

ALGORITMO PARA SEQUENCIAMENTO DE ACENDIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE CARGA TÉRMICA ENTRE OS CANTOS DE UMA CALDEIRA DE QUEIMADORES TANGENCIAIS ¹

Antonio Pereira da Fonseca ²

Eduardo Soares Figueiredo ³

Fernando Issao Yano ⁴

José Amador Ribeiro Ubaldo Filho ⁵

José Geraldo da Silva Moreira ⁶

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar a estratégia de operação automática dos queimadores tangenciais das caldeiras aquatubulares da Gerdau Açominas. Estes tipos de caldeiras permitem queimar óleo combustível e os vários gases do processo siderúrgico, em uma grande quantidade de possíveis combinações de queimadores, as quais resultariam em várias possibilidades de geração do vortex que se forma no interior deste tipo de fornalha. A estratégia proposta busca regularizar a formação do vortex, com conseqüentes ganhos na eficiência da mistura ar/combustível, na uniformização do fluxo de calor para as paredes da fornalha, na redução de emissões poluentes e dos desgastes das paredes e estrutura da fornalha.

Palavras-chave: Caldeira; Queimador; Tangenciais; Automação.

Abstract

This paper aims to give an overview about the automatic operation of the water tube boiler tangential burners installed at Gerdau Açominas steel plant. These types of boilers are able to burn oil and industrial gases provenient from the steel making process using various combinations of burners, which would result in some possibilities of vortex to be formed in the interior of the boiler furnace.

The strategy proposed aims to regularize the vortex formation, with consequent benefits in the efficiency of the air/fuel rates, uniformization of the heat flow for the furnace walls, reduction of pollutant emissions, minimizing slugging of the walls and stress of the furnace structure.

Key words: Boiler; Burner; Tangential; Automation.

¹ *Contribuição técnica a ser apresentada no X Seminário de Automação de Processos da ABM, 4 a 6 de Outubro de 2006, Belo Horizonte – MG - Brasil.*

² *Auxiliar Técnico em Central Térmica - Gerdau Açominas*

³ *Analista de Sistemas Industriais – Gerdau Açominas*

⁴ *Engenheiro de Projetos – Yokogawa América do Sul*

⁵ *Analista de Sistemas Industriais – Gerdau Açominas*

⁶ *Engenheiro de Manutenção Sr - Gerdau Açominas*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral da Central Termoelétrica da Gerdau Açominas

A central termoelétrica da Gerdau Açominas 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: 3 caldeiras com capacidade de 140 ton/h cada, 2 turbogeradores com capacidade de 15 MW cada, 1 turbogerador com capacidade de 25 MW e 2 turbosopradores com capacidade de 5300 Nm³/min. Os gases gerados nas plantas de Alto-Forno, Coqueria e Aciaria, e o óleo combustível 2A são queimados nas caldeiras para a geração de vapor. O vapor gerado é utilizado para movimentar as turbinas dos geradores e sopradores.

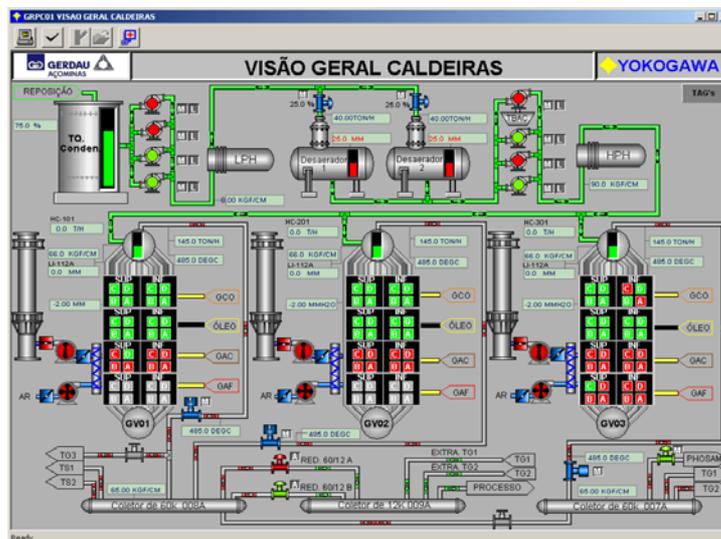


Figura 1. Diagrama esquemático do Processo da Central Térmica.

1.2 As caldeiras da Gerdau Açominas

As caldeiras da Gerdau Açominas são tipo aquatubular, com queimadores tangenciais modelo VU-60. As caldeiras 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, entrando em operação em Julho de 1986 com o início da operação integrada da usina.

As caldeiras aquatubulares caracterizam-se pela produção de vapor dentro de tubos que interligam 2 ou mais reservatórios cilíndricos horizontais, conforme figura 2 apresentada abaixo:

- tubulão superior, reservatório onde se dá a separação da fase líquida e do vapor,
- tubulão inferior, reservatório onde é feita a decantação e purga dos sólidos em suspensão.

As caldeiras de tubos curvados, que interligam os balões, proporcionam o arranjo e projeto de uma câmara de combustão completamente fechada por paredes de água, com capacidades praticamente ilimitadas.

Em relação ao modo de transferência de calor no interior deste tipo de caldeira, existem normalmente duas secções:

- a secção de radiação, onde a troca de calor se dá por radiação direta da chama aos tubos de água, os quais geralmente delimitam a câmara de combustão.

- a secção de convecção, onde a troca de calor se dá por convecção forçada, dos gases quentes que saíram da câmara de combustão atravessando um banco de tubos de água.

O funcionamento ideal visa a combustão completa na região da fornalha, e que somente os gases resultantes da combustão cheguem à região de convecção. É de grande importância ao desempenho da caldeira a dinâmica dos gases na câmara de combustão.

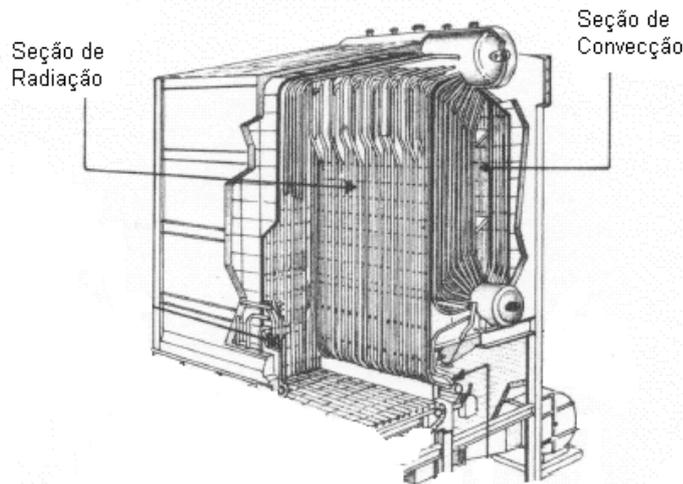


Figura 2. Diagrama Básico de Uma caldeira Aquatubular.

1.3 Fornalhas com queimadores tangenciais

Fornalhas com queimadores tangenciais (TFF - Tangentially-Fired Furnaces) são normalmente na forma de polígonos com quatro, seis, oito ou mais lados. Nestas fornalhas, o combustível e o ar admitidos entram através de queimadores localizados nos cantos da fornalha. Devido a esta distribuição dos queimadores, as chamas geradas tangenciam um círculo imaginário no meio da fornalha. Esta forma construtiva faz com que as chamas tenham um movimento rotativo na forma de vortex (ciclone).

Nos últimos anos, as fornalhas com queimadores tangenciais foram usadas extensivamente em todo o mundo, incluindo unidades de pequena e alta capacidade. Estas fornalhas são apropriadas para operarem com diversos tipos de combustíveis, incluindo o carvão, o óleo, e gases combustíveis. As vantagens principais de TFFs são:

1. Mistura eficientemente os combustíveis, devido ao vortex. O fluxo de gases criado pelo vortex permite a rápida mistura entre combustível e ar. A interação da mistura com as chamas, assegura uma combustão completa e com distribuição de temperatura uniforme.
2. Fluxo uniforme de calor às paredes da fornalha, conseqüentemente, falhas devido a stress térmico seriam evitadas.
3. O movimento do Vortex no centro da fornalha impede ou minimiza o slugging das paredes da fornalha, que seria a erosão devido ao choque dos gases e superaquecimento local.
4. As emissões de NOx possuem aproximadamente metade dos valores das emissões de sistemas com queimadores diretos sobre parede.

5. A técnica de queimadores tangenciais é caracterizada por baixas perdas de carbono (normalmente abaixo de 1%) e uma maior adaptabilidade para a combustão de combustíveis “difíceis” (por exemplo, combustíveis com poder calorífico baixo, alto conteúdo de cinzas ou baixa volatilidade).

Uma das desvantagens dos sistemas de queimadores tangenciais é que qualquer problema que ocorra em algum queimador altera a dinâmica do vortex de fogo, e afetará negativamente as trocas de calor e o rendimento da caldeira.

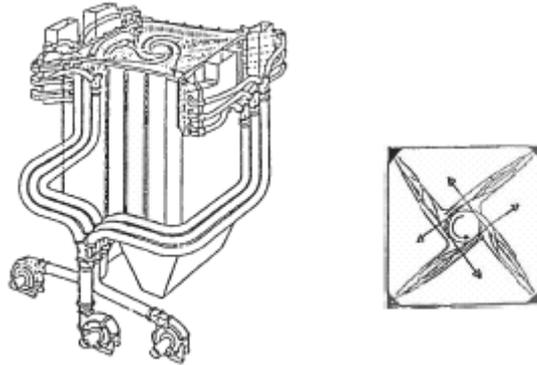


Figura 3. Fornalha com queimadores tangenciais.

1.4 Os queimadores das caldeiras da Gerdau Açominas

Como mencionado anteriormente, as caldeiras geram vapor utilizando os gases resultantes do processo siderúrgico (GCO, GAF e GAC) e também óleo combustível. Para tanto são dispostos dois queimadores de cada combustível por canto da caldeira, resultando em 32 queimadores para os 4 combustíveis nos 4 cantos da caldeira.

Como podemos perceber, este arranjo permite uma infinidade de combinações de queimadores, as quais resultariam em várias possibilidades de formação do vortex central da fornalha. As diversas combinações implicam em diferentes condições de troca de calor e stress térmico das paredes e estrutura da fornalha.

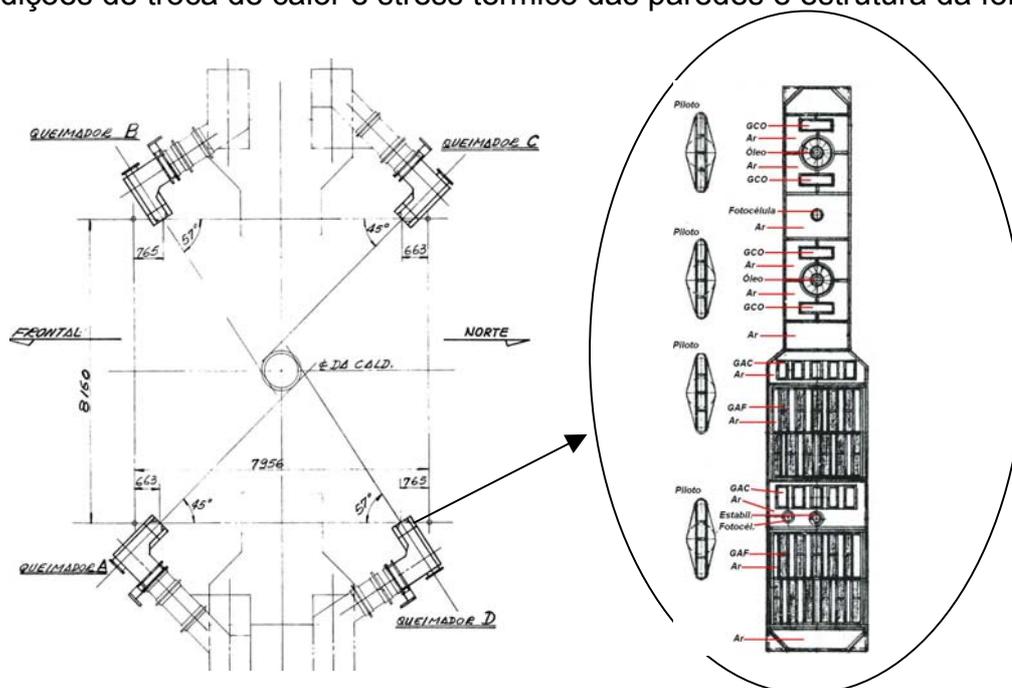


Figura 4. Caixa de ar dos queimadores da caldeira

1.5 Histórico – como era a operação anterior

A definição da quantidade de queimadores acesos tem como objetivo garantir a estabilidade da pressão diferencial entre o barrilhete de gás, que está localizado à montante dos queimadores, e a fornalha, que está à jusante. Desta forma, conseguiríamos para cada queimador vazões e comprimentos de chama também bastante uniformes.

No projeto original das caldeiras, a operação dos queimadores era feita por meio da atuação dos operadores em válvulas manuais de combustível e ar, toda vez que a pressão diferencial ficasse fora dos limites desejáveis de operação.

Desde o início, esta condição não se mostrou adequada às necessidades operacionais da área de utilidades, uma vez que as caldeiras são responsáveis por absorver as variações de produção de gás de aciaria. Há recuperação de gás de aciaria durante o sopro nos convertedores, aproximadamente duas vezes a cada hora. Com a necessidade de se queimar gás de aciaria, os operadores são obrigados a reduzir o consumo dos demais gases, o que resultava em um grande número de intervenções manuais.

Substituiu-se então, no fim da década de 80, as válvulas de atuação manual dos queimadores por válvulas pneumáticas, comandadas remotamente por meio de chaves localizadas no painel de operação central das caldeiras. Esta alteração aliviou os operadores das manobras manuais nas válvulas de campo, mas ainda era necessário um grande número de comandos nas válvulas dos queimadores.

Neste sistema, devido à grande quantidade de queimadores, os operadores procuravam seguir uma seqüência de acendimento, normalmente na ordem ACBD conforme figura 4. Dentro do que é razoável para uma operação manual, procuravam interpretar as interações entre os combustíveis e distribuir os queimadores evitando concentração em alguns cantos.

Nos critérios antigos, não se levava em consideração as potências ou vazões dos queimadores, ou seja, um queimador de GAF tem uma potência 3 vezes superior à potencia de um queimador de GAC. Na interpretação rápida dos operadores, os dois combustíveis possuem potencias equivalentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Medição

Para garantir que com a entrada de combustível e ar haverá o acendimento dos queimadores principais, existem queimadores piloto (figura 4) alimentados com gás de coqueria. Os queimadores piloto ficam constantemente acesos.

Para atender os critérios de segurança exigidos às instalações em caldeiras, foram utilizados elementos finais de controle pneumáticos, com retorno por mola e verificação de posição por meio de chaves limite.

2.2 Arquitetura

A plataforma do sistema de automação das caldeiras é mostrada na figura 5, abaixo. Para as malhas de controle é utilizado o DCS Centum CS3000 e para a lógica de intertravamento e segurança é utilizado o PLC de segurança Prosafe_RS, certificado SIL 3, ambos sistemas da empresa Yokogawa. Entradas digitais e analógicas, necessárias a ambos sistemas, são duplicadas e enviadas ao DCS e

Prosafe. Não há troca de sinais utilizados no intertravamento por meio de redes de controle.

O algoritmo proposto, por estar totalmente integrado ao BMS (Burners Management System) foi implementado no Prosafe-RS.

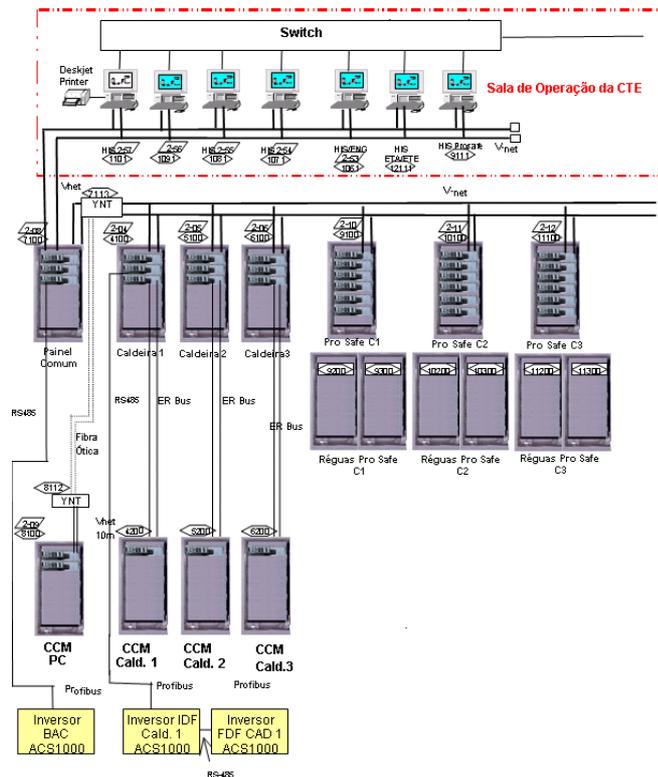


Figura 5. Arquitetura do Sistema de Automação das Caldeiras

2.3 Tratamento Matemático

Para decisão do próximo queimador a ser aceso ou apagado, é necessária a definição de um critério de ponderação, levando em consideração os queimadores já em operação. Duas opções nos pareceram razoáveis neste momento:

- Utilizar as vazões volumétricas dos combustíveis e ar, tendo como objetivo uniformizar a movimentação dos gases e a conseqüente formação do ciclone, melhorando a mistura ar/gás.
- Utilizar as potências dos queimadores, tendo como objetivo uniformizar as temperaturas nos cantos e, portanto, reduzindo as deformações da fornalha.

Com base nestes critérios obtivemos a tabela abaixo:

Combustível	Potência kcal	Vazão Combustível Nm ³ /h	Vazão Ar Nm ³ /h	Vazão Total Nm ³ /h	Peso Potência	Peso Vazão
GAC	3390	1970	3940	5910	1	1
GCO	6187	1400	7000	8400	1,83	1,42
GAF	9500	11875	11875	23750	2,80	4,00
CQI(atomizado)	10625	47,47	14500	14547,4	3,13	2,46

Optamos por preparar o sistema para as duas possibilidades, o critério de acendimento pode ser alterado desde que solicitado pela operação. Atualmente,

para facilitar a assimilação dos operadores, disponibilizamos apenas o critério de ponderação por potência dos queimadores.

2.4 Lógica Implementada

Uma vez definido o critério a ser utilizado, basta somarmos os queimadores acesos para obtermos a pontuação de cada canto da caldeira. O canto prioritário para acendimento é aquele de menor pontuação, e para apagamento o de maior pontuação. Caso não haja queimadores disponíveis no canto prioritário, opta-se pelo de prioridade imediatamente inferior. O fluxograma da figura 6 ilustra de forma detalhada a lógica implementada.

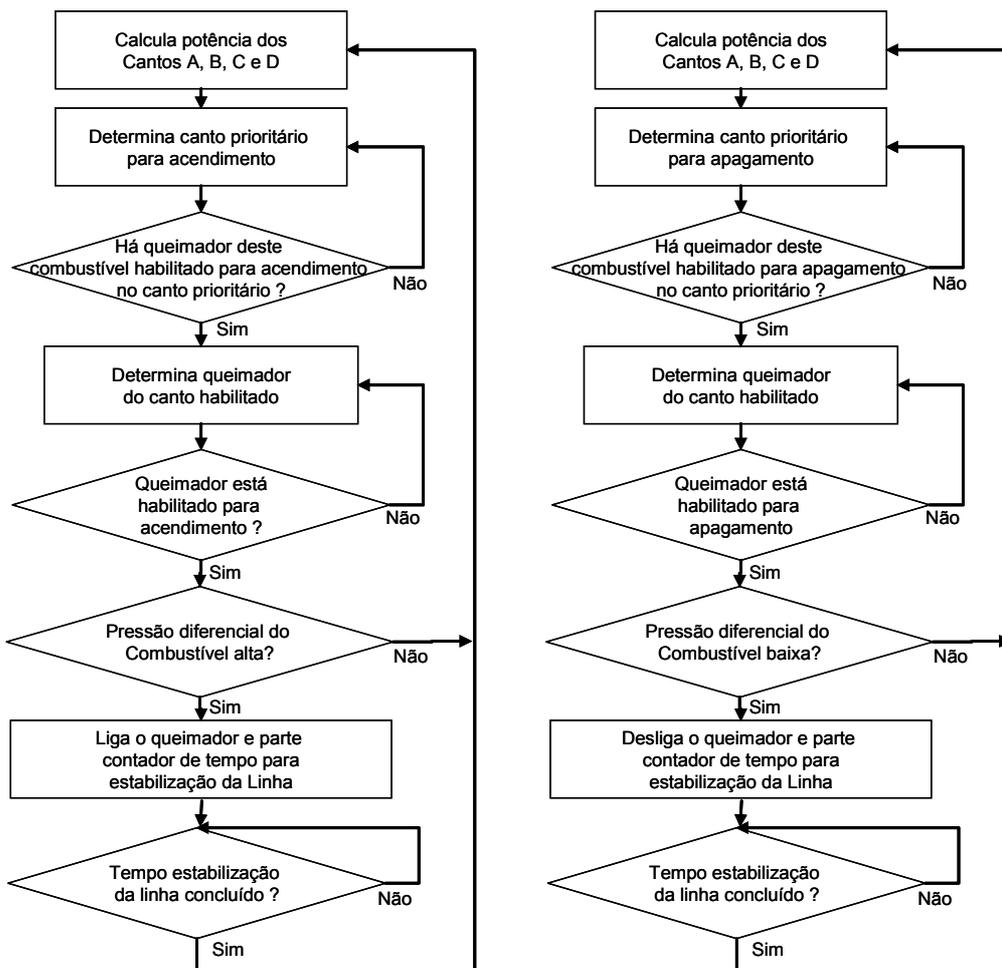


Figura 6. Fluxograma com os critérios de acendimento e apagamento dos queimadores

2.5 Interface Homem Máquina

Foi disponibilizado para os operadores a operação individual de cada queimador. Pode-se selecionar para cada queimador as condições de aberto, fechado ou automático. Apenas na condição de automático o queimador é comandado pelo algoritmo de controle. Desta forma, foi preservada para a operação, a possibilidade de comandar rapidamente os queimadores em situações de redução ou elevação rápida da carga da caldeira.

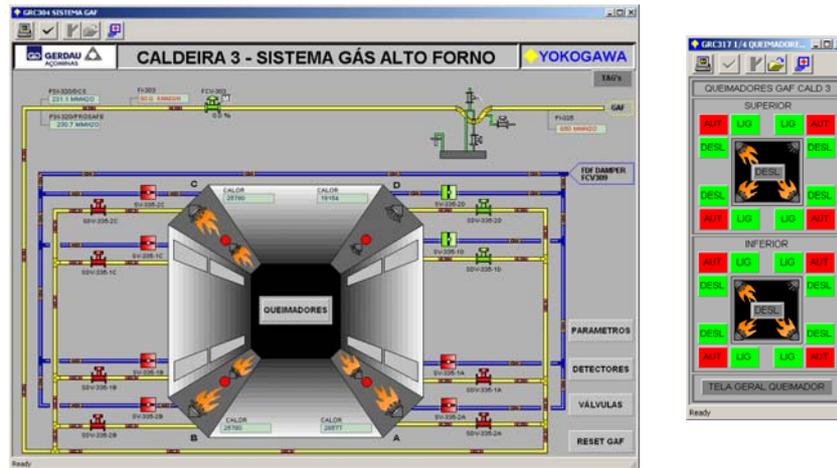


Figura 9. Tela e pop-up utilizados na operação dos queimadores

2.6 Trabalhos Futuros

Conforme exposto anteriormente, está disponível, para a equipe de operação, apenas o critério de seleção de prioridade baseado na ponderação por potência dos queimadores. Deverão ser realizados testes futuros para o critério de seleção de prioridade baseado na vazão, para definição do critério mais eficiente após análise dos resultados obtidos.

3 RESULTADOS OBTIDOS/ESPERADOS

A implantação do algoritmo para sequenciamento do acendimento/apagamento dos queimadores e equalização da distribuição de carga térmica na caldeiras teve reflexo imediato na operação do equipamento, trazendo os seguintes benefícios:

- Redução do número de intervenções do operador, reduzindo a probabilidade de erro operacional e aumentando a sua disponibilidade para acompanhamento do processo produtivo.
- Operação mais suave do processo com melhoria nos controles de vazão de combustível, vazão de ar e pressão da fornalha. Anteriormente era comum o operador abrir ou fechar vários queimadores simultaneamente, às vezes apenas por comodidade, o que causava perturbações bruscas nas variáveis e controles diretamente relacionados. Com a automatização o tempo de estabilização da pressão é sempre aguardado entre a abertura de dois queimadores, gerando um comportamento mais linear e facilitando o controle das variáveis relacionadas.

No que diz respeito à eficiência da caldeira, ainda não foi concluída a avaliação quantitativa do novo modo de operação. Os resultados qualitativos apontam para os seguintes ganhos:

- Melhoria do contato entre o combustível, ar, e sua interação com as chamas no interior da fornalha, contribuindo para uma combustão completa e redução das queimas secundárias na região de convecção.
- Redução do stress térmico das paredes e da estrutura da fornalha, devido ao fluxo uniforme de calor .
- Redução do slugging das paredes da fornalha, com conseqüente redução da erosão devido ao choque dos gases e superaquecimento local.
- Redução das emissões de NOx.

4 CONCLUSÃO

O algoritmo para sequenciamento de acendimento e distribuição da carga térmica entre os cantos da caldeira resultou em um novo paradigma na forma de operação. O tempo que antes era dispendido na manobra manual dos queimadores, hoje pode ser utilizado na observação e melhoria da dinâmica das chamas no interior da fornalha, e de seu reflexo no rendimento das caldeiras.

As ferramentas desenvolvidas e disponibilizadas vieram atender necessidades identificadas pelas equipes de operação, suportando o cumprimento de metas operacionais estabelecidas.