

EFICIÊNCIA DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA INDÚSTRIA DE SETOR SUCROENERGÉTICO

EFFICIENCY OF ELECTRICAL ENERGY COGENERATION IN A SUCROENERGETIC INDUSTRY

Luiz Gustavo Domingos¹

Gabriel Vitor Barbosa²

Alexandre Vieira de Oliveira³

RESUMO

Este trabalho de pesquisa da área de Engenharia Elétrica, subárea de Cogeração de energia estudou a inconstância na geração de energia elétrica de uma indústria multinacional do ramo sucroenergético do interior de São Paulo, provocada por variáveis como erros operacionais, equipamentos fadigados, limitações de processo, entre outras, que gerava uma diminuição do volume de exportação de energia elétrica. Devido à necessidade de manter estabilidade no processo de geração de energia e de fabricação de açúcar e etanol, a pesquisa visou à diminuição da variabilidade de exportação de energia garantindo a eficiência dos turbogeradores com a diminuição da perda de ritmo, consumindo assim o bagaço do processo e atendendo a demanda industrial e comercial. A contribuição deste trabalho resultou em fornecimento de energia elétrica constante e estável para a concessionária de energia e comunidade regional, em redução de custos para usina com a compra de bagaço evitada e, de quebra, lucro financeiro com a venda da energia excedente no mercado spot. Além disso, com a planta trabalhando em regime, sobrou mais tempo para a equipe operacional analisar posteriores falhas e trabalhar propondo e implantando melhorias operacionais. Através da aplicação da metodologia DEMAIC e análise de gráficos da cogeração do ano anterior, foi definido e realizado durante o período de manutenção,

¹ Graduação em Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: luiz_gustavod@hotmail.com.

² Graduação em Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: gabriel_cajob2010@hotmail.com

³ Docente no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: alexandre.olivei@uol.com.br

diversas tratativas para as principais causas dos desarmes Durante este ano de 2020 foi realizado, diariamente, o monitoramento contínuo do volume de exportação de energia e, por meio desta análise, a comparação entre planejado e realizado.

Palavras-chave: Cogeração de energia. Redução de custos. Variabilidade de exportação.

ABSTRACT

This research of Electrical Engineering, sub-area of energy cogeneration, studied the inconstancy in the generation of electrical energy of a multinational sugar and energy industry in the interior of São Paulo, caused by variables such as operational errors, fatigued equipment, process limitations, among others, which generated a decrease in the volume of electricity exports. Due to the need to maintain stability in the energy generation and sugar and ethanol manufacturing processes, the research aimed at reducing the variability of energy exports, guaranteeing the efficiency of the turbogenerators with the reduction of the loss of rhythm, thus consuming the bagasse from the process and meeting industrial and commercial demand. The contribution of this work resulted in a constant and stable supply of electricity to the energy concessionaire and the regional community, cost reduction for the plant with the purchase of avoided bagasse and, in short, financial profit from the sale of surplus energy in the spot market. In addition, with the plant working in a regime, the operational team has more time to analyze subsequent failures and work proposing and implementing operational improvements. Through the application of the DEMAIC methodology and analysis of the cogeneration graphs of the previous year, several treatments were defined and carried out during the maintenance period, for the main causes of the disarms. In 2020, continuous monitoring of the volume of energy export and, through this analysis, the comparison between planned and realized.

Keywords: Energy cogeneration. Cost reduction. Export variability.

1 INTRODUÇÃO

Em busca da melhoria da inconsistência do sistema de cogeração de energia elétrica de uma multinacional do ramo sucroenergético do interior do estado de São

Paulo, torna-se necessário que sejam tomadas medidas para que ocorra um maior aproveitamento de todo o sistema, mantendo uma consistência em campo industrial e também diminuindo as emissão de gases poluentes como o monóxido de carbono, proveniente da queima de combustível (Bagaço de Cana-de-açúcar), gerando uma melhor qualidade de vida não só em campo industrial, mas também nas cidades localizadas próxima a esta indústria.

Em decorrência da procura pela eficiência desta cogeração de energia elétrica, torna-se necessário medidas de manutenções no sistema, sejam elas: trocas de óleo, reparos em caldeiras, troca de sensores de temperatura, de vibração, de pressão, etc. Também a capacitação de profissionais envolvidos no processo, com cursos práticos e teóricos sobre a aplicação do sistema. Com o aumento da eficiência nos turbogeradores, causará uma diminuição na perda de ritmo melhorando rendimentos no processo de produção do açúcar, etanol e a própria cogeração de energia, trazendo eficiência, pois com a planta trabalhando em regime toda a equipe poderá ter mais tempo disponível para analisar falhas posteriores e implantando melhorias operacionais, gerando rigidez e lucratividade a empresa.

Com o intuito de se manter um processo linear na geração de energia elétrica o projeto visa diminuir a variabilidade de exportação, como o desarme dos turbogeradores que gera a perda do vapor de escape e do vapor de extração, diminuindo a eficiência na caldeira ocasionando em queda de pressão, também a queima excessiva da biomassa, gerando desperdício de matéria, com a implantação deste projeto haverá uma maior confiabilidade operacional e tornando-o suficientemente melhor.

Com base nas análises dos gráficos referentes à geração mensal de energia elétrica anteriores, nota-se a necessidade de se atingir a regularidade do sistema, aplicando melhorias nos turbogeradores como trocas de óleos e equipamentos fatigados, capacitação operacional e criação de ferramentas de monitoramento da cogeração de energia, tornando-o mais robusto e atendendo todos os setores industriais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Em conceito geral, no Brasil, a principal matriz energética brasileira está contabilizada em aproximadamente 65,2% nas usinas hidrelétricas, proveniente da grande capacidade hídrica da nossa região, porém a escassez das chuvas tornou-se necessárias medidas de geração de energia elétrica como as termelétricas. (STUCHI, 2015).

Segundo Coelho (1999), cogeração é a geração simultânea de energia térmica e mecânica, a partir de um mesmo combustível (gás natural, resíduos de madeira, casca de arroz, bagaço da cana, palha, ponteiros etc.). A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho ou transformada em eletricidade por meio de geradores; a energia térmica é utilizada como fonte de calor para um processo industrial ou no setor de comércio ou serviços.

As principais fontes de energia utilizadas atualmente são consideradas como fontes de energia renováveis e não renováveis. São consideradas fontes não renováveis aquelas passíveis de se esgotar por serem utilizadas com velocidade bem maior que os milhares de anos necessários para sua formação. Nessa categoria estão os derivados de petróleo, os combustíveis radioativos (urânio, tório, plutônio etc.), a energia geotérmica e o gás natural. Hoje em dia, a utilização de tais fontes para produzir eletricidade se dá principalmente por uma primeira transformação da fonte primária em energia térmica, por exemplo, através da combustão, fissão ou processos geotérmicos. A geração elétrica obtida por este meio é conhecida como geração termelétrica. (REIS, 2011).

A necessidade de se investir no setor energético trazem medidas de cogeração de energia elétrica através de fontes não renováveis, considerando a grande concentração de usinas de cana-de-açúcar a biomassa proveniente desta cultura agroindustrial vem se tornando uma grande coadjuvante no processo de geração de energia elétrica. (DANTAS FILHO, 2009).

Nesse contexto, as expectativas para o uso da energia de biomassa são positivas. A partir dos estudos desenvolvidos pelo Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2015), ainda se verifica potencial de aumento da capacidade tecnológica industrial, a qual deve ampliar o processamento de biomassa de cana de açúcar e produção de energia elétrica excedente. De acordo com o estudo desenvolvido pelo

Ministério de Minas e Energia junto à Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre 2005 e 2030 a capacidade de geração deve aumentar 19 vezes, motivada também pelas expectativas de aumento do Produto Interno Bruto (PIB) e da demanda por energia elétrica no Brasil.

O processo de produção de açúcar resulta em vários resíduos, um deles é a biomassa, combustível das caldeiras das usinas sucroenergéticas. Sua queima produz o calor necessário para a produção de vapor por meio do aquecimento da água, o que atende a vários processos da usina. Parte do vapor gerado é enviado às turbinas a vapor, localizadas na casa de força, estas turbinas são responsáveis por produzir o trabalho mecânico através da energia térmica do vapor sob pressão. Esta turbina é acoplada a um turbogerador, que por sua vez transforma a energia mecânica em energia elétrica, em anos recentes a introdução de motores elétricos para o acionamento dos equipamentos de preparo e moagem da cana tem promovido a substituição das turbinas a vapor das moendas, proporcionando maior eletrificação ao sistema e aumento de exportação de energia à rede (tecnologia de maior eficiência).

Ainda nesse sentido, estudo realizado por CTC (LOPES, 2013) mostrou que, em 2010, para uma amostra de 285 caldeiras do setor sucroenergético brasileiro, apenas 19% da tecnologia apresentava menos de 10 anos, 39%, acima de 30 anos e 70%, mais de 20 anos de implantação, corroborando o cenário de baixa eficiência geradora supracitada.

A baixa eficiência na geração e/ou aproveitamento de energia se deve ao fato de a maior parte das usinas apresentarem caldeiras de baixa pressão de vapor (aproximadamente 22 bar), implantadas principalmente na década de 1970, com o Programa Nacional do Alcool (Proálcool). Nesse período, o ciclo de baixo rendimento energético foi predominante, uma vez que o produto energia não era priorizado (DANTAS FILHO, 2009).

No que diz respeito a projeções da participação das biomassas de cana-de-açúcar na matriz energética nacional, estudo decenal da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2015) indicou que o potencial técnico de geração de energia para 2023, tendo como matérias-primas o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, é de 19,5 GW médios, o que equivale a aproximadamente 14% da matriz energética atual. As projeções da União da Indústria de Cana-de-Açúcar - Única (2010) indicam um potencial de exportação de energia elétrica a partir de bagaço de aproximadamente

13 GW médios para a safra 2020/21 ou 9,5% da matriz energética atual. Atualmente, segundo informações da Aneel (2014), a cogeração de energia elétrica excedente a partir da biomassa de cana-de-açúcar representa, em potência instalada, 9,73 GW ou 7% da matriz energética nacional.

3 MATERIAIS E MÉTODO

A usina, objeto de análise desta pesquisa, faz parte de uma companhia multinacional líder do setor sucroenergético brasileiro. Controlada por uma acionista francesa, a empresa é a 2ª maior produtora mundial de açúcar e 3ª maior produtora de açúcar do Brasil. Além de ampla presença na indústria de alimentos, com o fornecimento de açúcares, também produz em larga escala o etanol e a energia elétrica, proveniente da cogeração do bagaço de cana-de-açúcar.

As sete unidades industriais estão localizadas na região noroeste do Estado de São Paulo. Desde 2007, a empresa também possui uma unidade industrial, produtora de açúcar, em Moçambique, África.

No Brasil, onde é processado cana-de-açúcar, as usinas da companhia são autossuficientes em energia graças à eletricidade verde produzida a partir do bagaço, o resíduo fibroso da cana-de-açúcar triturada. Ele é queimado em caldeiras de alto rendimento e fornece eletricidade para suas instalações. O excedente de energia pode alimentar a rede pública. No Brasil, a companhia fornece à rede pública o equivalente ao consumo anual de energia de uma cidade de aproximadamente 1,3 milhão de habitantes.

A companhia processou ao longo do ano de 2020 um volume de 20,4 milhões de toneladas de cana em suas sete unidades, juntas, elas são capazes de gerar aproximadamente 500 KVA, conforme tabela seguinte:

Tabela 1: Capacidade dos Turbogeneradores

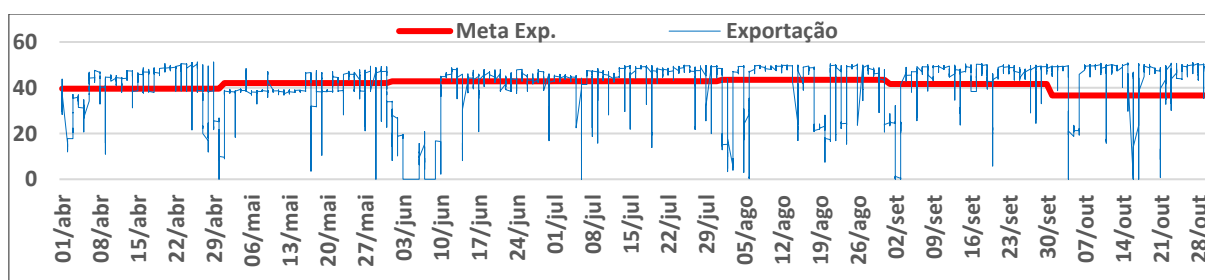
Unidade	Gerador	Marca	Modelo	Potência (KVA)	Tensão (KV)
UNIDADE 1	TG4	GE	271R582	12,5	13,8
	TG5	GE	271R774	31,25	13,8
	TG6	WEG	SPW1000	31,25	13,8
	TG7	WEG	SPW1000	31,25	13,8
UNIDADE 2	TG1	MAUSA	150/140/4/4	3	13,8
	TG2	GE	SA 718118456301	3,75	13,8
	TG3	GE	5ATI86128474903	5	13,8
	TG4	WEG	SPW630	5	13,8
UNIDADE 3	TG2	GE	271R77	42,5	13,8
	TG3	GE	271R77	42,5	13,8
UNIDADE 4	TG1	WEG	SPW 1120	31,25	13,8
	TG2	WEG	SPW 1250	50	13,8
	TG3	WEG	SPW 1250	31,25	13,8
UNIDADE 5	TG1	WEG	SPW	10	13,8
	TG2	GE	SPW	31,25	13,8
	TG3	GE	SPW	25	13,8
UNIDADE 6	TG1	WEG	SPW	31,5	13,8
	TG2	GE	SPW	31,5	13,8
	TG3	GE	SPW	31,5	13,8
UNIDADE 7	TG1	GE	5A7786128474901	5	13,8
	TG2	GE	271R671	12,5	13,8

Fonte: Domingos, Luiz. 2020

A usina fruto da pesquisa (unidade 4) representa 22,55% da capacidade de geração de energia da companhia sendo, portanto, de extrema importância no seu plano de negócios.

Para este trabalho foi realizado, pelo especialista de manutenção elétrica da usina, uma análise quantitativa dos dados da exportação do ano anterior. O acesso aos sistemas supervisórios dos turbogeradores garantiu a obtenção dos dados da cogeração da usina e foi compilado em uma única planilha e gráfico. Abaixo segue gráfico da exportação do ano anterior:

Gráfico 1: Exportação de energia 2019



Fonte: Domingos, Luiz. 2020

O gráfico 1 mostra a enorme inconsistência do sistema durante o período de produção da usina no ano anterior, o fornecimento inconstante de energia, causado pelos inúmeros desarmes influencia diretamente no processo produtivo e plano de negócios da companhia.

Durante o período de manutenção da planta industrial, o departamento de manutenção elétrica realizou as correções direcionadas as variáveis mapeadas durante análise sistemática do processo de cogeração. Uma das manutenções foi a substituição da junta de expansão do turbogerador nº 2. A junta de expansão é utilizada em sistemas de tubulações para absorver movimentos derivados da variação dimensional causada por variações de temperatura (dilatações térmicas lineares). Outra funcionalidade da junta de expansão flangeada consiste em suavizar ruídos mecânicos e compensar alguns desalinhamentos.

O corpo de uma junta de expansão flangeada é constituído por um fole de borracha ou metálico em aço inoxidável ou aço revestido com ligas especiais, possuindo terminais flangeados, ou seja, flanges cuja norma ou padrão de furação deve estar de acordo com o flange utilizado na linha que a junta será instalada. Suas dimensões são variáveis, virtualmente sem limite máximo de diâmetro, podendo trabalhar em altas classes de temperaturas, sendo que essa junta de expansão flangeada pode ser aplicada adjacente a bombas, centrífugas, compressores, caldeiras, tubulações de vapor (nossa aplicação), sistemas de ar condicionado, etc.

Também foi realizado pelo departamento de manutenção elétrica a revisão por completo do filtro de óleo do turbogerador nº 2. O sistema tem a função de fornecer óleo na pressão e temperatura adequada, permitindo a lubrificação dos mancais, das engrenagens da caixa de acessórios, da caixa multiplicadora e do resfriamento dos mancais quando quentes, e a fase de pós lubrificação após a parada da máquina. O

controle da pressão e temperatura do óleo, dentro do faixa operacional admissível para a máquina, é importante para a integridade dos mancais, evitando intervenções precoces que gera parado do sistema.

Além das manutenções, medidas de engenharia, foi realizado treinamentos operacionais para os operadores de sistema elétrico da usina, trata-se de uma capacitação que incluiu aulas teóricas e práticas, para que seus colaboradores possam operar o sistema da melhor forma possível, integrados e qualificados de modo que as entregas tenham um alto padrão de qualidade, a produtividade seja maximizada e não haja retrabalho por falta de competência.

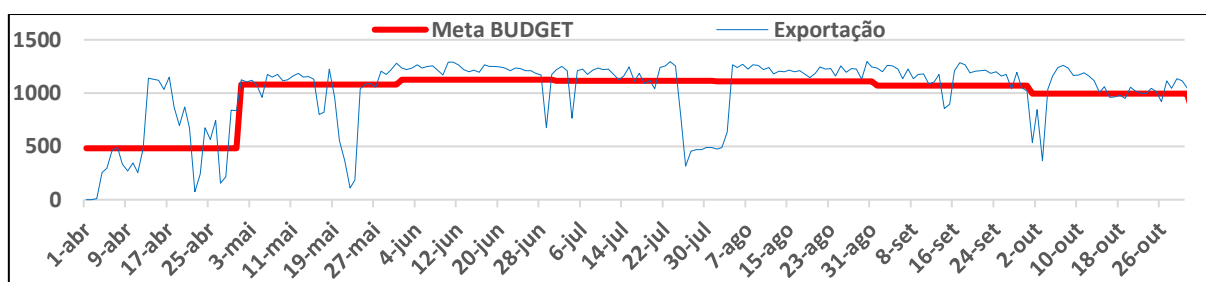
Os dados históricos do problema foram extraídos do Relatório Diário de Exportação e, se tratando de exportação de energia, a cada mês tem-se uma meta, pois esse processo varia de acordo com o processo de fabricação de açúcar e etanol, além de obedecer a uma curva de eficiência/OEE da indústria. E as metas mensais propostas para 2020 foram similares às dos anos anteriores, devido ao fato de a companhia não ter conseguido alcançá-las ultimamente.

A efetividade das ações realizadas durante o período de manutenção da planta industrial foi refletida no indicador de MWh de exportação de energia, seu cálculo é a somatória do valor de MWh exportado hora a hora, dia a dia, totalizando um valor total no final do mês. Durante esta pesquisa, junto ao time de manutenção elétrica, foi analisado a análise comparativa do indicador de MWh de exportação de energia deste ano e do ano anterior, importante ressaltar que as metas mensais do ano de 2020 foram similares às do anterior, devido ao fato da usina não ter conseguido alcançá-las.

4 RESULTADOS

Os dados do volume de exportação retirado do Relatório Diário de Cogeração foram compilados em uma planilha e plotado no Gráfico 2, representa a exportação após a implementação das ações.

Gráfico 2: Exportação de energia 2020



Fonte: Domingos, Luiz. 2020

Um dos valores mensurados da venda de energia é o proveniente do leilão de fontes alternativas (2º LFA), instituído com o objetivo de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis, como a biomassa, na matriz energética brasileira.

Além do 2º LFA, também é comercializado energia através do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), mediante contratos de compra e venda de energia, definida pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). A Proinfa promove a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

Por último, também há a comercialização da energia excedente no Mercado Atacadista de Energia, ambiente onde os geradores e comercializadores de energia elétrica realizarão contratos livremente acordados entre si e liquidarão os montantes de energia não contratados comercializados no curto prazo, ou “mercado spot”.

Na tabela abaixo é apresentado o volume de geração de energia elétrica planejado para o ano, precificação e fator líquido consolidado de acordo com previsão de mercado, mapeada durante início da safra 2020:

Tabela 2: Meta de geração de energia 2020

Budget 2020	abr-20	mai-20	jun-20	jul-20	ago-20	set-20	out-20
Volume (MWh)	14.464	31.761	32.121	32.913	32.755	30.537	29.137
2º LFA	10.486	25.595	26.154	26.748	26.589	24.570	22.971
Proinfa	3.978	6.166	5.967	6.166	6.166	5.967	6.166
Spot	0	0	0	0	0	0	0
Preços (R\$/MWh)							
2º LFA	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212
Proinfa	R\$ 201	R\$ 201	R\$ 207	R\$ 207	R\$ 207	R\$ 207	R\$ 207
Spot	R\$ 123	R\$ 159	R\$ 169	R\$ 178	R\$ 171	R\$ 185	R\$ 202
Fat. Líquido (R\$ MM)							
2º LFA	R\$ 2,0	R\$ 4,8	R\$ 4,9	R\$ 5,0	R\$ 4,9	R\$ 4,6	R\$ 4,3
Proinfa	R\$ 0,7	R\$ 1,1	R\$ 1,1	R\$ 1,1	R\$ 1,1	R\$ 1,1	R\$ 1,1
Spot	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 0,0
Consolidado	R\$ 2,7	R\$ 5,9	R\$ 6,0	R\$ 6,1	R\$ 6,1	R\$ 5,7	R\$ 5,4

Fonte: Domingos, Luiz. 2020

Na tabela 3 é apresentado o volume de geração de energia elétrica realizado durante os 7 meses de análise dos números de exportação de energia:

Tabela 3: Real de geração de energia 2020

Realizado 2020	abr-20	mai-20	jun-20	jul-20	ago-20	set-20	out-20
Volumes (MWh)	16.048	30.750	35.925	31.367	35.355	34.400	31.515
2º LFA	7.667	13.882	29.268	25.246	15.746	16.134	15.047
Proinfa	1.614	4.616	6.657	6.122	5.712	4.028	3.189
Spot	6.766	12.252	0	0	13.897	14.239	13.280
Preços (R\$/MWh)							
2º LFA	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 209	R\$ 212	R\$ 212	R\$ 212
Proinfa	R\$ 201	R\$ 201	R\$ 205	R\$ 205	R\$ 205	R\$ 205	R\$ 205
Spot	R\$ 366	R\$ 401	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 505	R\$ 521	R\$ 534
Fat. Líquido (R\$ MM)							
2º LFA	R\$ 1,4	R\$ 2,6	R\$ 5,4	R\$ 4,6	R\$ 2,9	R\$ 3,0	R\$ 2,8
Proinfa	R\$ 0,3	R\$ 0,8	R\$ 1,2	R\$ 1,1	R\$ 1,0	R\$ 0,7	R\$ 0,6
Spot	R\$ 2,2	R\$ 4,3	R\$ 0,0	R\$ 0,0	R\$ 6,2	R\$ 6,5	R\$ 6,2
Consolidado	R\$ 3,9	R\$ 7,7	R\$ 6,6	R\$ 5,7	R\$ 10,1	R\$ 10,3	R\$ 9,6

Fonte: Domingos, Luiz. 2020

Na sequência, um comparativo do volume do plano e real de geração e faturamento líquido relacionado ao período:

Tabela 4: Comparativo do volume de geração e faturamento 2020

Real. vs Budget	abr-20	mai-20	jun-20	jul-20	ago-20	set-20	out-20
Volumes (MWh)	1.583	-1.011	3.804	-1.546	2.600	3.863	2.378
Fat. Líquido (R\$ MM)	R\$ 1,2	R\$ 1,9	R\$ 0,7	-R\$ 0,4	R\$ 4,1	R\$ 4,6	R\$ 4,2

Fonte: Domingos, Luiz. 2020

Entre as resultado obtidos durante os 7 (sete) meses analisados, em 5 (cinco) ocasiões a geração de energia esteve acima do plano. Isso indica que, uma menor variação apresentada no Gráfico 2, induziu na entrega do volume final.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação das ações de manutenção e padronização na operação proporcionou uma expressiva redução do número de desarmes dos turbogeradores e uma maior estabilidade no sistema de geração de energia, conforme ilustrado no gráfico 2. O efeito da redução torna-se visível no monitoramento contínuo do volume de exportação de energia (MWh). A menor instabilidade no sistema alcançada com aumento da eficiência dos turbogeradores tornou possível a diminuição da perda de ritmo industrial, não desperdício de vapor e consumo efetivo do bagaço do processo entrega de energia nos contratos de leilão.

A análise dos dados possibilita assegurar que a redução da variabilidade foi acima do esperado e garantiu atendimento efetivo do plano de exportação com consequente redução da queima de bagaço.

Inicialmente os ganhos seriam estudados em “compra de bagaço evitada” aproximadamente R\$ 606.194,85 no ano anterior, porém, como o ano de 2020 foi excelente para o mercado spot de venda de energia, os ganhos adicionais devido ao excedente de energia exportada foram mais vantajosos, estimando o fechamento do ano safra com aproximadamente R\$ 18 milhões acima do plano (budget).

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informação de Geração (BIG) - Matriz Energética**. Disponível em: <Disponível em: <http://www.aneel.gov.br> >.

COELHO, S. T. **Mecanismo para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. 2009. 175 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Energia 2023 (PDE 2023)**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2015. Disponível em: <Disponível em: <http://www.epe.gov.br> >.

LOPES, O A. **Avaliação de métodos avançados de geração de energia elétrica na indústria de açúcar e bioenergia**. 2013. 66 p. Dissertação (Mestrado na área de Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

REIS, Lineu Belico. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2011, p.4.

STUCHI, J. F. **Biofertilizante: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer**. 2015, Cartilha. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

ÚNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Boletim “Bioeletricidade em números”**. Disponível em: <Disponível em: <https://unica.com.br/publicacoes/> >.