

ATUALIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DE CALDEIRAS ¹

Anderson José da Silveira ²
Eduardo Soares Figueiredo ³
Fernando Issao Yano ³
João Batista Pereira de Assis ⁴
José Amador Ribeiro Ubaldo Filho ⁵
José Geraldo da Silva Moreira ⁵
Vercingetorix Paraiso Dutra ⁶

Resumo

Este artigo apresenta o projeto de Substituição da Automação das Caldeiras 1, 2 e 3 e sistemas auxiliares da Central Termelétrica, de acordo com as normas internacionais de segurança NFPA85, IEC61508 e IEC61511. O projeto foi encerrado em dezembro de 2006, com a implantação de uma nova plataforma de automação para controle e segurança. Todas as transferências para o novo sistema foram realizadas com a planta em operação, sem interrupção do processo produtivo. Foi implantado um sistema PIMS para coleta e registro histórico dos dados de produção, totalmente integrado ao sistema de planejamento da produção da área de Utilidades. Uma pesquisa de opinião foi realizada em janeiro 2007 com a equipe responsável pela operação do sistema, obteve-se um índice de favorabilidade de 74,84%. Além dos resultados mensurados na pesquisa de opinião, foram verificados ganhos adicionais com novas funcionalidades de operação, auditoria e sintonia de malhas, como a redução do consumo específico e o aumento do valor médio da energia gerada no horário de ponta.

Palavras-chave: Caldeira; Segurança; PIMS; Auditoria de malhas.

BOILER AUTOMATION REVAMP

Abstract

This paper informs about automation revamp project for boilers and common systems of thermal-electrical plant at Gerdau Açominas. All system was developed according international rules, NFPA85, IEC61508 and IEC61511. The project was finished in December 2006, introducing a new control and safety automation platform. All system pass, to the new automation platform, was accomplished with plant in operation, without production disturbs. A PIMS system collect and storage production data, it is totally integrated to the Management Execution System of Utility Plant. A public opinion research was worked out in January 2007; it measured operation team satisfaction about the new automation platform, obtaining a favorable rate of 74,84%. Others additional gains were reached in new operation functions, control-loop audit and tuning, reduction of fuel consumption, and increase in energy power generation.

Key-words: Boiler; Safety; PIMS; Control-Loop Audit.

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Estagiário Técnico Manutenção Elétrica – Gerdau Açominas*

³ *Analista de Sistemas Industriais – Gerdau Açominas*

⁴ *Supervisor de Montagem – PSV*

⁵ *Engenheiro de Manutenção - Gerdau Açominas*

⁶ *Supervisor de Montagem - AST*

1 INTRODUÇÃO

A central termoeleétrica é responsável pela produção de vapor, pela geração de energia elétrica e pelo envio de ar soprado para o Alto-Forno. É basicamente composta pelos seguintes equipamentos: três caldeiras com capacidade de 140 ton/h cada, dois turbogeradores com capacidade de 15 MW cada, um turbogerador com capacidade de 25 MW e dois turbosopradores com capacidade de 5300 Nm³/min. As caldeiras utilizam como combustível os gases gerados nas plantas de Alto-Forno, Coqueria e Aciaria, assim como o óleo combustível 2A. Atualmente, a central termoeleétrica possui a capacidade de atender aproximadamente 65% do consumo interno de energia.

As três caldeiras são idênticas, do tipo aquatubular, com queimadores tangenciais modelo VU-60. Foram projetadas pela Combustion Engineering e produzidas pela Companhia Brasileira de Caldeiras (CBC), sob licença da Mitsubishi Heavy industries (MHI). Os equipamentos foram fabricados na metade da década de 70, entraram em operação em Julho de 1986, com o início da operação integrada da usina. Na Figura 1 temos a imagem da região externa da Caldeira 3.

Os equipamentos de controle que foram substituídos na CTE eram da época da construção da Usina, com o início de operação da planta em 1984. Tais equipamentos apresentavam poucos recursos operacionais, dificuldade à implementação de melhorias, dificuldade de manutenção devido à obsolescência, além de não atenderem às mais recentes normas de segurança operacional de caldeiras.

O novo sistema de automação levou à modernização do sistema de controle, adequando-o às normas internacionais NFPA-85 (BMS), e IEC 61508, IEC61511 (SIL 3), o que contribui para o aumento da disponibilidade e segurança operacional. O projeto também realizou melhorias na infra-estrutura de campo, com a instalação de novos sensores, equipamentos, painéis de alimentação e atualização de circuitos de comando motor - CCM.

Todo o processo de migração do sistema de automação foi realizado com as caldeiras em operação, sem interrupção da produção, a não ser para teste do sistema.



Figura 1 – Visão Geral da Caldeira 3.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Gestão do Projeto

A gestão do projeto seguiu a metodologia do Escritório de Projetos da Gerência de Tecnologia da Informação, onde o ciclo de vida de um projeto é mostrado na Figura 2. O projeto está alinhado a um objetivo do Planejamento e Gestão da Estratégia da Gerdau Açominas, o de garantir a estabilidade operacional, com ganhos adicionais de produtividade e atualização tecnológica.



Figura 2 – Estrutura do Gerenciamento de Projetos do EPTI.

A equipe de projeto foi constituída por três analistas de sistemas industriais, um engenheiro de manutenção, dois supervisores de montagem, um estagiário e aproximadamente oito eletricitas e montadores. As equipes de operação e inspeção elétrica tiveram participação efetiva como suporte no planejamento e execução das atividades. Também participaram como apoio as áreas de Suprimentos, Suporte e Tecnologia, Telecomunicações, Engenharia e Manutenção Civil.

O período de migração do sistema de automação das três Caldeiras e Painel Comum foi de seis meses, com um prazo médio de 1,5 meses para substituição de cada subsistema. Durante este período também foram adequados 38 circuitos de gavetas de comando. O projeto foi concluído em dezembro de 2006.

2.2 Estrutura do Sistema

Nos antigos painéis de automação, as lógicas de controle das caldeiras, produção de vapor e segurança eram executadas em controladores single-loops e relés. O novo sistema de automação das caldeiras é constituído por duas plataformas de hardware, divididas em sistema de segurança (BMS – *Burners Management System*) e sistema de controle (CCS – *Combustion Control System*).

O sistema de segurança possui como plataforma o PLC de Segurança SIL3, que realiza as funções gerenciamento dos queimadores e intertravamento. Fazem parte do BMS as lógicas de teste de estanqueidade, de purga, do acendimento do piloto, da variação de carga e troca de combustível. O intertravamento verifica as condições para partida, parada, e trip da caldeira.

A plataforma do sistema de controle é composta por DCS – *Digital Control System*, responsável por todas as malhas de controle e sistemas auxiliares. Os sistemas de segurança e controle são independentes por caldeira, mas interligados em uma única rede de controle e plataforma de supervisão.

A arquitetura do sistema de automação, representada na Figura 3, é redundante na sua alimentação (pela concessionária / geração interna e pelo no-break), no seu processamento, na sua rede de controle e nos cartões de saída do sistema de segurança. A alimentação redundante permitiu reduzir o risco de falta do sistema por alimentação devido à falha na atuação da chave estática do no-break. O PLC de Segurança é certificado SIL 3 e os sinais de segurança necessários a mais de um controlador são duplicados e distribuídos eletricamente, o intertravamento é independente da rede de controle.

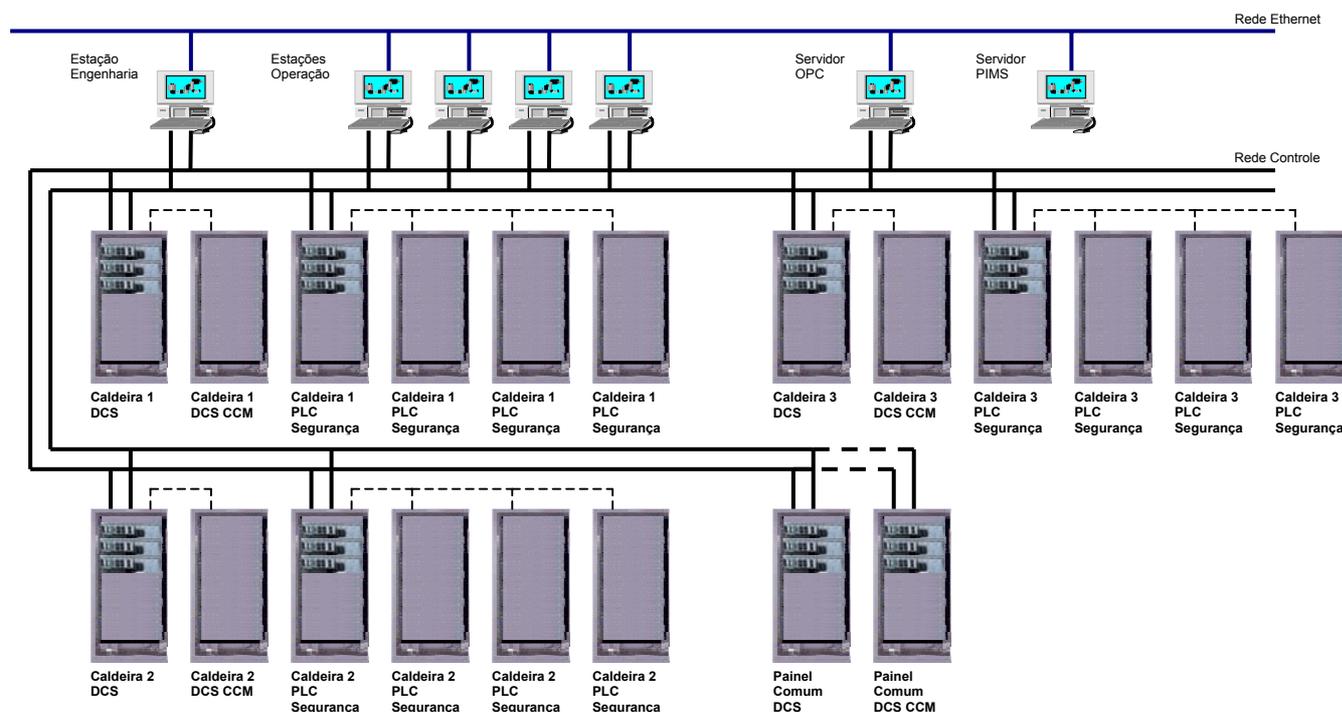


Figura 3 – Arquitetura do novo sistema de automação.

O sistema de automação possui no total 2046 pontos, sendo 993 do sistema de controle e 1053 do sistema de segurança. São 226 entradas analógicas, 80 saídas analógicas, 1126 entradas digitais e 614 saídas digitais.

2.3 Estratégia de Migração

A estratégia de migração buscou soluções para atender a substituição do sistema de automação, com as caldeiras em operação, e minimizar as dificuldades inerentes à mudança cultural, esperadas devido à substituição de um sistema de automação que operava há 21 anos.

As implicações da mudança de cultura foram acompanhadas durante todo o projeto através de reuniões periódicas, com as equipes de operação e inspeção elétrica. Foram pontos de atenção a absorção da tecnologia digital, o tempo de resposta da operação à dinâmica do processo no novo sistema, a manutenção do equipamento e a manutenção das lógicas de controle. Estas questões foram mitigadas com as seguintes ações:

- Envolvimento das equipes de operação e inspeção durante o período de teste da engenharia do sistema.

- Treinamento da equipe de operação no sistema de supervisão e na filosofia das novas malhas de controle.
- Treinamento da equipe de inspeção elétrica na manutenção dos equipamentos e desenvolvimento de lógicas.
- Acompanhamento diário do plano de migração, com revisão das atividades, para transferência parcial e “a quente” de todas as malhas de controle e intertravamentos. Esta estratégia permitiu a absorção gradativa do novo sistema de automação pelas equipes de operação e inspeção elétrica, reduzindo-se o risco de resistência à operação do novo sistema.

Como parte da estratégia da migração “a quente”, aproveitou-se as paradas programadas das três caldeiras no 2º semestre de 2005, conforme exigência do Ministério do Trabalho, para preparação dos sinais de campo.

Todos os cabos de instrumentação das Caldeiras 1, 2 e 3 foram remanejados para uma borneira de rearranjo temporária, retornando desta para os respectivos antigos painéis das caldeiras, conforme ilustrado na Figura 4. Esta montagem permitiu mitigar um problema existente devido à distribuição dos sinais de campo em diversos multicabos, onde os sinais de uma mesma malha de controle ou intertravamento encontram-se em multicabos distintos. A disposição dos multicabos na borneira de rearranjo facilitou a identificação, o trabalho de decapagem e a relocação dos sinais de campo para os novos painéis de automação, durante a migração.



Figura 4 – Borneira de rearranjo e instalação dos painéis automação.

A migração “a quente” também reduziu o risco de retorno à operação dos equipamentos, com a entrada no novo sistema de automação, uma vez que a migração foi realizada de forma individual para cada malha de controle e intertravamento. Isso permitiu reduzir o tempo de indisponibilidade de controle dos equipamentos pelo sistema de automação, e garantiu o teste de cada malha de controle e intertravamento logo após a sua migração para o novo sistema de automação.

Em alguns casos, para a migração de malhas de controle e intertravamentos, foi necessário o retorno de sinais, já migrados para o novo sistema de automação, para os painéis do sistema antigo. Isto permitiu levar, para o novo sistema de automação, cada malha de controle e intertravamento de forma individual, sem comprometer a operação e segurança da caldeira. Durante o período de migração, parte dos controles e intertravamentos da caldeira era realizada pelo antigo sistema e parte pelo novo sistema de automação.

Contribuiu para o sucesso desta estratégia de migração a elaboração de um plano de migração. Este plano contém a programação e contingência de cada atividade. Para acompanhamento deste plano foram realizadas reuniões diárias, no início do expediente. Participaram destas reuniões as equipes de automação, operação e inspeção elétrica, para revisão do planejamento e consolidação das atividades de migração do dia. Durante as reuniões também se focava as atividades planejadas para os dias seguintes, revisando os impactos, riscos e oportunidades provenientes das atividades de migração em andamento.

2.4 Novas Funcionalidades do Sistema

O sistema implantado contribui para a estabilidade do processo, com a redução do número de intervenções manuais, aumento da disponibilidade e confiabilidade dos sistemas de controle e segurança. Dentre outras funcionalidades disponibilizadas, podemos destacar:

Maior visibilidade do processo

Antes: A operação era realizada através de controladores single-loops, responsáveis pelo controle e monitoramento das variáveis do processo de geração de vapor. Estes instrumentos compunham os painéis individuais de cada caldeira, além de um painel de controle para os circuitos comuns às três caldeiras. Para realização de manobras operacionais havia a necessidade de deslocamento ao longo destes painéis.

Depois: Todo o processo das caldeiras é monitorado em um ambiente integrado, com interface dinâmica entre as três caldeiras, que permite realizar todas as manobras necessárias para o controle, com rapidez e agilidade. A interface gráfica foi elaborada conforme padrão de cores e representações gráficas, facilitando a identificação de equipamentos e a identificação de falhas durante as manobras.

Operação automática dos queimadores

Antes: A operação dos 32 queimadores de combustíveis era realizada através do acionamento manual de chaves individuais de liga/desliga, existentes no painel de cada caldeira. O controle da pressão diferencial era manual, através do monitoramento dos limites máximo e mínimo das pressões diferenciais dos combustíveis nas redes de distribuição.

Depois: Com a nova operação, os queimadores são acionados automaticamente. Apagam pela pressão diferencial mínima e acendem pela pressão diferencial máxima, procurando sempre a melhor distribuição térmica na fornalha, automaticamente.

Controle da vazão de ar para combustão

Antes: A vazão de ar para combustão dos gases no interior das Caldeiras era determinada manualmente pelo operador através da abertura dos damper's de ar. A eficiência da combustão era verificada pelo operador através de câmeras de TV, instaladas nas fornalhas, e da medição de O₂ dos gases da saída da fornalha.

Depois: A vazão de ar necessária para a combustão é calculada estequiometricamente e o valor calculado é enviado automaticamente para os controladores de vazão de Ar. O controlador de vazão realiza um ajuste fino da

vazão de ar através do analisador de O₂, busca melhorar a performance da combustão e conseqüentemente a performance da geração de vapor.

Sequência de operação dos queimadores

Antes: A operação dos queimadores obedecia um padrão de seqüência fixa de acendimento / desligamento nos quatro cantos caldeiras, sempre de forma oposta e cruzada.

Depois: A seqüência de operação busca equilibrar o calor produzido em cada canto da caldeira, propiciando a melhor distribuição da carga térmica na fornalha. A seqüência de operação atua preferencialmente no acendimento dos queimadores inferiores e nos cantos com menor calor, e de modo inverso, atua apagando os queimadores superiores nos cantos com maior calor.

Maior rastreabilidade do processo

Antes: Os registros de algumas variáveis do processo eram realizados individualmente em cartas gráficas, ou por registradores. Os registros eram coletados periodicamente e arquivados por tempo indeterminado.

Depois: O registro de todas as variáveis analógicas do processo é realizado pelo sistema PIMS, com o armazenamento em um banco de dados histórico de longa duração. Este sistema possui ferramentas que permitem fácil pesquisa e análise das variáveis desejadas, com acesso por qualquer estação da rede corporativa.



Figura 5 – Visão do antigo sistema de automação em contraste com o novo.

2.5 Auditoria de Malhas

Foi realizada a auditoria das principais malhas, visando monitorar o desempenho das novas filosofias de controle adotadas. A qualidade da sintonia destas malhas contribui para que atingíssemos a estabilidade do novo sistema de controle em um curto prazo. Controladores bem sintonizados reduzem a intervenção manual pela operação, reduzem a variabilidade de processo e, conseqüente, aumentam a estabilidade operacional.

A auditoria foi realizada para as seguintes malhas de controle: nível do tubulão, vazão água de alimentação, pressão da fornalha, temperatura do vapor, pressão de ar total, vazão de ar para combustíveis COG e óleo, vazão de ar para combustíveis BFG e BOFG, vazão de BOFG, produção de vapor, pressão do coletor de 60Kg. Apesar de não possuir um controlador, também foi monitorada a pressão do tubulão, por refletir a dinâmica das três caldeiras. Através da auditoria foi possível identificar

as malhas de controle com maior influência para estabilidade do processo, sendo assim possível priorizar os esforços na sintonia destes controladores.

A metodologia para resintonia dos controladores consistiu na modelagem da malha, através da técnica de Mínimos Quadrados, e na aplicação de técnicas de sintonia de controladores, como Ziegler Nichols e IMC. O processo foi aplicado às malhas de combustão, orientado pelos seguintes passos: 1º Passo - coleta de dados para escolha da correta da taxa de amostragem – aplicação de um sinal PRBS (*Pseudorandom Binary Sequence*). 2º Passo - coleta de dados para geração de modelos por Mínimos Quadrados, e validação dos mesmos. 3º Passo - aproximação do sistema identificado por uma planta de primeira ordem mais atraso. 4º Passo - cálculo dos ganhos propostos por ZN e IMC, com simulação da resposta ao degrau e rejeição de perturbação, conforme mostrado nas Figuras 6 e 7. 5º Passo - implementação dos melhores ganhos e realização de ajuste fino.

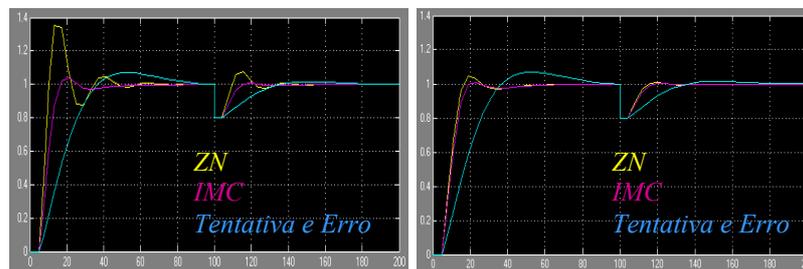


Figura 6 – Simulação da resposta ao degrau e da resposta à rejeição de perturbações.

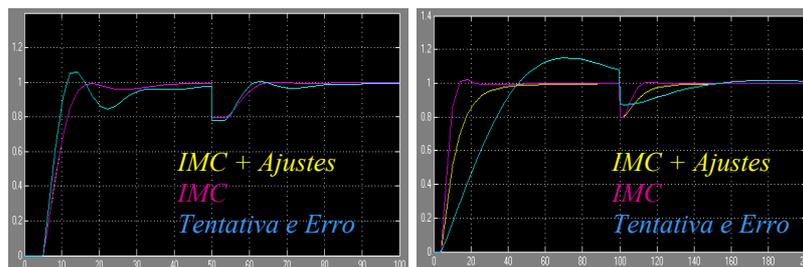


Figura 7 – Simulação da resposta aos melhores ganhos.

Utilizando-se desta metodologia, foram resintonizados 24 controladores da malha de combustão, nas três caldeiras. Após a implementação dos novos ganhos calculados, a equipe de operação relatou que o controle da planta passou a atuar “mais rápido”, preservando a estabilidade do processo. A melhora na qualidade do controle pode ser comprovada, empiricamente, com a redução do valor do erro médio da pressão do coletor de 60Kgf/cm² em 13,5%, reduzindo de 0,339Kgf/cm² para 0,293Kgf/cm².

A melhora da estabilidade operacional também pode ser verificada através da redução do tempo médio em que a malha encontra-se em alarme, reduzindo de 1,17% (16,8 minutos por dia) para 0,53% (7,64 minutos por dia). Gerou-se uma redução do tempo médio em alarme na ordem de 54,5%.

2.6 PIMS

O sistema PIMS atende o registro histórico de todas as variáveis analógicas do processo, a emissão de relatórios de produção, ferramentas para gestão de KPIs (*Key Performance Indicator*) e despacho de gases dos gasômetros para as

caldeiras, além de estar totalmente integrado ao sistema MES, responsável pela gestão do planejamento da produção da área de Utilidades.

A ferramenta de gestão dos KPIs disponibiliza as seguintes informações: efetividade das caldeiras, obtida pela aplicação dos métodos direto e indireto, efetividade do pré-aquecedor regenerativo, efetividade do pré-aquecedor de ar a vapor, efetividade do pré-aquecedor de água para a caldeira, pressão do vapor de alta pressão, temperatura do vapor de alta, pressão do vapor de baixa pressão, temperatura do vapor de baixa pressão. Esta ferramenta permite acompanhar e avaliar, via gráfico de tendência, os rendimentos de cada equipamento da planta. Esta análise pode auxiliar a programação de manutenções preventivas, propicia estudo para operação dos equipamentos em seu melhor rendimento, etc. Algumas telas desenvolvidas para acompanhamento dos KPIs são mostradas na figura 8.

A ferramenta de despacho dos gases combustíveis busca definir, ao longo do dia, de forma on-line e automática, a vazão dos gases BOFG, BFG e COG para as caldeiras. Atende o pré-requisito de elevação dos níveis dos gasômetros do Alto-Forno e Coqueria fora do horário de ponta, para que, durante o horário de ponta, tenha-se maximizada a geração elétrica.

A plataforma do sistema PIMS é constituída por três servidores, um para a comunicação OPC, um para o banco de dados histórico e outro para a sua publicação na intranet, no formato web.

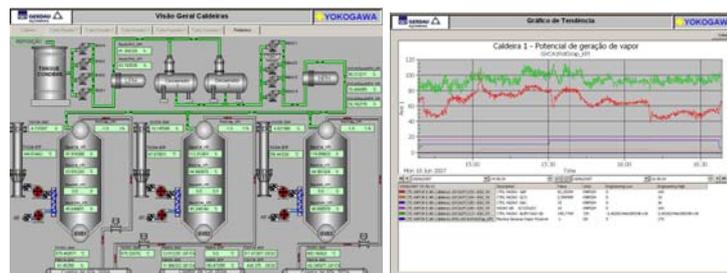


Figura 8 – Tela da ferramenta de gestão dos KPIs.

3 RESULTADOS

3.1 Índice de Favorabilidade

Uma pesquisa de opinião foi realizada com a equipe responsável pela operação do sistema. Foi obtido um índice de favorabilidade de 74,84%, consideraram-se notas favoráveis aquelas superiores à pontuação 7,0. Em 96,53% das respostas o novo sistema foi avaliado como igual ou superior ao sistema anterior. Questões interessantes foram observadas, como a favorabilidade de 93,75% para a continuidade do processo de substituição da automação das demais plantas da área de Utilidades, como Turbosopradores, Turbogeneradores, Desmineralização e ETA.

O questionário foi composto por nove questões de múltipla escolha, abordando os temas: sistema de automação, equipe de automação, treinamento e avaliação geral, e por nove questões de pontuação aberta, sobre o desempenho dos seguintes controles: controle do nível do tubulão, pressão da fornalha, temperatura do vapor, relação ar x combustível, operação dos queimadores, pressão do tubulão, produção no horário de ponta, produção fora do horário de ponta e pressão do coletor de 60Kg.

Foram respondidos 16 questionários, pelos operadores e facilitador da produção, durante o período 22 e 24 de janeiro de 2007.

3.2 Redução do Consumo Específico

Os novos controles e funcionalidades disponibilizados levaram à redução do consumo específico das caldeiras. Observou-se a redução do consumo específico médio ponderado de 3,1% para a Caldeira 1, 6,6% para a Caldeira 2 e 2,5% para a Caldeira 3. Para a faixa de operação entre 119 e 130 ton/h, em que as caldeiras operaram a maior parte do tempo, o consumo específico da Caldeira 1 reduziu em 2,9%, o da Caldeira 2 em 5,7% e o da Caldeira 3 em 2,6%.

A melhoria também pode ser qualitativamente comprovada pela diminuição do teor de oxigênio em excesso nos gases de exaustão das caldeiras.

A massa de dados utilizada para esta análise compreendeu 05 meses antes do início da migração e 3 meses após concluída a migração.

3.3 Aumento da Geração Elétrica no Horário de Ponta

Foi verificado um ganho adicional com o aumento do valor médio da energia gerada no horário de ponta. Este resultado foi obtido com a implantação da malha de controle da válvula de alívio de vapor de 12Kg para a atmosfera, em função das extrações dos Turbogeneradores 1 e 2.

Portanto, obtivemos um acréscimo na geração elétrica no horário de ponta da ordem de 0,3 MW/h, totalizando 0,9 MW/dia, conforme mostrado na Figura 9.

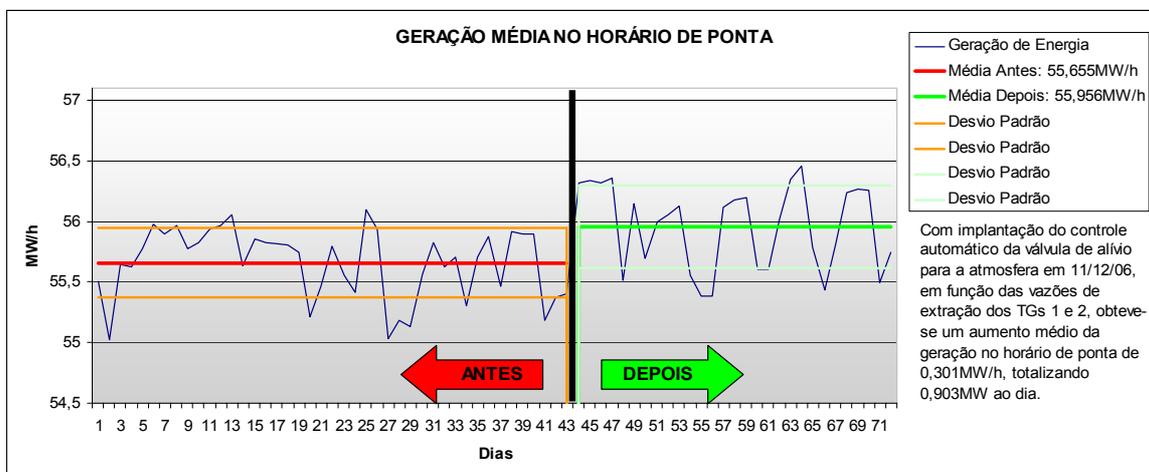


Figura 9 – Gráfico da geração energética média no horário de ponta.

4 CONCLUSÃO

Os ganhos com a atualização do sistema de automação das caldeiras são perceptíveis e mensuráveis. O sistema de controle aumentou a estabilidade do processo de combustão, possibilitando trabalhar com um menor valor de “excesso de ar”. O sistema de segurança, por sua vez, aumentou a confiabilidade e disponibilidade do sistema, e também automatizou procedimentos operacionais como: partida e parada das caldeiras, purga, troca de combustível e variação de carga.

O projeto atendeu os objetivos de garantir a estabilidade operacional, com ganhos adicionais de produtividade e atualização tecnológica. Também realizou mudança cultural de forma consciente e planejada, facilitando a continuidade do processo de substituição da automação nas demais plantas da área Utilidades.

BIBLIOGRAFIA

- 1 FONSECA, A.P., FIGUEIREDO, E.S., YANO, F.I., UBALDO FILHO, J.A.R., MOREIRA, J.G.S., Algoritmo Para Sequenciamento De Acendimento E Distribuição De Carga Térmica Entre Os Cantos De Uma Caldeira De Queimadores Tangenciais. X Seminário de Automação de Processos da ABM, 4 a 6 de Outubro de 2006, Belo Horizonte – MG - Brasil.