7 ppm	Aprovado
Controle de temperatura - corridas desoxidadas	+/- 8°C	Aprovado
Concentração de Al solubilizado após desoxidação	+/- 0,004%	Aprovado
Concentração final de Ti (ULC) 0,015 - 0,030%	12%	Aprovado
Concentração final de Ti (ULC) 0,030 - 0,055%	8%	Aprovado
Concentração final de Mn (ULC) 0,15 - 0,40	8%	Aprovado
Concentração final de Al, solub. (ULC) 0,035 - 0,050%	10%	Aprovado
Concentração final de Mn (LC) 0,15 - 0,50%	8%	Aprovado
Concentração final de C (LC) 0,030 - 0,080%	20%	Aprovado
Concentração final de Al, solub. (LC) 0,035 - 0,050%	10%	Aprovado
Concentração final de Mn (MC) 0,40 - 0,60%	8%	Aprovado
Concentração final de Mn (MC) 0,60 - 0,90%	6%	Aprovado
Concentração final de C (MC) 0,10 - 0,30%	15%	Aprovado
Concentração final de Si (MC) 0,08 - 0,40%	10%	Aprovado
Concentração final de Al, solub. (MC) 0,035 - 0,050%	10%	Aprovado

Fonte: Relatórios de comissionamento SVAl.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que o projeto foi tecnicamente bem sucedido. Grande parte desse sucesso se deveu à constante participação dos usuários finais da planta, nesse caso operação e manutenção, visando a construção de uma unidade de alta performance e avançada tecnologia.

Dentre os detalhes técnicos podemos destacar alguns pontos determinantes.

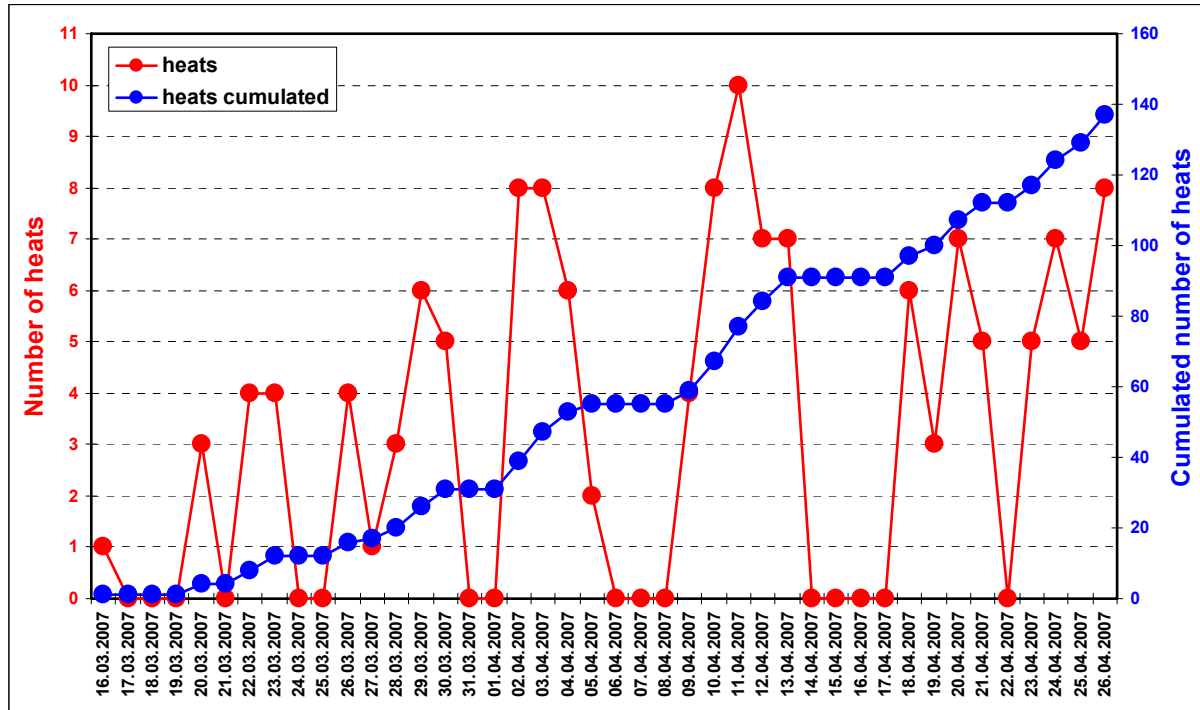
O layout com dois carros de transferência num mesmo caminho de rolamento, conjugado com o sistema de elevação da panela por ganchos, permite cumprir um tempo reduzido de interrupção entre corridas. O sistema semi-automático de troca rápida de vaso também colabora para proporcionar um alto índice de disponibilidade da planta. Acessos amplos e seguros a todos os pontos da planta garantem segurança e rapidez na atuação dos operadores e inspetores.

A aplicação consistente de instrumentação de última geração, aliada a um sistema de automação avançado permite um controle preciso do processo. Um bom exemplo é o controle individual de vazão de cada linha do gás de circulação com redistribuição automática em caso de entupimento. Redundâncias em chaves limites e medidores de nível instalados em posições críticas garantem a continuidade da produção em caso de falha. É também possível montar gráficos históricos e relatórios de todos os sistemas, o que se torna uma poderosa ferramenta na investigação, análise e solução de problemas relativos aos equipamentos e ao processo.

Os exemplos acima são uma mostra da metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto e são a chave para o sucesso do desempenho da planta.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos técnicos do projeto foram alcançados. Como evidência maior, além dos resultados já demonstrados acima, a planta apresentou uma curva de início de produção consideravelmente positiva, mesmo considerando que estava sendo dividida produção com o RH existente (ver Figura 2).



Fonte: Relatórios de comissionamento SVAI

Figura 2. Registro do número de corridas por dia e acumuladas no start-up do RH2.

Agradecimentos

Agradecemos especialmente as equipes envolvidas na execução do projeto. Por parte da ArcelorMittal Tubarão aos colegas da engenharia, manutenção e operação, cujo envolvimento e dedicação foi determinante no resultado positivo alcançado. Por parte da Siemens VAI agradecemos o trabalho incansável das equipes de montagem, automação, metalurgia e modelamento matemático.