

## DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS DESTINADOS A FABRICAÇÃO DE CILINDROS PARA A LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE<sup>1</sup>

Marcos Machado Matsumoto<sup>2</sup>

Claudia Regina Serantoni<sup>3</sup>

Jose Honorato de Barcellos Neto<sup>4</sup>

Mario Boccalini Junior<sup>5</sup>

### Resumo

Entre os principais mecanismos de desgaste de cilindros para a laminação de tiras a quente destacam-se, abrasão, oxidação, adesão (*sticking*) e fadiga térmica. Esses mecanismos resultam em fenômenos de degradação tais como: desgaste abrasivo, desgaste oxidativo, desgaste por deslizamento oxidativo e *banding*. Todo este processo interfere no comportamento tribológico dos cilindros de laminação. Tendo em vista o papel fundamental dos diversos parâmetros microestruturais e parâmetros de processo sobre o desempenho de ligas destinadas a fabricação de cilindros de laminação, este trabalho propõe evidenciar os desenvolvimentos em ligas de ferro fundido branco multicomponente e ICDP aplicados a cilindros de laminação a quente, cujo objetivo é o aumento de desempenho por meio do aumento da resistência contra os fenômenos anteriormente descritos. O processo de desenvolvimento dessas novas ligas consistiu na fabricação de ligas em escala piloto com a finalidade de selecionar a melhor microestrutura, ensaios mecânicos para analisar o melhor comportamento sob os fenômenos descritos, seleção de alguns clientes para testes e, por fim, análise dos resultados obtidos após uso para a homologação do produto.

**Palavras-chave:** Laminador de tiras a quente; Cilindros de laminação; Ferro fundido branco multicomponente; ICDP.

## DEVELOPMENT OF MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF ROLLING MILL ROLLS FOR HOT STRIP MILLS

### Abstract

The main mechanisms of degradation of rolling mills rolls for hot strip mills are, abrasion, oxidation, adhesion (*sticking*) and thermal fatigue. These mechanisms result in degradation phenomena such as abrasive wear, oxidative wear, sliding wear, oxidative banding and others. This process affects the tribological behavior of rolling mill rolls. Given the fundamental role of various microstructural and process parameters on the performance of alloys for the manufacture of rolling mill rolls, this paper proposes to highlight the developments in multi-component white cast iron and ICDP alloys applied to hot rolling mills, whose goal is to increase its performance by increasing the resistance against the phenomena described above. The process of development of these new alloys consisted of the manufacture of alloys on a pilot scale in order to select the best microstructure and mechanical tests perform in order to analyze the best behavior in the phenomena described. After this analysis some customers were selected for testing and, finally, the results after use were analyzed for the approval of the product.

**Keywords:** Hot strip mill; Rolling mill rolls; Multi-component white cast iron; ICDP.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 49º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 22 a 25 de outubro de 2012, Vila Velha, ES, Brasil

<sup>2</sup> Engº de Materiais, mestre em engenharia metalúrgica, Assessor técnico de inovação de cilindros – Gerdau Aços Especiais Brasil

<sup>3</sup> Engª Metalurgista, mestre e doutora em engenharia metalúrgica, Gerente de tecnologia – Gerdau Aços Especiais Brasil

<sup>4</sup> Tecnólogo em metalurgia, Assessor técnico – Gerdau Aços Especiais Brasil

<sup>5</sup> Engº Metalurgista, mestre e doutor em engenharia metalúrgica, Pesquisador Sênior – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo IPT

## 1 INTRODUÇÃO

A área de Cilindros de Laminação da Gerdau S.A., que comercializa os cilindros da marca Villares Rolls, até a década de 1990 conduzia suas ações de desenvolvimento tecnológico de produtos e processos pelo seu *staff* de engenheiros e técnicos e por meio da compra de tecnologia. A partir desta década, ocorreram importantes alterações nas características do mercado de cilindros de laminação, quais sejam: a) o ciclo de vida de uma gama de produtos reduziu-se de dez a vinte anos para dois a cinco anos, além da contínua necessidade da oferta de melhorias incrementais nos produtos de linha, visando manter a competitividade; b) as margens operacionais dos produtos apresentam rápidas reduções após um ano de lançamento do produto; e c) a estratégia anterior obrigava a compra de tecnologia de outros fornecedores de cilindros, objetivando mudanças de patamar tecnológico. Sob essas novas características do negócio de cilindros, o tempo e a complexidade envolvidos em sua operação inviabilizavam os modos de atuação utilizados até o momento.

A geração de tecnologia de cilindros na Gerdau S.A. é realizada e gerenciada por um departamento de Pesquisa, Desenvolvimento e Aplicação. Esse departamento coordena todas as etapas do processo desenvolver, que inclui desde a definição da carteira de projetos, passando pela implementação dos produtos na área produtiva até o acompanhamento do produto no cliente. A administração e gerência dessa estrutura são realizadas inteiramente, por uma equipe de *Project Management Office*, assegurando que os objetivos propostos nos projetos de desenvolvimento e inovação sejam atingidos, por meio da utilização de melhores processos e recursos disponíveis.

O departamento de Pesquisa, Desenvolvimento e Aplicação tem como principal objetivo o desenvolvimento com o foco no cliente, ou seja, desenvolver soluções personalizadas para todo o tipo de demanda. Para tal, o mesmo conta com uma estrutura operacional descentralizada, sendo utilizados centros de competências plenamente desenvolvidos, apoiados por universidades e seus recursos. Como principais parceiros estão o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e o Laboratório de Fenômenos de Superfície da Epusp-SP.

Essa metodologia de trabalho tem permitido redução do tempo de desenvolvimento de produtos e melhoria da qualidade dos mesmos, de forma a aplicar o conhecimento em seu pleno estado da arte, aproveitando os desenvolvimentos realizados, bem como equipamentos e recursos diversos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O processo de desenvolvimento de cilindros inicia-se com a definição dos projetos que serão conduzidos; essa definição é realizada por meio de análise de informações internas e externas. Como exemplos de fontes destas informações podem ser citadas demandas específicas de clientes ou de mercado, conhecimento acumulado ou apresentado e discutido em congressos, seminários e eventos do setor, demandas internas da produção e dados históricos de acompanhamentos de mercado. Essas informações são avaliadas e priorizadas, sendo que a alocação de recursos é definida por um comitê interno composto por uma equipe multidisciplinar constituída por representantes das áreas comercial, industrial e marketing.

A condução dos projetos é realizada por uma equipe multifuncional, formada por técnicos e engenheiros da empresa, pesquisadores de universidades, institutos

e centros de pesquisa, que deve gerenciar as interfaces entre diferentes grupos envolvidos no projeto e desenvolvimento, assegurando uma comunicação eficaz e designação clara das atividades.

Após a definição do tema do projeto inicia-se com um processo de revisão do estado da arte, cujo objetivo é aplicação do conhecimento gerado no desenvolvimento de novos produtos. Após essa fase, com as definições das premissas iniciais do projeto, o processo de desenvolvimento deverá passar por cinco etapas básicas, antes de chegar ao cliente para a realização dos testes, são elas:

- *Alloy design*, por meio de simulação termodinâmica computacional (Thermo-Calc<sup>®</sup>) sendo verificadas as fases formadas, assim como os parâmetros indicativos de fundição e tratamento térmico;
- fundição estática de corpos de prova, para a verificação da aderência aos resultados da simulação termodinâmica, sendo que as dimensões e tipos de moldes foram desenvolvidos de modo a reproduzir as condições de solidificação dos cilindros de laminação;
- fundição em centrifuga piloto, para a verificação do comportamento da liga sob força centrífuga;
- caracterização e avaliação das propriedades mecânicas, resistência à abrasão e resistência à fadiga térmica, sendo esta etapa classificatória, criando subsídios para a escolha de um material para teste em escala fabril; e
- fundição de um protótipo em escala fabril, de forma a verificar sua aderência com os resultados obtidos em escala piloto e determinação dos parâmetros de fabricação.

Com a finalização das etapas de desenvolvimento anteriormente descritas, inicia-se a produção de um lote piloto, cujo envio será realizado para clientes previamente selecionados, onde serão realizados acompanhamentos dos comportamentos em uso e das práticas operacionais de manutenção desses mesmos cilindros. O período de acompanhamento dos produtos novos deverá ser definido em função da aplicação e vida útil do cilindro.

Considera-se homologado um produto novo após a utilização de um lote de protótipos em todas as condições de operação do laminador durante toda sua vida útil, atingindo o objetivo proposto.

Após validação do protótipo e homologação do produto novo, realiza-se a consolidação do *know how* de fabricação desse desenvolvimento, contendo todas as informações necessárias para a fabricação do produto, levando em consideração todos os requisitos de segurança e saúde ocupacional, qualidade e meio ambiente estabelecidas e normalizada internamente. De uma forma esquemática, a Figura 1 mostra o mapeamento do fluxo de processo de desenvolvimento de cilindros de trabalho para laminação de tiras a quente.

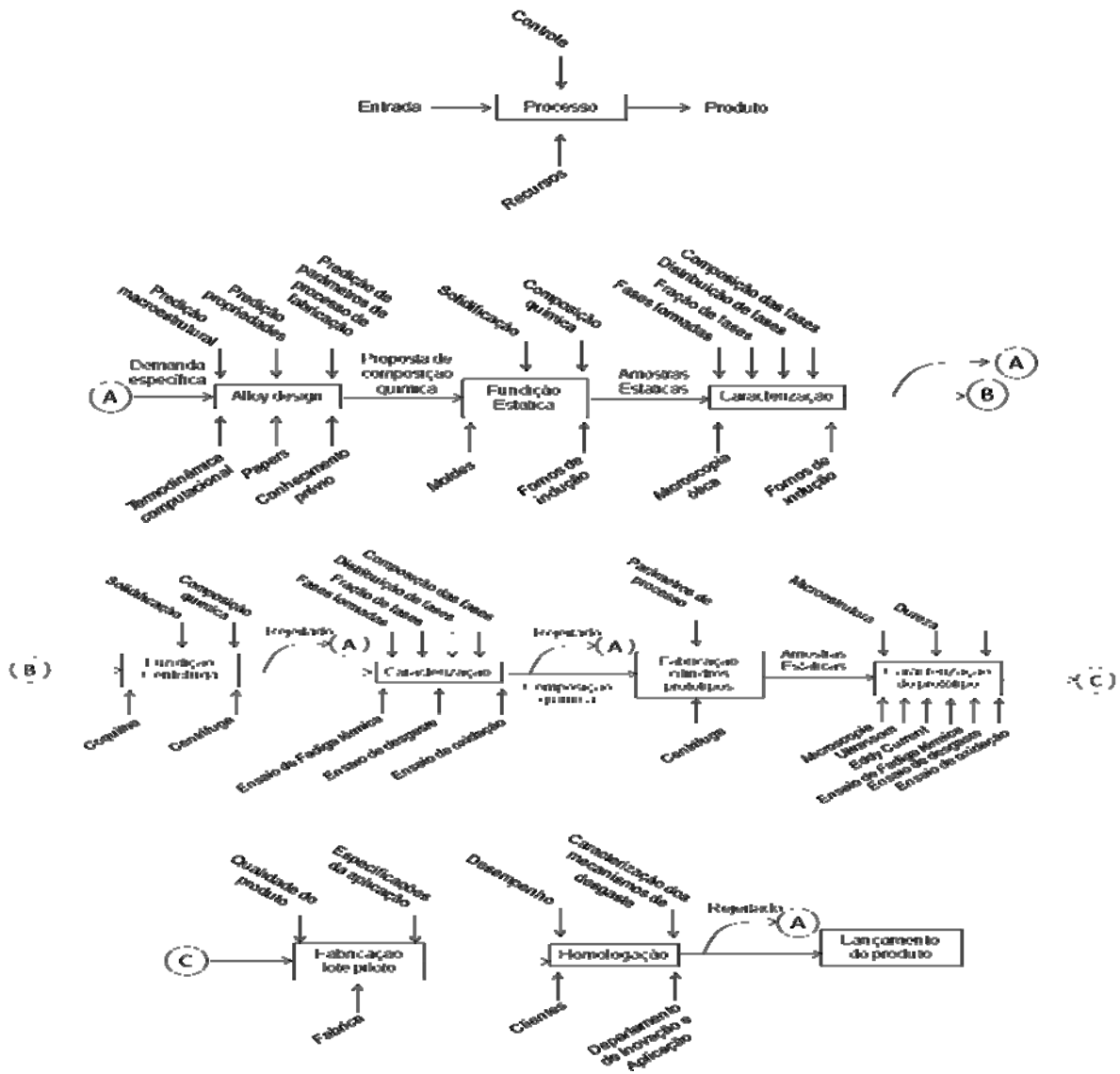


Figura 1: Fluxo de processo de desenvolvimento de cilindros de laminação.

## 3 RESULTADOS

Nos itens que seguem serão apresentados “cases” dos resultados obtidos em “*trials*” realizados com clientes.

### 3.1 “Case” 1

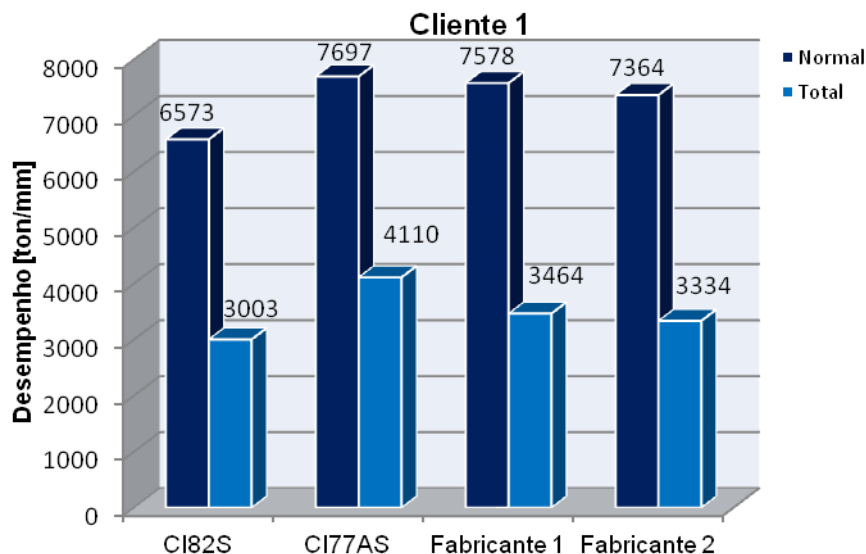
O primeiro case consistiu no desenvolvimento de um cilindro de ICDP, denominado CI77AS, cujo diferencial consiste em uma adequação balanceada entre sua resistência a acidentes e uma elevada resistência ao desgaste. O desenvolvimento dessa liga abrange desde a composição química até modificações do processo de fabricação, onde técnicas especiais de fusão e vazamento garantem uma maior homogeneidade e refino microestrutural.

A homologação do desempenho foi realizado em dois clientes, chamados Cliente 1 e Cliente 2. O Cliente 1 apresenta um laminador semi-contínuo composto por quatro cadeiras desbastadoras e sete cadeiras acabadoras; já o Cliente 2

apresenta um laminador do tipo DSP, composto por duas cadeiras desbastadoras e cinco cadeiras acabadoras.

O Cliente 1 solicitou o desenvolvimento de um cilindro que associe características de resistência ao desgaste e resistência a acidentes. Na Figura 2 é possível observar o desempenho dos cilindros CI77AS em relação a desenvolvimentos anteriores e em relação a outros fabricantes, chamados de Fabricante 1 e Fabricante 2. Esse cliente avalia o desempenho dos cilindros de duas formas:

- desgaste total após serviço, desempenho total; e
- desempenho considerando apenas o desgaste, sendo estes valores considerados como mais importante, desempenho normal.



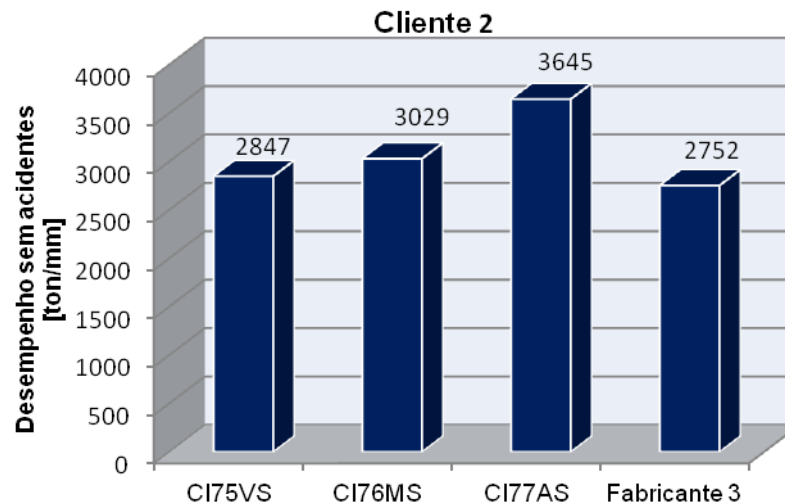
**Figura 2:** Desempenho de cilindros ICDP no Cliente 1, os valores são expressos pela média de todas as utilizações.

Com base na Figura 2 é possível observar que os cilindros Villares Rolls CI77AS promoveram uma melhora significativa na resistência a acidentes e desgaste, superando os concorrentes e o produto anterior (CI82S).

Especificamente em relação ao Cliente 2, foi solicitado o desenvolvimento de um cilindro cuja aplicação priorize a resistência ao desgaste, ou seja, o objetivo solicitado pelo cliente foi desenvolvimento de um cilindro cujo valor máximo especificado para o desgaste seja inferior a 0,3mm, permitindo assim que o laminador aumente a campanha.

Na Figura 3 é possível observar o desempenho dos cilindros CI77AS em relação a desenvolvimentos anteriores e em relação ao Fabricante 1.





**Figura 3:** Desempenho normal dos cilindros ICDP CI77AS no Cliente 2, os valores são expressos pela média de todas as utilizações.

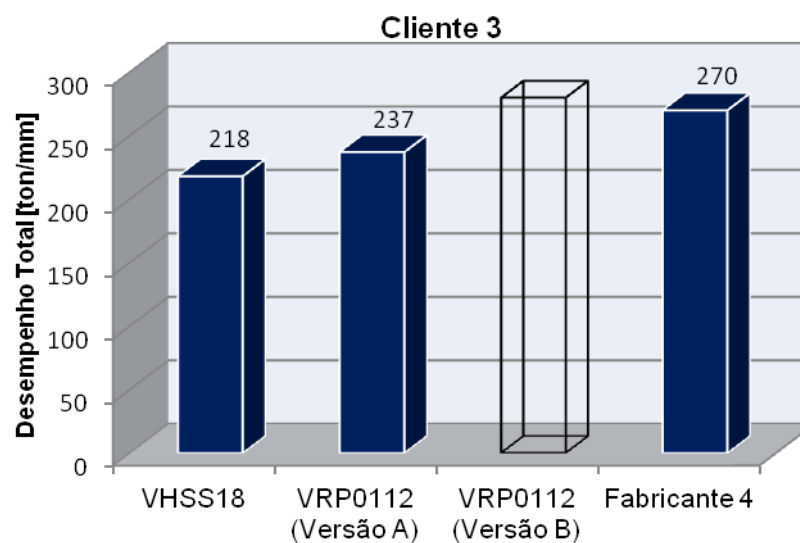
A implementação do cilindro CI77AS possibilitou ao laminador aumentar a campanha, uma vez que o valor máximo de desgaste obtido foi inferior a 0,3mm.

### 3.2 Case 2

O segundo case consistiu no desenvolvimento de uma nova classe de cilindros de ferro fundido branco multicomponente, denominado VRP0112 (Villares Rolls Prototype, nome este utilizado até a etapa de homologação do produto), cujo diferencial consiste na sua homogeneidade microestrutural e elevada resistência ao desgaste.

A homologação do desempenho está sendo realizada no Cliente 3 que apresenta um laminador do tipo Steckel.

Na Figura 4 é possível observar o desempenho dos cilindros VRP0112 (versão A) em relação a desenvolvimentos anteriores e o Fabricante 4.



**Figura 4:** Desempenho total dos cilindros de ferro fundido branco multicomponente VRP0112 no Cliente 3.

Os resultados evidenciam que a rota de desenvolvimento tomada foi coerente a solicitação do cliente, constatada pela melhora de aproximadamente 9% em relação ao produto anterior.

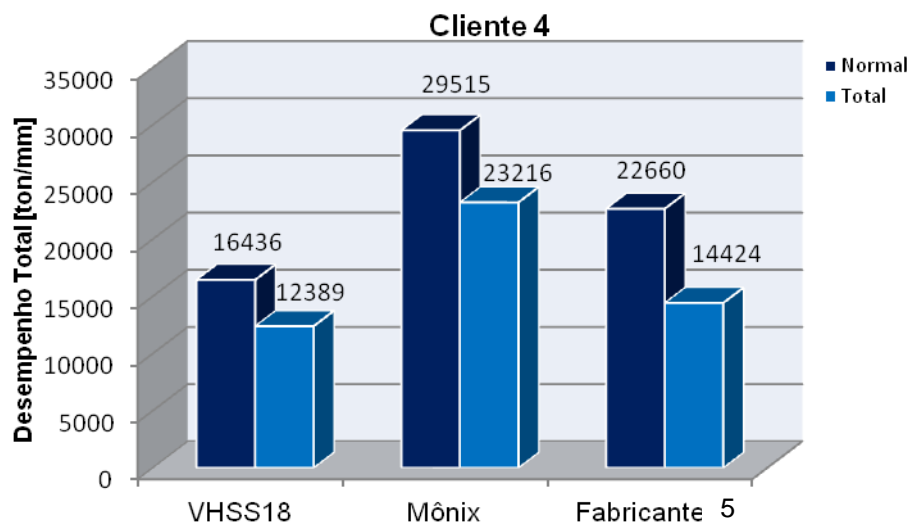
É importante ressaltar que uma nova “*Trial*” (VRP0112 Versão B) já está em operação, cujas melhorias incorporadas ao material objetivam resultados de desempenho iguais ou superiores ao Fabricante 4.

### 3.3 Case 3

O terceiro case consistiu no desenvolvimento de uma nova classe cilindro de ferro fundido branco multicomponente, denominado Mônia, cujo principal diferencial consiste na morfologia e distribuição de carbonetos, responsáveis por uma elevada resistência a fadiga térmica e ao desgaste abrasivo.

A homologação do desempenho está sendo realizada no Cliente 4, que apresenta um laminador contínuo composto por uma cadeira desbastadora e seis cadeiras acabadoras.

Na Figura 5 é possível observar o desempenho dos cilindros Mônia em relação a desenvolvimentos anteriores e o Fabricante 5 (não deveria ser o fabricante 5?). Cabe ressaltar que os valores expressos são referentes a quarenta e duas utilizações na cadeira F1 do laminador de tiras a quente.



**Figura 5:** Desempenho total dos cilindros de ferro fundido branco multicomponente Mônia no Cliente 4.

Os desempenhos apresentados na Figura 5 evidenciam um importante resultado sob o ponto de vista do produto e sob o ponto de vista da aplicação. Após uma análise criteriosa dos mecanismos de degradação dos cilindros de laminação do Cliente 4, foi possível desenvolver e propor um novo produto que preencha os requisitos de solicitação impostas pelo laminador.

## 4 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS ADICIONAIS

Com base nos resultados mostrados anteriormente podemos concluir que o modelo de desenvolvimento de cilindros de laminação adotado, cujo principal objetivo é a criação de soluções personalizadas para o cliente, vem se mostrando eficaz na obtenção de resultados em curto e médio prazo.



O primeiro “case” consistiu no desenvolvimento do cilindro de ICDP denominado CI77AS testado nos clientes 1 e 2, cujos resultados de desempenho foram 17% (desempenho normal) e 37% (desempenho total) superior ao cilindro CI82S no Cliente 1 e 28% (desempenho normal) superior ao cilindro CI75VS no Cliente 2.

O segundo case consistiu no desenvolvimento de um ferro fundido branco multicomponente denominado VRP0112 que apresentou desempenho total 9% superior ao cilindro VHSS18. Uma nova “*trial*”, com melhorias implementadas já encontram-se em andamento, sendo os resultados esperados para os próximos 3 meses.

O terceiro case consistiu no desenvolvimento de um ferro fundido branco multicomponente denominado Mônia que apresentou desempenho 80% (desempenho normal) e 87% (desempenho total) superior em relação ao cilindro VHSS18.

Podemos observar que em todos os casos descritos houve uma melhora do desempenho para cada proposta de um novo material, evidenciando melhoria contínua do processo e do produto a fim de se buscar a liderança no mercado de cilindros, consolidando a Gerdau S.A. com uma empresa inovadora e provedora de tecnologia.