

AÇÕES PARA GARANTIR O SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA E UTILIDADES DURANTE A FASE DE *START UP* E DE OPERAÇÃO REGULAR DO COMPLEXO SIDERÚRGICO DA TKCSA (THYSSENKRUPP – COMPANHIA SIDERÚRGICA DO ATLÂNTICO) ATRAVÉS DO MODO DE OPERAÇÃO EM ILHA¹

Bernardo Matoso T. Vianna²
Claudio Sobreira Viana³
Daniel Vaz⁴
Fabrício Cesário⁵
José Antônio Pereira⁶
Marcus Vinícius O. Gimenez⁷
Ricardo Pasotto⁸
Roberto Soares Freitas Neto⁹
Werner Riederer¹⁰

Resumo

Na TKCSA, a área de distribuição de energia elétrica e de utilidades tem um papel muito importante nos processos de produção. No setor elétrico podemos dizer que este departamento é responsável pela operação do sistema de distribuição de energia elétrica, garantindo o recebimento, a transformação e o fornecimento deste insumo para a operação regular e estável dos equipamentos elétricos dos processos siderúrgico, sendo outra importante atribuição do setor de energia elétrica a garantia do fornecimento contínuo de eletricidade para o complexo, mesmo com a falta da mesma pela rede externa, uma vez que os processos de Alto Forno, Aciaria e Lingotamento Contínuo não podem sofrer interrupções abruptas. Este fornecimento contínuo de energia é garantido pelo Modo de Operação em Ilha, o qual visa sempre garantir o suprimento de energia elétrica oriundo da Central Termoelétrica para moto-soprador(es), sistema de distribuição de gases criogênicos, combustíveis de processo, vapor e distribuição interna de energia e de água industrial para o complexo siderúrgico. Durante a fase de *start up* e de operação regular do complexo, estes dois sistemas de distribuição (energia elétrica e utilidades) operam interligados e são mantidos em operação pelo Modo de Operação em Ilha, sendo garantido pela operação permanente do sistema de geração de energia elétrica da Central Termoelétrica. Este trabalho apresenta como este conceito foi desenvolvido, testado e implementado na TKCSA.

Palavras-chave: Distribuição; Energia elétrica; Utilidades modo ilha.

ACTIONS TO ENSURE THE POWER AND UTILITIES SUPPLYING DURING THE START-UP AND REGULAR OPERATION OF THE TKCSA STEEL COMPLEX THROUGH ISLAND OPERATION MODE

Abstract

At TKCSA, the Energy & Media Distribution has an important function in the production processes. The electrical department is responsible for the power system operation, ensuring the receiving, transformation and supplying of this media for the regular and stable operation of the electrical equipments of the steel processes, and another important assignment of the electrical power sector is to guarantee the continuous power supply for the complex, even in case of interruption caused by the external grid, since the Blast Furnace, Steel Making and Continuous Casting cannot be interrupted abruptly. This continuous supply of energy is guaranteed by the Island Operation Mode (IOM), which always aims to ensure the supply of electricity from the Power Plant for the blowers, technical gases distribution system, fuel gases, steam and internal distribution of electricity and industrial water for the steel mill complex. During the complex start up and the regular operation phases, these two distribution systems (electricity and media) work interconnected and are kept in operation by the IOM, being guaranteed by the permanent operation of the electrical power generation system of Power Plant. This work presents how this concept was developed, tested and implemented at TKCSA.

Key words: Electricity distribution; Utilities island mode.

¹ Contribuição técnica ao 32º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 26º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 16 a 19 de agosto de 2011, Salvador, BA.

² Coordenador de Operação do Sistema Elétrico da TKCSA

³ Gerente de Distribuição de Energia da TKCSA

⁴ Engenheiro de Proteção do Sistema Elétrico da TKCSA

⁵ Gerente Geral de Utilidades da TKCSA

⁶ Técnico Especialista de Distribuição de Utilidades da TKCSA

⁷ Gerente de Distribuição de Utilidades da TKCSA

⁸ Gerente Geral de Energia da TKCSA

⁹ Supervisor de Operação do Sistema Elétrico da TKCSA

¹⁰ Gerente de Operação da Central Termoelétrica da TKCSA

1 INTRODUÇÃO

A ThyssenKrupp Steel construiu uma siderúrgica de 5 milhões de toneladas de aço na Baía de Sepetiba, no estado do Rio de Janeiro/Brasil, a qual produziu sua primeira placa em setembro de 2010. Entretanto, para chegar nesta etapa e garantir o fornecimento de energia e utilidades para as diferentes fases do projeto, desde a construção, bem como para o comissionamento (a frio e a quente), *start up* e agora, na operação regular, tivemos que superar um grande desafio. Como este é o maior investimento privado na América do Sul, sendo a mais nova usina siderúrgica integrada no Brasil desde a década de 1980, nosso desafio foi integrar as instalações de produção garantindo a continuidade e a confiabilidade de suprimento para as diferentes fases, flexibilidade operacional e eficiência energética.

2 VISÃO GERAL DAS INSTALAÇÕES DE ENERGIA E UTILIDADES

A área de energia e utilidades é composta pelas seguintes plantas:

- tratamento de água;
- termoeletrica;
- gasômetros e queimadores (sistema de gás);
- unidade de separação de ar, incluindo os moto-sopradores;
- subestação principal de distribuição de energia elétrica; e
- redes de interligação.

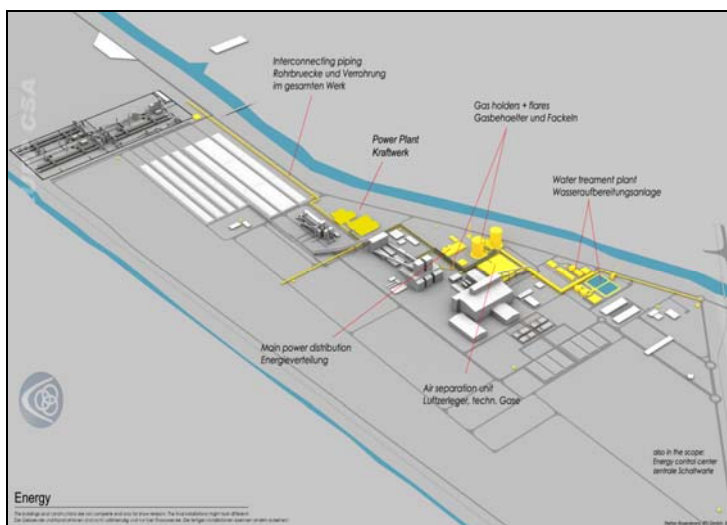


Figura 1. Arranjo geral das instalações de utilidades e energia.

3 PROCESSOS E CAPACIDADES

3.1 Planta de Tratamento de Água

A estação de tratamento de água recebe água "bruta" do Canal São Francisco, usando duas bombas (1.000 m³/h cada). A água passa através de uma tela automática para remoção dos sólidos maiores. Condutividade, pH e turbidez são medidas e podem desligar as bombas em caso de distúrbio na qualidade da água do canal. A água bruta é pré-tratada (dosagem de NaOCl) e armazenada em duas lagoas (10.000 m³ cada) como contingência em caso de haver má qualidade da água do canal. Nas lagoas, a água recebe floclulantes (FeCl₃) e então é bombeada

(1.000 m³/h cada bomba) para ser tratada e transformada em água industrial, passando por quatro misturadores rápidos, que recebem polímero e cal para ajudar na sedimentação das partículas e ajustar o pH, respectivamente.

A água passa por seis tanques de floculação e cinco decantadores para remover parte dos sólidos. Após, a água passa através de oito filtros com antracito e areia para remoção das partículas pequenas. A água é desinfetada (NaOCl) e enviada para os tanques de armazenagem (dois tanques com capacidade de 10.000 m³) como água industrial. Destes tanques, parte da água (máximo de 200m³/h) é usada para ser transformada em água potável, passando por três filtros de carbono e para ser desinfetada. Parte da água industrial é usada para ser transformada em água abrandada, passando por dois abrandadores (80m³/h cada) para reduzir a dureza (remoção de Ca e Mg). Esta água é usada na Aciaria e no Alto Forno para resfriamento. Outro sistema é o de resfriamento fechado que possui seis torres de resfriamento para garantir a melhor temperatura (máximo 33°C) para os consumidores (Aciaria e Sinterização) e três filtros de cascalho para controlar os sólidos suspensos. Há sete bombas para enviar a água a uma capacidade máxima de 7.500 m³/h.

O sistema aberto de água de resfriamento (contato direto com o processo) é composto por dois tanques de decantação, dois tanques reservas, quatorze filtros de cascalho e três torres de resfriamento. O objetivo principal deste sistema é tirar os sólidos e resfriar a água a ser reutilizada pela Aciaria.

A água gelada é produzida, por máquinas refrigeradoras, num circuito totalmente fechado, para enviar aos consumidores com 6°C de temperatura para o ar condicionado dos prédios, refeitórios e salas elétricas.

3.2 Central Termoelétrica

Características operacionais:

- Turbina a vapor (ST) – capacidade de 310 MW; 50% do vapor superaquecido, com pressão de 95 barg e temperatura de 520°C vem da Coqueria e os outros 50% das turbinas a gás (HRSGs - caldeiras de recuperação de calor); capacidade para executar o controle de frequência; capacidade para operar em paralelo com uma turbina a gás (GT), na configuração mestre (ST) e escravo (GT); capacidade de realizar rápida rejeição de geração (6 MW/segundo) e de operar como geração mínima (< 30% da capacidade nominal), sem restrição de tempo.
- Turbinas a Gás (GT's) - duas unidades de 90MW cada uma, cujo combustível principal é o gás de alto forno (BFG); estas máquinas não tem capacidade de controlar a frequência, funcionando com BFG; as turbinas a gás podem operar com gás natural (NG), sendo capazes de realizar o controle de frequência. No entanto, a geração máxima é limitada em cerca de 30% (33MW líquidos); a turbina a gás pode operar em ciclo aberto (gases de exaustão saindo pela chaminé) ou circuito fechado (gases de exaustão indo para as caldeiras de recuperação de calor); operando em ciclo combinado, a capacidade máxima de geração da *Power Plant* é de 490 MW. Operando em ciclo aberto, esta capacidade é de 33 4MW.

3.3 Sistema de Gás

O Sistema de Gás é composto pelos seguintes subsistemas/unidades:

- dois gasômetros do tipo selo seco (tipo Wiggins), com capacidade de 100.000 Nm³ cada, 130 mbarg de pressão (BFG) e 17 mbarg (BOFG), curso total do pistão de 41,7 m e válvulas borboletas operadas por sistemas hidráulicos;
- dois queimadores de BFG (2 cabeças de 230.000 Nm³/h cada queimador), com capacidade total de queima de 920.000 Nm³/h;
- um queimador de BOFG (operado pela Aciaria);
- dois *boosters* 2 x 60.000 Nm³/h (90.000 Nm³/h – fluxo máximo combinado), pressão de entrada e de saída de 17 mbar e 132 mbar, respectivamente;
- uma estação misturadora de gás dedicada aos regeneradores; e
- uma estação de gás substituto para a Aciaria e Sinterização.

Sistema de armazenamento e a estação misturadora servem para os seguintes propósitos:

- recebimento dos gases produzidos no alto forno (BFG) e na Aciaria (BOFG), ajustando o poder calorífico através da mistura dos gases conforme os requisitos dos consumidores e suprindo estes consumidores com a quantidade e qualidade de gás solicitada;
- regeneradores e estação de moagem de carvão (Gás Misto);
- sinterização (com BOFG);
- aciaria (com BOFG);
- *power plant* (BFG e possível excesso de BOFG);

Proporcionar capacidade de reserva para os gases produzidos na fábrica de aço, tais como:

- gás de alto forno (BFG) – acumulando, em curtos espaços de tempo, durante desbalanço entre geração e consumo para evitar queima; e
- conversores (BOFG) – recebimento do gás em bateladas, dos conversores da Aciaria, fazendo media da composição química do gás no tanque e fornecendo continuamente aos consumidores.

Conseqüentemente, três qualidades de gases são fornecidos aos consumidores:

- gás misto para os regeneradores e estação de moagem de carvão;
- BFG/BOFG* para aciaria e sinterização; e
- BFG (+ excesso de BOFG) para termoelétrica.

Observação: o asterisco indica BOFG após a possível mistura com outros gases (gás natural, gás de alto forno, nitrogênio) ou substituição completa por gás substituto, um gás sintético com o mesmo poder calorífico que o BOFG.

O Sistema de Gás deve preencher os seguintes requisitos:

- fornecimento de gases para os consumidores com determinados poder calorífico (LHV) e vazão;
- aproveitar ao máximo o processo de gases disponíveis GAF e BOFG;
- acumular e equalizar o balanço entre o consumo e a oferta de BFG e BOFG por meio de um gasômetro para cada gás;
- prover o combustível requisitado pelas plantas auxiliares, como a sinterização e os regeneradores (estado de repouso) caso os altos-fornos e a aciaria não estejam em operação com gases misto ou substituto;
- controle automático da vazão e misturas resultantes; e
- funções de supervisão para operação segura.

O controle da composição dos gases mistos é baseado no controle da razão para os fluxos dos gases individuais e para os respectivos poderes caloríficos individuais.

3.4 Unidade de Separação de Ar – Gases Industriais

Possui duas Unidades de Separação de Ar (ASU) idênticas e com capacidade de 1.500 t/d cada, acionadas por um motor de 32.5 MW. Operando em paralelo, cada planta produz 50% da demanda de gases industriais. As plantas fornecem oxigênio gasoso (GOX), nas pressões de 30 barg e 8 barg, nitrogênio gasoso (GAN), nas pressões de 30 barg e 16 barg, argônio gasoso (GAR), na pressão de 30 barg e ar comprimido seco (CDA), na pressão de 7 barg, para as unidades da TKCSA. As ASU's são capazes, também, de produzir oxigênio e nitrogênio líquidos (LOX e LIN), os quais são armazenados em tanques criogênicos e podem ser vaporizados para atender o consumo interno durante paradas das plantas, garantindo continuidade operacional e/ou durante situações de emergência, suprindo gases industriais para a parada segura do complexo. No caso do desligamento de uma ASU, a produção de GOX de 8 barg é interrompida e a outra ASU é capaz de produzir, sem a vaporização de *back up*, as demandas previstas de GOX de 30 barg, GAN de 30 barg, GAR, CDA e 50% da demanda prevista de GAN de 16 barg.

3.5 Ar de Alto Forno (ar soprado)

Possui dois sopradores idênticos com capacidade de 320.000 Nm³/h, a uma pressão de até 4,5 barg, que são acionados por motores de 28 MW. Em operação normal, o volume de ar soprado é de 290.000 Nm³/h, com picos de 320.000Nm³/h durante a pressurização dos regeneradores. Em caso de desligamento de um soprador, uma caixa fria é parada e o ar proveniente do compressor de alimentação desta caixa é totalmente desviado para os altos fornos. Nesta configuração, os picos de demanda de ar soprado podem ser atendidos em condições de projeto se um soprador e um compressor da ASU permanecerem operando em paralelo.

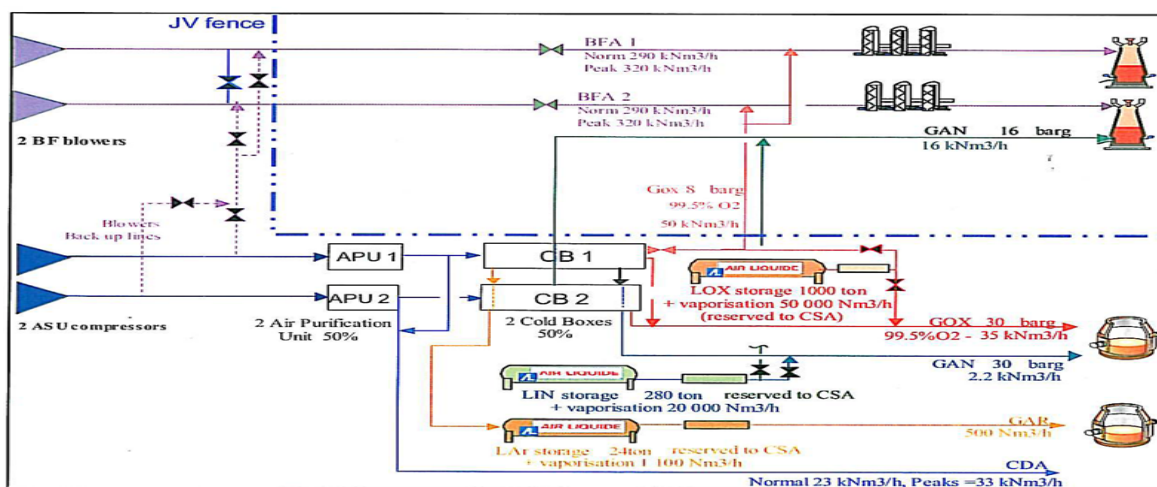


Figura 2. Conceito global para suprimento de gases industriais e ar soprado.

3.6 Subestação Principal de Distribuição de Energia

O suprimento de energia elétrica para o complexo da TKCSA é feito através de uma subestação recebedora de 500 kV, localizada em Santa Cruz, denominada Subestação Zona Oeste, a qual é composta por dois bays, um para seccionamento da linha de transmissão Angra x Grajaú, com capacidade de 2.142A, e outra exclusivamente para alimentação do complexo da TKCSA. Deste bay, saem duas linhas de transmissão de 500 kV, com aproximadamente, 3 km de extensão, as quais são conectadas em dois transformadores abaixadores de 525/138 kV, de capacidade de 225 MVA/ 300 MVA/ 340 MVA cada, localizados no interior da TKCSA.

A Figura 3 apresenta a subestação recebedora de 500 kV com a configuração de “um disjuntor e meio”, conforme os requisitos do ONS (Operador Nacional do Sistema). É importante enfatizar que todos os disjuntores de 500 kV operarão normalmente fechados.

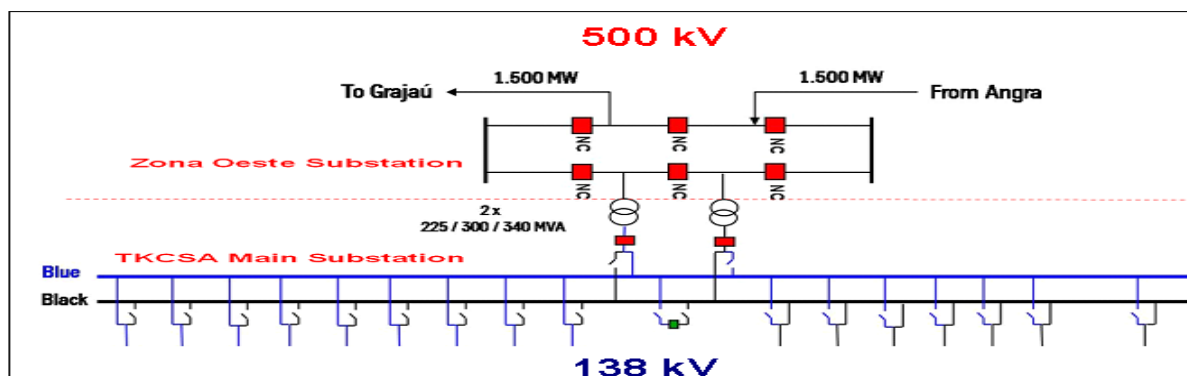


Figura 3. Sistema elétrico de 500 kV e 138 kV.

O sistema elétrico da TKCSA possui duas fontes de alimentação, o Sistema Nacional e os turbo-geradores da Termoelétrica. Ambas as fontes são conectadas à subestação de 138 kV, denominada Subestação Principal (Main Substation – MS). A rede de distribuição de energia é concebida como um sistema radial simples. O neutro do sistema elétrico de 138 kV (ponto estrela) é conectado à terra através de um reator de impedância (denominado bobina de supressão de arco) o qual é ajustado para a capacitância de terra da rede. Este equipamento limita a corrente de falha em caso de uma falta monofásica para a terra no sistema elétrico de 138 kV da TKCSA. A subestação principal foi projetada com um sistema de barra dupla, fisicamente isoladas, com capacidade de 2.500A, Icc de 40 kA (corrente de curto circuito) e 22 disjuntores.

Detalhes são mostrados na Figura 4. Esta configuração dá mais flexibilidade operacional ao sistema de distribuição de energia.

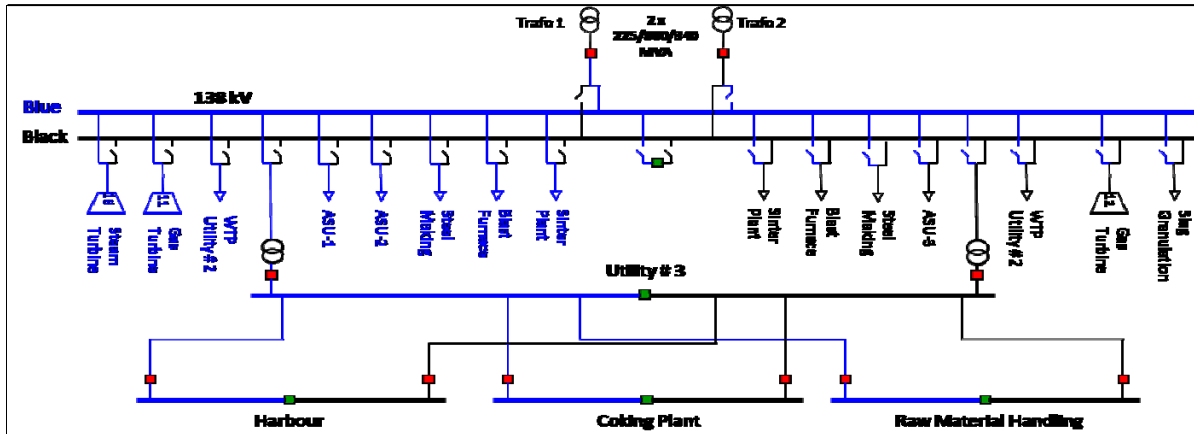


Figura 4. Sistema de 138 kV.

3.7 Redes de Interconexão

A área de interconexão é formada basicamente por tubulações e bandejas de cabos. Esta enorme estrutura percorre ao longo da planta e é usada para interligar todas as unidades da planta, entregando e recebendo Utilidades, Energia e Sinais de medição. Uma visão geral do tamanho do sistema pode ser visto na Figura 5.

Dados da instalação:

- extensão do pipe rack ~ 7km;
- peso da estrutura de aço ~ 6,000ton;
- peso da tubulação ~ 7,600ton;
- comprimento da tubulação ~ 70km;
- diâmetros da tubulação: 1 1/2” to 158”;
- número de Utilidades no pipe rack: 25.

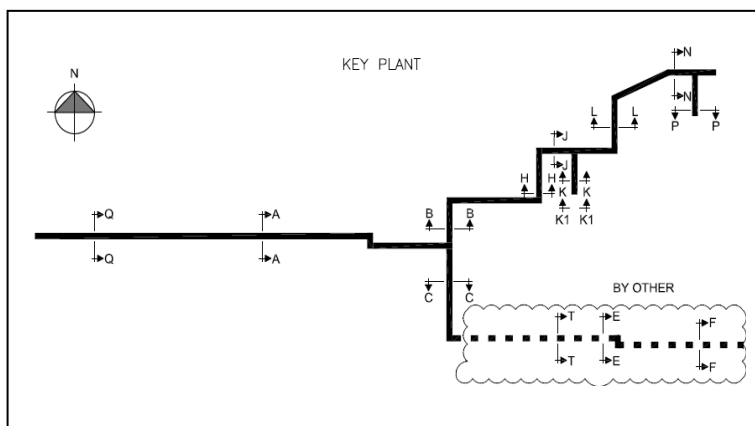


Figura 5. Rede de utilidades.

4 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA E UTILIDADES NUMA SIDERÚRGICA

A área de distribuição de energia e utilidades dentro de uma siderúrgica desempenha um papel muito importante na produção de aço até o produto final. Na visão do aspecto do setor elétrico, este departamento é responsável pela operação do sistema de distribuição de energia, garantindo o recebimento e a entrega destes insumos conforme as características de qualidade definidas no

projeto operação regular e estável dos equipamentos elétricos dos processos (motores elétricos em geral, sistemas de automação e instrumentação). Outro papel importante da área de distribuição de energia é garantir o fornecimento contínuo de eletricidade para as cargas essenciais do complexo, mesmo em caso de falta de energia da rede externa, tendo em vista que os processos dos Altos Fornos, Aciaria e Lingotamento Contínuo não podem ser interrompidos abruptamente, pois isto pode causar danos irreversíveis aos equipamentos e trazer riscos adicionais aos empregados. Este fornecimento contínuo de energia é garantido pela Operação em Modo Ilha (IOM).

A Unidade de Distribuição de Utilidades é responsável pelo suprimento das utilidades (água, vapor, gases combustíveis, gases técnicos, ar soprado e ar comprimido) para todo o complexo siderúrgico, garantindo o balanço entre a produção e consumo das utilidades, visando a eficiência energética e a disposição de todos estes produtos dentro das características de qualidade definidas no projeto e no acordo operativo com os consumidores, de modo a garantir o suprimento destes insumos para os processos de operação e produção.

5 ESTRATÉGIA DE ENERGIA E UTILIDADES PARA A PARTIDA DA SIDERÚRGICA

Durante o planejamento para a partida da siderúrgica foi identificada a necessidade de se elaborar um plano detalhado para o suprimento de energia e utilidades, o qual garantisse as mínimas condições para a operação continuada e parada segura das instalações de produção. As unidades que requerem certas precauções são alto forno, aciaria e lingotamento contínuo, conforme suas atividades básicas de manuseio de metal líquido. Entretanto, em uma siderúrgica integrada, a interdependência entre os processos é extremamente alta, e alterações em sua configuração operacional podem afetar os processos a montante ou a jusante, e isto certamente causarão variações na operação de energia e utilidades.

Levando-se em consideração o cronograma de partida da siderúrgica (Figura 6), o Alto Forno foi a primeira planta que demandou o desenvolvimento do planejamento de suprimento de energia e utilidades.

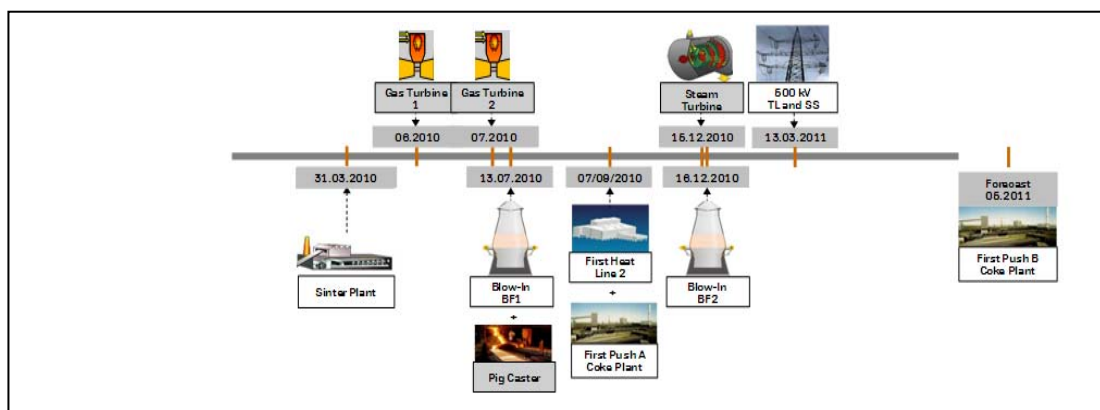


Figura 6. Cronograma de partida da siderúrgica (previsão).

O planejamento de partida teve que ser dividido em dois programas principais:

- programa 1 – balanço e suprimento de utilidades; e
- programa 2 – garantia de suprimento de energia elétrica em caso de falha da Rede Nacional (blecaute).

6 BALANÇO E SUPRIMENTO DE UTILIDADES

Utilidades consideradas para esta análise: vapor, gases técnicos, gases combustíveis, água e ar comprimido. Todos os requisitos foram coletados em cada área de produção e consolidados pelos especialistas da área de Utilidades. Os aspectos mais relevantes são informados abaixo, como exemplo:

6.1 Vapor

Características: Pressão de 16 barg e temperatura entre 220°C e 250°C

Motivo: Atraso na partida da Coqueria

Principais consumidores:

- ASU;
- aquecedor regenerativo: consumo interrompido de 4.5 ton/h a 6 ton/h, durante 50 minutos com 100 minutos de intervalo;
- comissionamento do sistema de vaporização de nitrogênio, oxigênio e argônio líquidos;
- termoelétrica
 Limpeza do sistema da termoelétrica: consumo de 5 ton/h a 12 ton/h, picos de 30ton/h (somente 1 hora);
- aciaria
 Purga do sistema de caldeira da Aciaria – consumo de 30 ton/h;
- alto forno (partida) (Figura 7)
 Purga do topo do Alto Forno – consumo de 5ton/h; e
- umidificação do ar – consume de 4 ton/h.
-

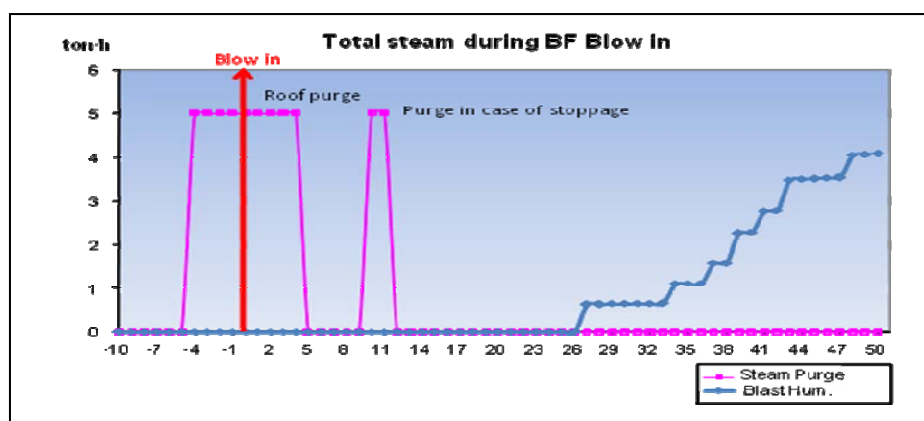


Figura 7. Consumo de vapor durante partida do Alto Forno.

Ação: aluguel de uma caldeira com capacidade de produção de 40ton/h e outra caldeira de 30ton/h. A Figura 8 apresenta a capacidade de suprimento de vapor de baixa pressão durante as fases de partida.

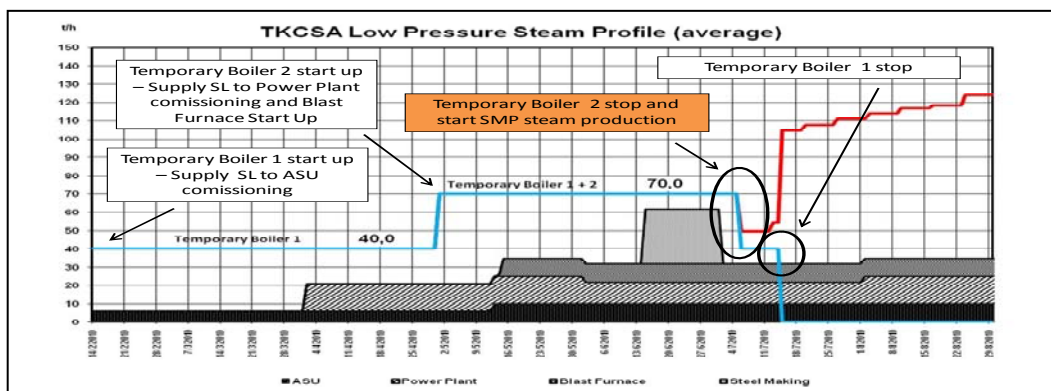


Figura 8. Perfil de consumo de vapor.

6.2 Nitrogênio de Baixa Pressão

Características: pressão de 16 barg a 18 barg e temperatura entre 20°C e 30°C

Motivo:

- ASU ainda não havia sido comissionada;
- necessidade de purga das redes de distribuição de gás;
- necessidade de gás misto (mistura de gás natural e nitrogênio) para Sinterização e regeneradores dos Altos Fornos;
- atividades de purga para partida do Alto Forno 1; e
- comissionamento da termoelétrica;

Ação:

- implementação de uma estação provisória de nitrogênio com capacidade de vaporização de 7.000 Nm³/h; e
- antecipação do comissionamento do tanque de armazenamento nitrogênio líquido para atender a partida do Alto Forno 1.

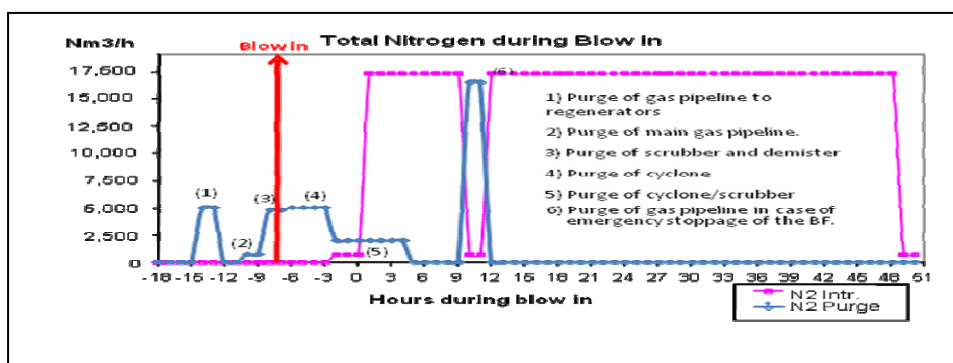


Figura 9. Consumo de nitrogênio durante partida do Alto Forno.

6.3 Gases Combustíveis

Características: pressão de 0,13 bar e energia de 8.900 kJ/Nm³

Motivo:

- necessidade de combustível para suprir a Sinterização; e
- combustível necessário para aquecer os regeneradores do Alto Forno 1 (20 dias antes da partida do Alto Forno).

Ação:

- comissionamento das Estações Misturadoras de Gás no *Gas System*;
- comissionamento das redes de gás misto para Sinterização e Alto Forno; e
- comissionamento da estação provisória de nitrogênio.

Um esquema especial foi montado para fornecer gás misto para manutenção dos regeneradores na temperatura adequada, misturando nitrogênio e gás natural, utilizando a estação misturadora de gás. Esta estação foi projetada para misturar este gás visando um PCI de cerca de 4.500 kJ/Nm³.

6.4 Ar Comprimido Seco

Características: pressão entre 7bar e 10bar e temperature entre 20°C e 30°C.

Motivo:

- ASU ainda não havia sido comissionada; e
- necessidade de suprimento de ar comprimido para a Sinterização, Sistema de Gás, Alto Forno 1 e Coqueria.

Ação:

- instalação de um sistema provisório com bateria de compressores móveis para atender o comissionamento da siderúrgica.

Garantia de suprimento de energia elétrica em caso de falha na Rede Nacional (blecaute).

A fim de garantir a quantidade de energia elétrica, bem como o suprimento de utilidades, o conceito mais importante desenvolvido foi o IOM, para manter o suprimento de energia elétrica, em caso de falhas na rede nacional (blecaute), e os mínimos requisitos de utilidades.

7 CONCEITO DE OPERAÇÃO EM MODO ILHA

A primeira e mais importante condição da operação em ilha é que o IOM foi projetado para garantir a parada segura da planta. Durante a operação estável da planta, a energia gerada na termoelétrica é capaz de manter a planta em operação, sem conexão com a rede nacional.

7.1 Definições Importantes

7.1.1 Operação interligada com a rede (modo de operação regular)

É a operação da rede elétrica da TKCSA conectada a duas fontes (rede nacional e geração própria). Os geradores da termoelétrica devem estar em operação sincronizada com o Sistema Nacional (500 kV).

7.1.2 Modo de operação em ilha

É a operação da rede elétrica da TKCSA considerando somente a energia fornecida pela geração interna, sem a conexão com a rede nacional (disjuntores de 500 kV ou 138 kV desligados).

Por esta razão, a TKCSA definiu um conceito de barra segura, denominado barra azul e barra preta. A confiabilidade de ambas as barras independentes é a mesma, porém uma tem uma fonte de alimentação redundante.

7.1.3 Barra azul

Considerada barra segura, esta barra manterá o suprimento para as cargas prioritárias e para as cargas essenciais em caso de falha na rede nacional (blecaute).

7.1.4 Barra preta

Esta barra permanecerá conectada à rede nacional. Entretanto, como a turbina a gás não tem capacidade de realizar o controle de frequência operando com gás de alto forno (BFG), a barra permanecerá em operação sujeita às variações de tensão e frequência e, eventualmente poderá desarmar (exemplo: blecaute).

7.1.5 Cargas essenciais

Cargas mínimas para manter o processo em operação em cada área individualmente, para evitar/minimizar os danos em equipamentos, de modo a possibilitar o rápido retorno da produção, após o restabelecimento das condições normais de fornecimento de energia elétrica.

7.1.6 Cargas prioritárias

Cargas mínimas necessárias para manter o processo em operação, as quais tem que fornecer combustíveis (exemplo: gás de alto forno e vapor da Coqueria) para alimentar as turbinas da termoelétrica, garantindo a energia elétrica requerida pela siderúrgica.

7.2 Início da Operação em Modo Ilha

Sempre que a carga conectada na barra azul for maior que a capacidade estimada de geração para o IOM, o ECC (Centro de Controle de Energia) receberá um sinal da termoelétrica informando que o consumo de energia elétrica excedeu a geração. O operador do ECC deverá considerar uma geração mínima de 5 MW acima do consumo. Assim sendo, se esta condição não for atendida, o operador do ECC deve avaliar qual carga precisa ser transferida para a barra preta. Todas as manobras têm que ser informadas ao respectivo consumidor.

Considerando a configuração normal do sistema de 138 kV (disjuntor de interligação normalmente aberto), o IOM é iniciado quando a barra azul é desconectada da Rede Nacional.

Duas situações foram então previstas: uma considerando sub frequência da rede nacional (Figura 10) e outra considerando 30% de sub tensão por um período superior a 200 ms.

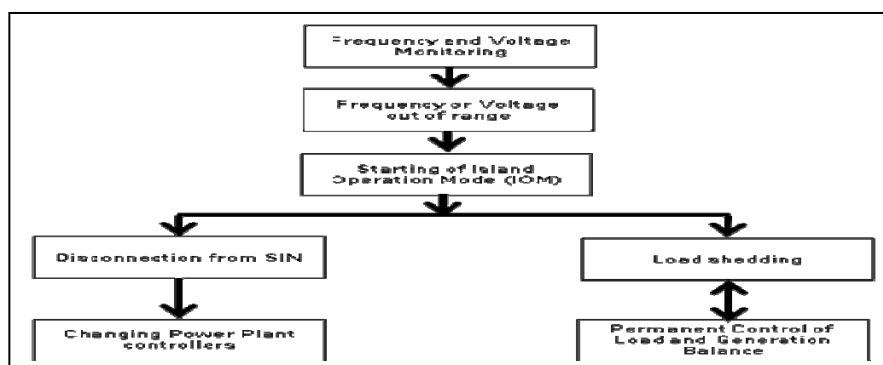


Figura 10. Esquema do IOM.

Os parâmetros a Rede Nacional para tensão e freqüência são mostrados na Tabela 2. As cargas conectadas na barra azul devem permanecer em operação atendendo estes requerimentos.

Tabela 2. Parâmetros da rede nacional

NATIONAL GRID PARAMETERS - Requirements to Independent Producer (generators) be connected to Basic Grid	
VOLTAGE	
%	DESCRIÇÃO
-5% to +5%	Regular operation
-10% to +5%	Permanent emergency operative condition
-15% to +5%	Temporary emergency operative condition
Out of the range	Trip as per under/over voltage protection adjustment (not instantaneous)
FREQUENCY (Hz)	
$58,5 < f < 61,5$	Regular operation
$61,5 < f < 58,5$	Trip in 10 seconds
$f < 57,5$	Trip in 5 seconds
$f < 57$ or $f > 63$	Instantaneous trip

O monitoramento permanente dos parâmetros da rede (tensão e freqüência) é realizado pelo painel de IOM (Figura 11):

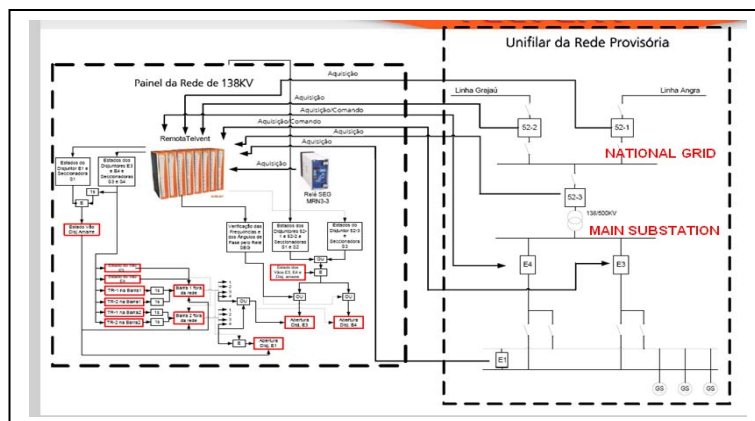


Figura 11. Esquemático do Ilhamento (painel de IOM).

Após a desconexão de ambos os disjuntores de entrada, os disjuntores de saída da barra preta e suas respectivas cargas serão desligados e a barra azul continuará alimentando as cargas essenciais e as cargas prioritárias.

O IOM também pode começar com o disjuntor de interligação de 138 kV fechado. Neste caso específico, quando o sistema elétrico interno se isola da Rede Nacional, devido ao fato de que a TKCSA está instalando o sistema de rejeição de carga (load shedding), a abertura do disjuntor de interligação de 138 kV ocorrerá automaticamente.

Durante o IOM, a tensão e a freqüência do sistema elétrico da TKCSA serão controlados pelo gerador da termoeletrica. Nesta condição, o ECC deverá deixar disponível para todas as áreas um sinal específico indicando que a TKCSA está operando em Modo Ilha. Nenhuma área será liberada para religar as cargas elétricas sem a expressa autorização do ECC, durante este período.

O ECC também gerencia a estabilidade do sistema elétrico (equilíbrio entre carga e geração).

7.3 Cenários de Partida da Siderúrgica em Relação à Capacidade de Operação em Modo Ilha

Durante a partida da usina, houve limitação em termos de fornecimento de energia elétrica e, conseqüentemente, de fornecimento de utilidades. Portanto, afim de realmente atender aos requisitos mínimos das áreas de produção, foram considerados os seguintes pontos para a parada segura:

- quais são os impactos severos (alto risco de danos em equipamentos e/ou acidentes com pessoas) em cada fase do processo produtivo?
- quando estes impactos severos ocorrem (imediatamente/algun tempo após o blecaute)?
- quais utilidades são necessárias e em quais quantidades para evitar estes impactos severos?

Por exemplo, para parada segura o alto forno precisa de:

- energia elétrica para as cargas essenciais (bombas, correia transportadora principal e moto-válvulas hidráulicas);
- ar soprado para evitar entupimento das ventaneiras;
- vapor para purga das redes e controle de temperatura no topo ;
- nitrogênio para purga das redes e resfriamento dos equipamentos; e
- água industrial para os sistemas de resfriamento (staves, cadinho, etc.).

Como resultado das considerações mencionadas acima, o requisitos mínimos para a usina foram de que o IOM deveria atender.

Tabela 3. Partida do AF-1

Essential Loads	Consumption (MW) t0(-)	Consumption (MW) t0(+5')
Blower-1	22,8	14,8
ASU aux	3,2	3,2
Media	1,2	1,2
Blast Furnace	1,3	4,7
	28,5	23,9

Generation	GT with NG (MW)
Average	29
Peak	33

up to 3 hours

Tabela 4. Partida da aciaria e da bateria-A da coqueria

Essential Loads	Consumption (MW)	Consumption (MW) t0(+5')
Blower-1	22,8	14,8
ASU aux	3,2	1,2
Media	1,2	0,5
Blast Furnace	1,3	4,7
Coking Plant	0,4	0,4
SMP	0	6,7
WTP	0	2,5
	28,9	30,8

Generation	GT with NG (MW)
Average	29
Peak	33

up to 3 hours

Tabela 5. Partida do AF-2

Essential Loads	Consumption (MW)
ASU (1 Blower+ 1 MAC)	57
Media	1,5
Blast Furnace	10,4
WTP	3,5
Coking Plant	2,6
SMP	12
	87

Generation	GT(BFG)+ST(steam)
Average	90
Peak	130

HRSG (140 ton/h) + CP (100-140 ton/h)

8 TESTES DE IOM

De modo a garantir o correto desempenho do IOM, foram realizados dois testes, desconectando a rede da TKCSA da Rede Nacional, forçando uma configuração real do IOM. Todas as cargas conectadas na barra azul permaneceram em operação alimentadas pela termoeletrica.

Os testes foram realizados conforme abaixo:

- 06/07/10: partida do AF-1
- 13/12/10: partida do AF-2

8.1 Teste do IOM para a Partida do AF-1

O planejamento foi desenvolvido em conjunto com as equipes do Alto Forno, Termoeletrica, ASU, Coqueria, Sinterização e Tratamento d'Água e coordenado pelo departamento de Energia e Utilidades. A partir destas discussões, foi definida a sequência de testes, conforme abaixo:

- desligamento das cargas do AF (barra preta de 6,6 kV);
- desligamento de dois motores (MACs) da ASU conectados na barra preta. Um soprador reduziria a carga imediatamente de 28 MW para 16 MW;
- o sinal de IOM seria enviado do ECC para a ASU (link OPC) e AF (link MMS);
- transformador 1B seria reenergizado pela equipe de distribuição de energia. O AF religaria suas cargas conforme plano de contingência, de modo a garantir a parada segura do Alto Forno (cerca de 6MW).

8.2 Teste de IOM para a Partida do AF-2

Realizada configuração de IOM para ambas as barras de 138 kV.

Teste na barra (turbina a gás com BFG + turbina a vapor – geração líquida total de 65 MW) e uma barra segura (turbina a gás operando com gás natural – geração líquida de 33 MW) para garantir ar soprado para o Alto Forno em caso de falha na barra de teste.

- Cargas de teste:
 - AF: 6 MW (cargas essenciais)
 - ASU: 29 MW (soprador 1 + auxiliaries)
 - Energia e Utilidades: 3 MW (Sistema de Gás + caldeira temporária + auxiliaries das subestações + cargas não essenciais)
 - WTP: 3.5 MW
 - Coqueria: 2.2MW (cargas não essenciais)
 - Aciaria: 4.4 MW (sistemas de resfriamento)
 - Sinterização: 9 MW (1 exaustor)

Porto: 2 MW
 Pátio de Matérias Primas: 4 MW

8.3 Resultados dos Testes de IOM

Ambos os testes foram realizados de acordo com o planejamento, atingindo os resultados esperados.

- prova a confiabilidade do sistema de IOM;
- verificação e comprovação do correto comportamento de 1 ST+ 1GT operando desconectadas da Rede Nacional, em paralelo;
- controle de tensão e frequência durante o IOM pelos geradores da termoeletrica;
- operação estável dos geradores durante as manobras elétricas do IOM (partida dos motores um de cada vez, coordenadas pelo ECC); e
- verificação e comprovação da máxima potência de saída da termoeletrica para cada cenário de geração.

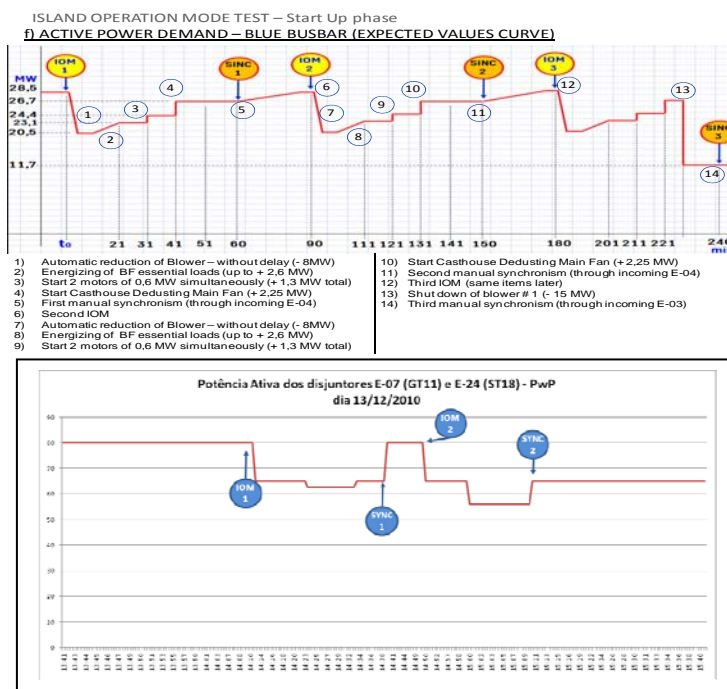


Figura 12. Teste de IOM para partida do AF-1 – curvas planejada e real.

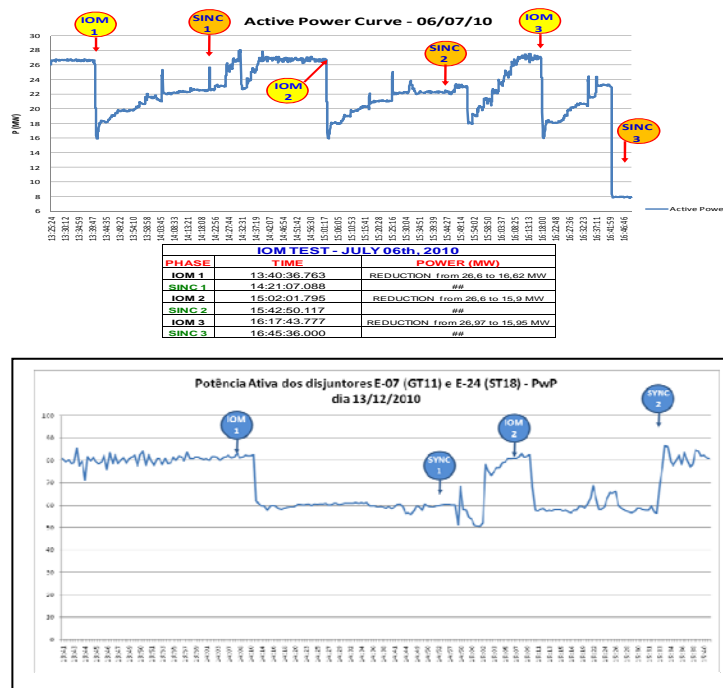


Figura 13. Teste de IOM para partida do AF-2 – curvas planejada e real.

9 CONCLUSÕES

Houve três ocorrências de Ilhamento após a partida do complexo.

- 27/11/10: operação incorreta do relé de monitoramento de ângulo de fase (função delta phi)
- 11/12/10: blecaute na área do Rio de Janeiro
- 03/01/11: perda de referência das seccionadoras de entrada na subestação principal (falha no sistema supervisório).

Em todos estes casos, o sistema de Operação em Modo Ilha garantiu a parada segura do complexo fornecendo energia elétrica e utilidades às cargas essenciais, demonstrando a importância da correta implementação deste sistema.

O planejamento de energia e utilidades em uma siderúrgica é complexo e deve ser muito bem estruturado a fim de maximizar a eficiência e garantir a continuidade operacional com segurança para as pessoas e equipamentos.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a todas as pessoas envolvidas neste desafio, muito especialmente aos especialistas em Energia e Utilidades de todas as áreas da TKCSA e aos nossos colegas e parceiros da TKSE Energia, usina de Duisburg / Alemanha, todos, em equipe, contribuindo para os bons resultados alcançados.

ABREVIÇÕES

- ASU: Air Separation Unit (Unidade de Separação de Ar)
- BF: Blast Furnace (Alto Forno)
- BFA: Blast Furnace Air (Ar Soprado)
- BFG: Blast Furnace Gas (Gás de Alto Forno)

BOFG:	Basic Oxygen Furnace Gas (Gás de Aciaria)
CDA:	Compressed Dry Air (Ar Comprimido Seco)
CP:	Coking Plant (Coqueria)
ECC:	Energy Control Center (Centro de Controle de Energia)
GAN:	Gaseous Nitrogen (Nitrogênio Gasoso)
GAR:	Gaseous Argon (Argônio Gasoso)
GOX:	Gaseous Oxygen (Oxigênio Gasoso)
GT:	Gas Turbine (Turbina a Gás)
HRSG:	Heat Recovery Steam Generator (Caldeira de Recuperação de Calor)
IOM:	Island Operation Mode (Modo de Operação em Ilha)
LIN:	Liquid Nitrogen (Nitrogênio Líquido)
LOX:	Liquid Oxygen (Oxigênio Líquido)
MAC:	Main Air Compressor (Compressor de Ar Principal)
NG:	Natural Gas (Gás Natural)
PP:	Power Plant (Termoelétrica)
SMP:	Steel Making Plant (Aciaria)
ST:	Steam Turbine (Turbina a Vapor)
TKCSA:	Thyssenkrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico
WTP:	Water Treatment Plant (Planta de Tratamento de Água)