

## SISTEMA DE CONTROLE DE PANEAS CSN\*

*Matheus Sexto Alexandre Pereira<sup>1</sup>*  
*André Luiz Monteiro Martins<sup>2</sup>*  
*Bruno Cesar Calazans de Andrade<sup>3</sup>*  
*Fábio Oliveira da Silva<sup>4</sup>*  
*Hugo Cabral Folly<sup>5</sup>*  
*Thiago Aranha da Silva<sup>6</sup>*  
*Wellington Carlos Ritson<sup>7</sup>*  
*Fernando Neves Francisquine<sup>8</sup>*

### Resumo

Controle e centralização de informações referentes ao processo industrial são imprescindíveis e considerando-se que na cadeia de suprimento o maior valor agregado costuma estar na produção, faz todo sentido investir em sistemas que possibilitem a otimização do fluxo, controle e qualidade do processo. O novo Sistema de Controle de Paneas (SIPAN) implantado na CSN permitiu monitorar em tempo real todo o ciclo operacional utilizando novas tecnologias de desenvolvimento de software web, além de melhorar o gerenciamento, comunicação com outros sistemas e rastreabilidade de todo o processo. O sistema implementado conseguiu melhorar a qualidade de informação para a equipe tornando mais rápida e assertiva a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Sistemas de automação de nível 2; PROCOM; Controle de paneas; Aplicação Web.

### CSN LADLE CONTROL SYSTEM

#### Abstract

Information control and centralization regarding the manufacturing process are essential and considering that in the supply chain the highest value is usually in production, it makes sense to invest in systems that enable the flow optimization, control and process quality. The new Ladle Control System (SIPAN) installed at CSN allowed real time monitoring of the entire operational cycle using new technologies of web software development, and improve management, communication with other systems and traceability throughout the process. The implemented system improved the quality of information for the team, allowing for more assertive and quick decision making.

**Keywords:** Level 2 automation systems; PROCOM; Ladle control; Web application.

<sup>1</sup> *Analista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>2</sup> *Analista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Especialista, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>4</sup> *Especialista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>5</sup> *Analista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>6</sup> *Analista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>7</sup> *Especialista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

<sup>8</sup> *Analista de Tecnologia da Informação, Companhia Siderúrgica Nacional, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Indústria Siderúrgica é tipicamente conhecida por usar recursos de forma intensiva. Os custos de recursos fixos são altos e as organizações enfrentam o desafio contínuo de melhorar o desempenho dos recursos existentes. Elas são focadas especificamente na redução dos custos operacionais ao mesmo tempo em que aumentam a produção.

O Sistema de Controle de Painelas (SIPAN) desenvolvido em conjunto com a empresa RADIX e aplicado na CSN auxilia no controle do processo, possibilitando uma visão geral da ala de corridas, das posições das painelas e de seu status. Tem como objetivo uma utilização simples e eficiente, de forma a facilitar a concentração de informações relevantes ao processo em relatórios, contribuindo para o aumento da produtividade e do controle da produção.

## 2 ALA DE CORRIDAS DA ACIARIA

Aciaria é a unidade de uma usina siderúrgica responsável por transformar o ferro gusa em aço líquido. O processo de aciaria é dividido em Refino Primário (reduzir teor de carbono e impurezas) e Refino Secundário (adicionar elementos de liga). Uma lança sopra oxigênio em alta pressão no Conversor, que reage com o carbono presente no gusa, produzindo o aço no chamado refino primário. O aço pode seguir para três diferentes tipos de tratamento por várias rotas. Tais tratamentos são denominados refino secundário, que têm o objetivo de remover impurezas e ajustar sua composição química de acordo com os parâmetros especificados de produtos. Os processos de refino secundário na CSN são:

- Metlurgia de Painela - MP
- Estações de Borbulhamento – EB's (2 EB's com 2 berços cada)
- Ruhstall Heraeus - RH
- Forno Painela - FP

Atualmente, a ala de corridas possui um total de 25 painelas para onde o aço é vertido após passar pelo conversor. A escória, de densidade menor, é sobrenadante e é vertida para um outro recipiente (pote). Após o refino secundário, o aço contido na painela é transferido para a máquina de lingotamento contínuo. A painela passa por processos de limpeza, troca de peças e inspeção e pode seguir diversos caminhos: retornar diretamente para o processo, ser retirada para eventuais trocas de material refratário ou seguir para etapas de aquecimento ou reaquecimento.

Um ciclo de uma painela (Figura 1) é definido como o tempo entre o esvaziamento da painela no lingotamento contínuo até seu retorno para o conversor para receber o aço para a próxima corrida. Atualmente, na CSN, o ciclo é estabelecido como sendo no máximo 90 minutos. Após esse tempo, se a painela não receber a corrida, ela é considerada fora de ciclo e deve ser reaquecida antes de retornar ao conversor.

Entre 10 e 12 painelas realizam esse processo, possuindo o status “Painelas em Ciclo” enquanto as restantes encontram-se em manutenção, resfriamento, troca do revestimento refratário (total ou parcial) ou aguardando para serem aquecidas ou sendo reaquecidas, com status “Painelas fora de Ciclo”.

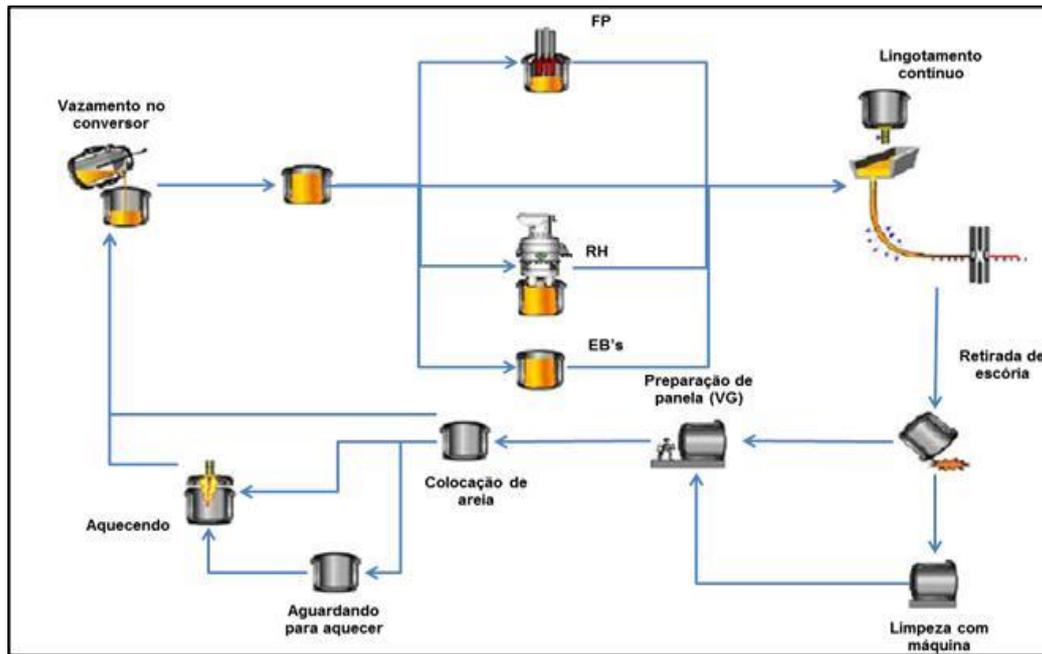


Figura 1. Ciclo de Panela na Ala de Corridas

## 2.1 Funções Executadas na Ala de Corridas

Para controle dos potes e panelas empregados no processo de fabricação do aço as seguintes funções são executadas na Ala de Corrida:

### 2.1.1 Ativador

O ativador é responsável por gerenciar a utilização das panelas na aciaria. O trabalho é iniciado na consulta da programação de produção. Essa programação contém informações sobre o processo que indicam os horários de início e fim das corridas da aciaria possibilitando o planejamento das panelas de acordo com estes horários, além de rota de refino secundário a ser seguida e tipo de aço a ser produzido nestas panelas. Com base nessas informações, o ativador pode programar a substituição de componentes das panelas, o ritmo de produção na Ala de Corridas e ainda deve ser o interlocutor entre a liderança da área e os outros operadores.

### 2.1.2 Ativador Fora de Ciclo

O ativador fora de ciclo é responsável por gerenciar e manipular as panelas que não estão alocadas em operações na aciaria e no lingotamento contínuo. Deve gerenciar a parada de panelas para manutenções diversas, garantindo que haja sempre panelas disponíveis para a produção. Todo o trabalho do Ativador Fora de Ciclo é de extrema importância para manter a integridade física das panelas e a produção adequada na aciaria e no lingotamento contínuo.

### 2.1.3 Operador de Válvula Gaveta

O operador de válvula gaveta é responsável por inspecionar e fazer pequenos reparos nas panelas que acabaram de sair vazias do lingotamento contínuo, panelas retiradas dos aquecedores e panelas saídas de serviços de refratamento ou mecânicos. O operador de válvula gaveta executa atividades de inspeção e reparos mecânicos ou refratários além de testes de funcionamento dos componentes da panela.

### 2.1.4 Operador de Refratários

O operador de refratários é o responsável por realizar a manutenção refratária nas panelas, desde a remoção do material que precisa ser retirado até a colocação de todo o novo revestimento.

### 2.1.5 Operador de Tow Car

O operador de tow car é responsável por disponibilizar a panela com aço para a área de lingotamento contínuo e também por posicionar a panela para vazamento, sob o conversor. Além disso, antes de a panela receber aço dos conversores, o operador de tow car adiciona areia de vedação na válvula da panela para garantir o lingotamento contínuo do aço e nos casos da panela ser encaminhada para aquecimento, é feita a adição de areia de aquecedor para proteção da válvula da panela durante o aquecimento.

## 3 CONTROLE DA ALA DE CORRIDAS ANTES DO SIPAN

Desde o início da produção de aço na CSN o controle das panelas e potes da Ala de Corridas era feito manualmente, com acompanhamento de informações via rádio. Em 2003 foi implantado um controle de panela automatizado (Figura 2 e Figura 3), porém com o passar dos anos tornou-se obsoleto, incompatível com os softwares atuais, um elevado custo de manutenção e não amigável para os operadores. Ao longo dos anos novas práticas operacionais, novos controles exigiram uma atualização de funcionalidades do sistema.

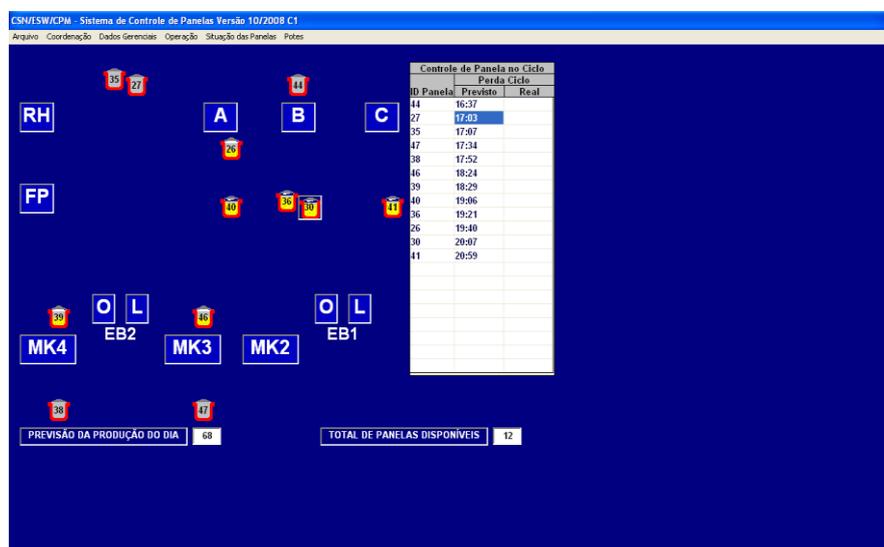


Figura 2. Tela Principal do Sistema ESW



Várias animações podem ser vistas, como vazamento nas máquinas de corrida contínua, vazamento de aço desde os conversores para as painéis, estações de borbulhamento, forno-painela e RH funcionando. Além das animações, as painéis estarão posicionadas conforme a realidade na ala de corridas de acordo com os sinais de posição recebidos do PROCOM Aciaria.

○

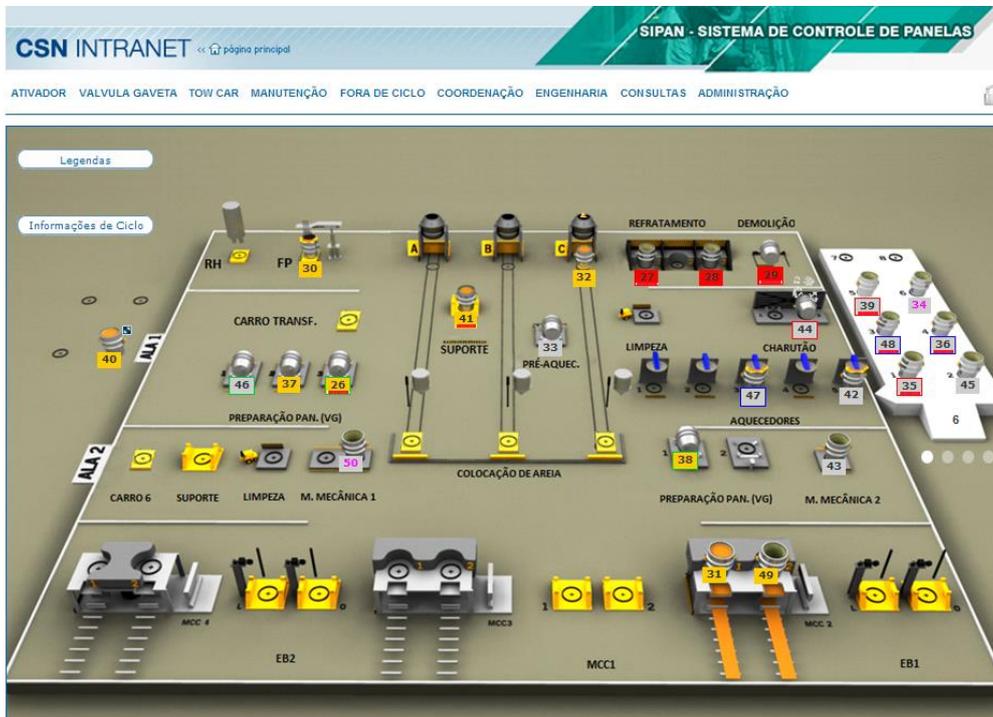


Figura 4. Tela Principal do SIPAN

Na tela geral da ala de corridas, é possível visualizar status das vidas dos principais componentes da panela (Figura 5) assim como do refratário de trabalho e estrutural. Também nessa mesma tela é possível visualizar alguns indicadores de performance da panela e o índice de encharque estimado para a corrida seguinte permitindo a observação por todos os usuários do sistema.

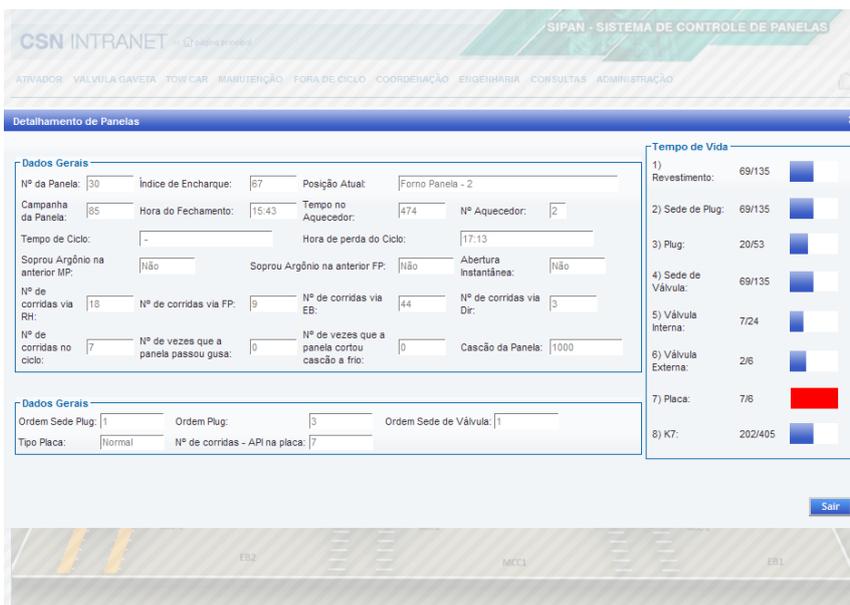


Figura 5. Detalhamento de Painelas SIPAN

\* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Na tela de Painéis Fora de Ciclo (Figura 6) é possível visualizar o posicionamento das painéis que estão fora de operação temporariamente (em aquecimento) e aquelas que estão em manutenção. Permite visualizar as condições de aquecimento, manutenção, resfriamento, demolição ou refratamento. Desta forma, há uma idealização dos futuros passos que cada painel deverá seguir.

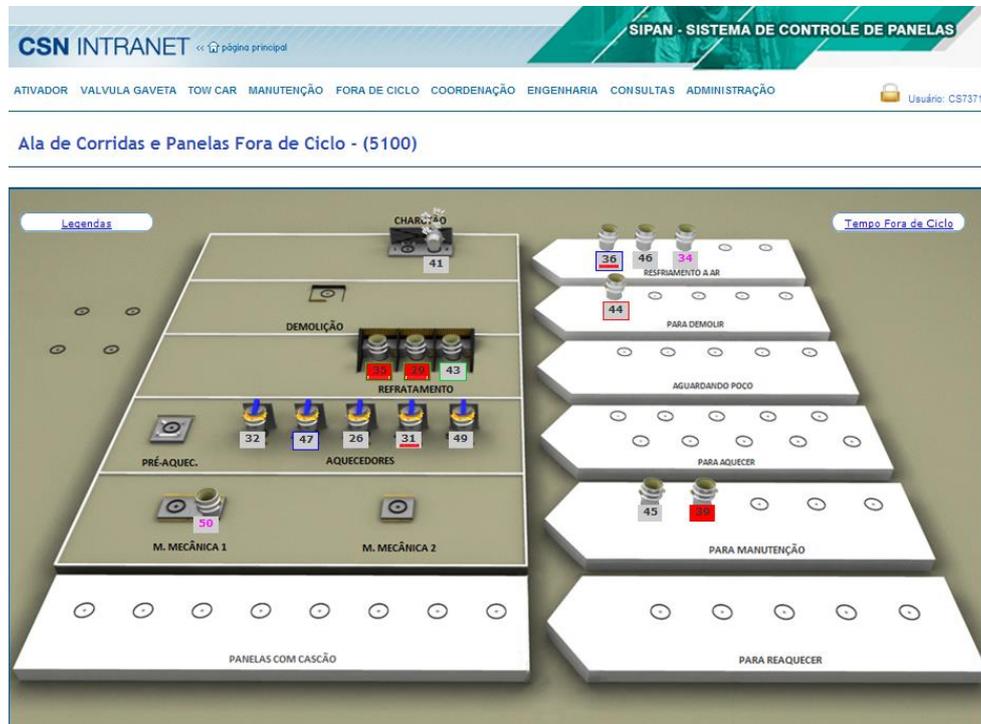


Figura 6. Painéis Fora de Ciclo do SIPAN

O usuário do SIPAN também pode visualizar a situação e informações corrente dos potes na ala de corridas (Figura 7).



Figura 7. Detalhes dos Potes com Retorno

No menu Consultas (Figura 8) é possível acessar todas as informações apontadas no sistema assim como todos os cálculos de indicadores feitos automaticamente

\* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

pelo SIPAN. São 20 relatórios gerenciais, cujo objetivo é a gestão da área de preparação de painéis, que irá auxiliar no aprimoramento de resultados e solução de problemas.



**Figura 8. Consultas e Relatórios**

O SIPAN contém uma grande quantidade de telas que auxiliam no processo. Listamos apenas as principais com o intuito de demonstrar a grande diferença entre o sistema atual e o que era utilizado.

#### 4.1 Tecnologias Empregadas

O sistema foi desenvolvido utilizando as melhores tecnologias existentes no mercado e as mesmas são apresentadas nos itens a seguir:

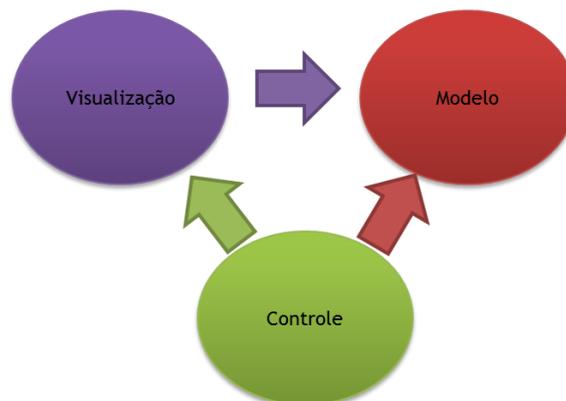
- Base de Dados Oracle 11g: sistema gerenciador de banco de dados do sistema;
- Internet Information Service (IIS): o IIS é o servidor de aplicações Web da Microsoft e está instalado e configurado no servidor do sistema;
- Internet Explorer: browser para acesso às funcionalidades do sistema. O sistema foi desenvolvido para funcionar no IE 7 e 8;
- Framework .NET 3.5: framework da Microsoft que suporta a aplicação;
- ASP.NET: linguagem em que as páginas Web foram desenvolvidas;
- C#: linguagem em que o código no servidor foi escrito;
- Bibliotecas utilizadas pela aplicação:
  - ✓ ASP.NET MVC: framework .NET para desenvolver aplicações Web seguindo o padrão de modelo, visualização e controle;
  - ✓ Log4Net: biblioteca para logging do sistema;
  - ✓ NVelocity: ferramenta para processamento de templates, utilizada para gerar as páginas da aplicação;
  - ✓ Microsoft Enterprise Library: conjunto de bibliotecas desenvolvido pela Microsoft que contempla entre outras funcionalidades: acesso a dados, cache, controle de exceções e criptografia;
  - ✓ Microsoft Chart Library: biblioteca para que contempla funcionalidades para geração de gráficos;
  - ✓ Castle Windsor: container para realizar injeção de dependência e inversão de controle;
  - ✓ NPOI: biblioteca para geração de relatórios no formato Excel.

\* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

- ✓ JQuery: biblioteca JavaScript cross-browser desenvolvida para simplificar os scripts client side que interagem com o HTML;
- ✓ BEA MessageQ: produto de enfileiramento de mensagens que fornece conectividade para uma ampla gama de plataformas.

#### 4.1.1 Asp.Net Mvc E Suas Camadas

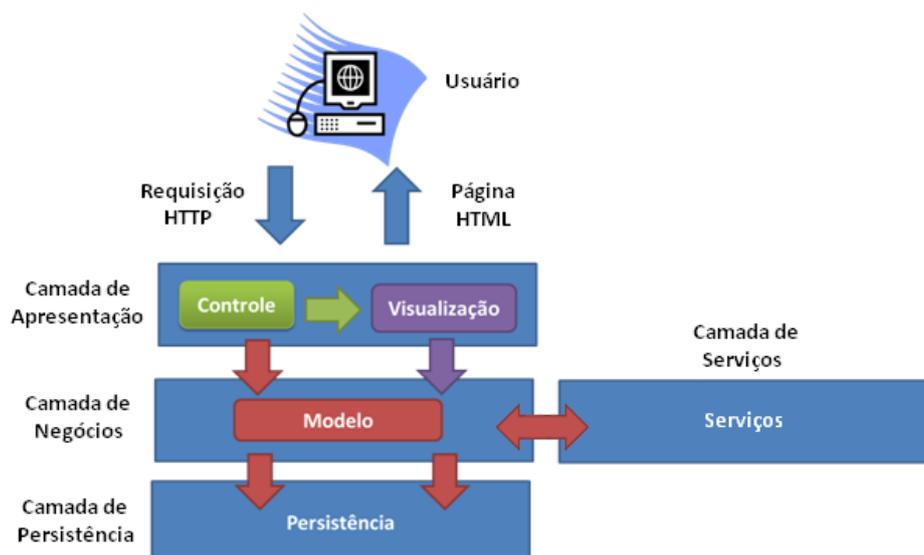
Como o sistema foi desenvolvido utilizando o framework ASP.NET MVC o mesmo possui uma arquitetura Web Componentizada (.NET) dividida em camadas: persistência, negócios, serviços e apresentação. Esta arquitetura segue o padrão MVC (Modelo, Visualização e Controle) e facilita a separação entre as funcionalidades da tela e dos serviços. Isso implica em um maior desacoplamento entre as camadas de negócio e apresentação, o que torna o software mais organizado, fácil de manter e atualizar.



**Figura 9.** MVC - Modelo, Visualização e Controle.

A Figura 99 mostra como é feita a comunicação entre cada parte do padrão MVC. A parte de Visualização apenas acessa o Modelo e é responsável por mostrar as páginas para os usuários. O Modelo contém a parte de lógica de negócios e validação de dados e é acessado pelas partes de Visualização e Controle. O módulo de Controle interage com as partes de Visualização e Modelo para coordenar o fluxo de informação e execução da aplicação.

A Figura 1010 mostra como o padrão MVC se encaixa na arquitetura de camadas.



**Figura 10.** Arquitetura de Camadas.

#### **4.1.1.1 Camada de Apresentação**

A camada de apresentação é responsável por fazer a lógica de construção das páginas para serem exibidas pelos usuários, tratar os eventos do browser, como cliques, e gerenciar o fluxo de execução do sistema. Para isso, a camada de apresentação conta com as partes de Controle e Visualização do padrão MVC.

A parte de lógica da camada de apresentação é dividida entre o cliente (browser do usuário) e servidor. No cliente é utilizado Javascript para validação de dados e construção dinâmica da página, assim como AJAX (Asynchronous Javascript and XML), integrado ao Framework .Net, para realizar requisições de partes da página ao servidor sem que seja preciso recarregar a página inteira.

A comunicação entre as camadas de apresentação e negócios é realizada utilizando a tecnologia WCF (Windows Communication Foundation).

#### **4.1.1.2 Camada de Negócios**

A camada de negócios é responsável pela implementação da lógica da aplicação. Ela expõe os serviços para a camada de apresentação por meio de uma interface bem definida e obtém as informações necessárias para mostrar ao usuário por meio da camada de Persistência.

#### **4.1.1.3 Camada de Serviços**

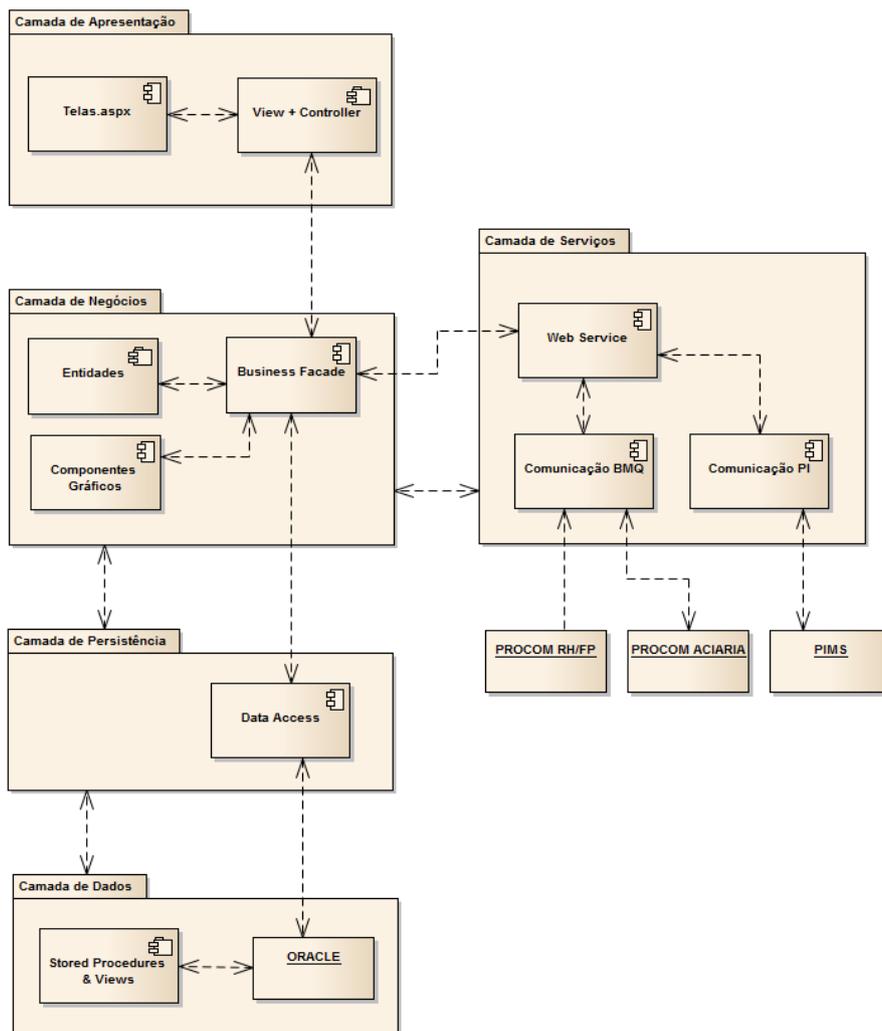
A camada de serviços disponibiliza as interfaces para troca de informações com sistemas terceiros (PROCOM ACIARIA e RH/FP, OSI-PI). Uma vez recebida, a informação é passada para a camada de Negócios e, analogamente, ao se enviar dados para outras aplicações, a informação é passada pela camada de Negócios para a camada de Serviços. Esta camada foi projetada para atender qualquer necessidades futuras da CSN que inclui comunicação direta via Web Service com os PROCOM e outros sistemas.

#### **4.1.1.4 Camada de Persistência**

A camada de persistência é responsável pela lógica de acesso ao banco de dados e pelo mapeamento dos dados em entidades representativas. O objetivo em mapear o banco de dados em entidades representativas ao Sistema de Controle de Painéis foi diminuir a diferença semântica entre o modelo abstrato do banco e o problema do mundo real (o processo da aciaria).

### **4.2 Visão Lógica**

O diagrama apresentado na Figura 1111 mostra a ligação entre os módulos dos sistemas (serviços e subsistemas) e camadas arquiteturas.



**Figura 11.** Diagrama de Visão Lógica.

Os computadores de Processo da Aciaria e RH/FP possuem diversas informações necessárias para o bom funcionamento operacional do SIPAN como, por exemplo, quadro das corridas atualizado, estados das EBs, informação de início de vazamento, entrada e saída das estações RH e FP. Além disso, o PROCOM Aciaria recebe informações importantes para o processo produtivo como alocação de painéis e retirada de painéis enviadas pelo SIPAN.

Uma vez que se faz necessidade de troca de informações o SIPAN possui dois meios de comunicação, via BEA MessageQ (BMQ) e WebService. Qualquer sistema que necessite trocar mensagens pode ser facilmente adicionado e configurado.

## 5 REDE NEURAL PARA CÁLCULO DO ÍNDICE DE ENCHARQUE TÉRMICO

Uma rede neural pode ser definida como uma técnica computacional, pertencente ao campo da inteligência artificial que apresenta um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que são capazes de adquirir conhecimento mediante treinamento. Uma grande rede neural artificial pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento, denominadas neurônios, cujo funcionamento é bastante simples. Tais unidades estão ligadas por canais de comunicação, associados a determinado peso. As unidades, por sua vez, fazem

operações apenas com seus dados de entrada, recebidos por suas conexões. Essas operações podem ser sintetizadas da seguinte maneira:

- Sinais são apresentados à entrada;
- Multiplica-se cada sinal por um número (seu respectivo peso), sinalizando a sua influência na variável de saída;
- Faz-se a soma ponderada dos sinais que produzem um nível de atividade;
- Caso o nível de atividade exceda um determinado limite, a unidade produz uma determinada resposta de saída;

Uma rede neural, quando corretamente alimentada com determinados parâmetros, é capaz de aprender por meio de uma fase de treinamento. Deve-se fornecer os dados de entrada e informar qual seria a saída esperada. Após a fase de aprendizagem, a rede é capaz de reconhecer padrões até então inéditos e fornecer respostas. Uma vez construída uma rede eficiente em dada aplicação, ela pode ser utilizada em aplicações online, sem necessidade de ter sua arquitetura alterada a cada atualização. Basta que a rede seja novamente treinada com base nos novos dados históricos que forem surgindo.

A temperatura do aço na panela exerce grande influência na condução do processo siderúrgico. Se essa temperatura for menor que a estabelecida, a solidificação do aço tem início, o que provoca um corte no processo, alterando o fluxo de produção e ocasionando eventuais perdas de material. O controle da temperatura garante não só a melhoria na qualidade do aço como também redução de custos. Visando um melhor controle do processo, optou-se por implementar uma rede neural utilizando algoritmo backpropagation com o objetivo de determinar a condição térmica da panela, definido como índice de encharque, de forma a estimar as perdas de temperatura do aço para a panela do momento em que o aço é vazado do conversor até o lingotamento contínuo, passando pela estação de refino secundário via EB.

O algoritmo backpropagation é descrito como uma sequência que envolve dois passos: a introdução de um padrão na camada de entrada, obtendo-se a saída correspondente. O próximo passo, denominado backward, a saída é comparada à saída desejada, calculando-se o vetor erro. Com o gradiente desse vetor, atualizam-se os pesos da camada de saída.

Os valores são então propagados para trás, atualizando os pesos das outras camadas. O processo continua até que o erro atinja um valor mínimo especificado na equação (Equação 1):

$$E = \frac{1}{2} \sum XcXj(yj, c - dj, c)^2 \quad (1)$$

E = vetor erro

d = saída desejada

y = saída obtida

c = número de padrões apresentados

j = número de neurônios da camada de saída

O cálculo básico para a correção dos pesos da rede é representado na equação (Equação 2):

$$w_{ij}(x + 1) = w_{ij}(x) + \Delta w_{ij}(x) \quad (2)$$

Em que  $w_{ij}$  são os pesos, e  $\Delta w_{ij} = -\eta \frac{dE}{dw_{ij}}$ , onde  $\eta$  é a taxa de aprendizado e E é a função erro.

A condição térmica de uma panela é representado por um índice de 0 a 100, sendo o valor zero a condição mais crítica, ou seja, onde o aço perde mais energia térmica para a panela, e o valor cem onde o aço perderia menos temperatura enquanto armazenado na panela. Dessa maneira, é possível estimar a melhor panela para

receber o vazamento de aço do conversor, minimizando retornos na produção devido à queda excessiva de temperatura e auxiliando no planejamento de produção.

## 6 BENEFÍCIOS

A implantação do software auxiliou de forma direta na eficácia do processo na Aciaria e podemos listar benefícios qualitativos e quantitativos.

Benefícios Qualitativos:

- O sistema está acessível para visualização na intranet da CSN para todos os usuários, somente digitando “SIPAN” no browser do computador, possui uma interface amigável e de fácil operação, podendo visualizar toda a aciaria em apenas uma tela.
- Parametrização de todos os dados do processo, facilitando a alteração pela operação.
- Controle de acesso feito pela administração do sistema, facilitando o mudança de perfil de acesso por função e permissões dentro do sistema;
- Comunicação com os outros sistemas da aciaria proporcionando um maior volume de informações de processo que influenciam no desempenho dos componentes refratários da panela de aço.
- Animação de sinais eletrônicos dos equipamentos da aciaria (Conversores, RH, FP, EB e MCC) facilitando a tomada de decisão dos ativadores de panela;
- Rastreamento de todas as atividades realizadas nas painéis de aço durante todo o processo, operação e manutenção.
- A manutenção do sistema é de conhecimento total da equipe de Nível 2 da CSN. O sistema antigo atingia em média 150 erros por ano e nenhuma melhoria era feita. O novo sistema de Agosto de 2013 até Maio de 2014 apresentou apenas 60 erros, maioria operacionais e foram corrigidos, e já foram concluídas 15 melhorias.

Benefício Quantitativo:

- Com a estimativa de perda de 1 corrida por ano na aciaria devido a interrupção do antigo sistema de controle de painéis por obsolescência e com o preço do investimento do projeto, o retorno financeiro foi de R\$ 680.000,00 no ano de implantação e R\$ 1.030.000,00 nos anos subsequentes caso não ocorra interrupção no sistema resultando em desvio de corrida.

## 7 CONCLUSÃO

A interação de ferramentas computacionais modernas e experiência de engenheiros e operadores, sem dúvidas, é o caminho mais eficaz para uma produção de sucesso. O sistema de controle de panela vem ao encontro desta trajetória. A partir do rastreamento de panela em todo processo, é possível o acompanhamento do desempenho destas. Baseado nos dados de gráficos e tabelas, as decisões tomadas ficam menos suscetíveis a erros, tornando o procedimento como um todo mais competente.

Em suma, a implantação do SIPAN atuou ativamente na melhoria do processo da Aciaria da CSN, evitando as perdas de produção e otimizando o atendimento aos clientes além de ser uma plataforma moderna em linguagem WEB, facilitando o acesso para operação, desenvolvimento de melhorias e a manutenção do sistema para TI.

---

\* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.