



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS: GESTÃO INDUSTRIAL

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E VENDA DE ENERGIA DE
UMA CENTRAL TERMELÉTRICA DE UMA USINA
SUCROALCOOLEIRA HIPOTÉTICA**

Aluna: Camila Corrêa Martins Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Martín Gómez Ravetti

Cubatão, Novembro de 2016.



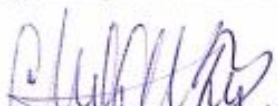
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS


INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL


**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E VENDA DE ENERGIA DE UMA
CENTRAL TERMELÉTRICA DE UMA USINA SUCROALCOOLEIRA
HIPOTÉTICA**

CAMILA CORREA MARTINS

Monografia apresentada aos Senhores:


PROF. MARTIN GÓMEZ RAVETTI - ORIENTADOR
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG


PROF. ANDERSON LAÉCIO GALINDO TRINDADE
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG


PROF. MAURÍCIO CARDOSO DE SOUZA
Departamento de Engenharia de Produção - UFMG

Belo Horizonte, 11 de novembro de 2016

© 2016, Camila Corrêa Martins Ferreira.
Todos os direitos reservados

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Ferreira, Camila Corrêa Martins.

F383p Planejamento da produção e venda de energia de uma central termelétrica de uma usina sucroalcooleira hipotética. / Camila Corrêa Martins Ferreira. – Belo Horizonte, 2016.
iii, 47f. : il.; 29 cm.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação.

Orientador: Martin Gómez Rzavetti.

1. Computação. 2. Energia termelétrica. 3. Biomassa. 4. Mercado de curto prazo. 5. Controle de produção. I. Orientador. II. Título.

CDU 519.6*61(043)

RESUMO

A energia elétrica produzida no Brasil é majoritariamente proveniente de usinas hidrelétricas, porém as usinas termelétricas tem importante participação neste mercado. As usinas termelétricas podem atuar em três ambientes distintos no comércio de energia: no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), no Ambiente de Contratação Livre (ACL) e no Mercado de Curto Prazo. Dentro deste último, o planejamento da produção em centrais termelétricas é importante para minimizar o custo na geração de energia, a qual tem seu preço de venda alterado semanalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o chamado Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Neste trabalho foi realizado o planejamento da produção de energia elétrica em uma central termelétrica movida à biomassa de cana-de-açúcar para venda no Mercado de Curto Prazo através da ferramenta Solver do Excel. Para o cenário principal, o PLD projetado foi obtido através de relatórios da CCEE e o planejamento da produção foi realizado considerando o caráter sazonal da cana-de-açúcar. Foram simulados outros cinco cenários com valores de PLD reais dos últimos anos. Devido aos valores de PLD previstos para os anos de 2016 e 2017 serem baixos, no primeiro cenário há prejuízo, este resultado se mostra útil para tomada de decisões, como operação, manutenção, gestão de estoques e contratação de funcionários. Em alguns dos demais cenários, os ganhos com a venda de energia atingiram valores significativos.

Palavras-chave: Mercado de Curto Prazo, Central Termelétrica, Biomassa, Planejamento da Produção.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 3 |
| 2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA | 4 |
| 2.1 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL..... | 4 |
| 2.2 OPERAÇÃO DAS CENTRAIS TERMELÉTRICAS | 8 |
| 2.3 BAGAÇO E PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 10 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 4 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO SISTEMA | 16 |
| 4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA | 16 |
| 4.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA | 17 |
| 4.3 CENÁRIOS E INSTÂNCIAS CONSIDERADOS..... | 23 |
| 4.4 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS E CUSTOS OPERACIONAIS | 25 |
| 4.4.1 Armazenamento e transporte de biomassa | 25 |
| 4.4.2 Operação da central termelétrica..... | 28 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 31 |
| 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |
| APÊNDICE A | 42 |

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é um assunto de grande interesse na atualidade, pois o consumo de energia elétrica no Brasil cresce em uma taxa muito maior do que a capacidade de armazenamento dos reservatórios das usinas hidrelétricas, principalmente em momentos de poucas chuvas. As centrais termelétricas complementam a energia das hidrelétricas, disponibilizando a energia gerada através do mercado de contratação regulada ou do mercado livre.

Toda a energia elétrica escassa ou excedente é comprada e vendida pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. A CCEE contabiliza as diferenças entre a energia elétrica que foi produzida ou consumida e a energia que foi contratada no Brasil. As diferenças positivas ou negativas são liquidadas no Mercado de Curto Prazo e valoradas ao PLD (Preço de Liquidação das Diferenças), determinado semanalmente.

O planejamento de produção de usinas termelétricas no Brasil é importante para maximizar o lucro individual destas usinas no Mercado de Curto Prazo, mercado que sofre de grande variação.

Com a utilização de biomassa de cana-de-açúcar como combustível em centrais termelétricas, um importante fator a ser considerado é o planejamento de estoque do bagaço e do palhico da cana-de-açúcar, pois estes insumos são produzidos sazonalmente, por um período de seis a sete meses ao ano.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é o planejamento da produção de uma termelétrica de uma usina sucroalcooleira hipotética, visando maximização dos lucros com a venda de energia elétrica no Mercado de Curto Prazo.

O planejamento da produção é realizado atendendo a parâmetros como quantidade e eficiência de conversão de calor das matérias-primas escolhidas e adequando o consumo e estoque destas aos meses de maior preço ofertado pela energia elétrica disponibilizada no mercado nacional.

O modelo é implementado no software Excel e otimizado através da ferramenta Solver, em um horizonte de um (01) ano. O modelo é simulado em um cenário principal que tem como base os valores de PLD projetados para o período de Maio de 2016 a Abril de

2017 e, para validação do modelo e análise de condições distintas do cenário principal, serão utilizados outros cinco cenários com os PLD's reais que estiveram em vigor entre os anos de 2011 a 2016.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

2.1 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014), o Brasil conta com diversas usinas hidrelétricas espalhadas pelo território nacional, que juntas produzem cerca de 70% da energia do país. As termelétricas, que podem utilizar diversos tipos de combustíveis ou o calor gerado por fissão nuclear, também têm participação considerável na matriz energética brasileira, representando em torno de 28% da energia gerada.

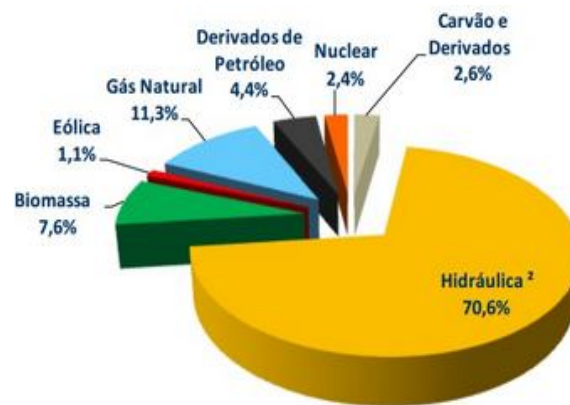


Figura 1 – Matriz energética brasileira. Fonte: EPE, 2014.

De acordo com Souza (2009), as sérias dificuldades para construção de grandes hidrelétricas devido a restrições financeiras experimentadas pelos grandes geradores e, em menor escala, a entraves no licenciamento ambiental, levaram o governo no final da

década de 1990 a buscar alternativas para assegurar o fornecimento de energia e que proporcionassem, ao mesmo tempo, o aumento da eficiência do parque gerador do Sistema Interligado Nacional. A alternativa identificada foi o aumento da capacidade instalada de geração de energia elétrica em termelétricas.

Segundo David (2013), a partir do racionamento de energia elétrica ocorrido em 2001, com grandes impactos no Brasil, ampliou-se a preocupação com a expansão da geração de energia elétrica no país. Como resultado foi editada a Lei nº 10.848 em 2004, para adoção de inúmeras medidas no setor elétrico.

De acordo com Sousa (2009), a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, tem como objetivos principais a garantia do suprimento de energia e a modicidade tarifária. O ato regulamentado pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, introduziu várias alterações na legislação setorial, uma das mais importantes foi o fortalecimento do mecanismo de leilões públicos para a concessão do direito de exploração de potenciais hidrelétricos.

De acordo com Walvis (2014), a Lei nº 10.848 criou dois ambientes para contratação de energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), no formato de leilão; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Ainda coube a esta lei autorizar a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, em substituição ao Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE).

Para o ambiente de contratação regulada, por meio de leilões públicos realizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, as empresas transmissoras obtêm concessões válidas por trinta anos, sendo a vencedora a empresa que ofertar a menor tarifa.

Peretti (2011) descreve que no ACL as transações ocorrem no mercado de balcão, em que consumidores livres, comercializadoras e até outras geradoras compram energia diretamente do gerador por meio de contratos bilaterais. São características do ACL a flexibilidade dos contratos, prazos geralmente mais curtos e preços maiores que os praticados em leilões de energia ocorridos no ACR.

Na Figura 2 é possível verificar a participação do ACR e do ACL no Sistema Interligado Nacional – SIN na atualidade.

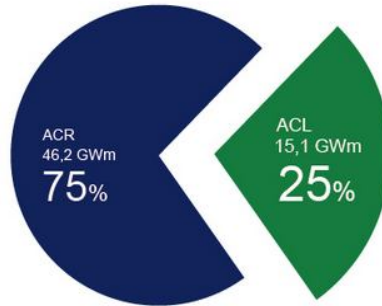


Figura 2 – Participação do Mercado Livre de Energia no Sistema Interligado Nacional. Fonte: Mercado Livre de Energia Elétrica, 2015.

De acordo com a página oficial na internet do Mercado Livre de Energia, o ACL foi, em 2015, responsável por 25% de toda a carga do Sistema Interligado Nacional – SIN. O submercado Sudeste/Centro-Oeste responde por 64% do mercado livre nacional, enquanto os submercados Sul e Nordeste representam 13% cada um e Norte, 10%.

O preço praticado no Mercado de Curto Prazo de energia no Brasil é proveniente da liquidação de diferenças entre os montantes gerados, contratados e consumidos nos ACR e ACL. Este preço é conhecido como preço de liquidação das diferenças (PLD) e seu valor é calculado semanalmente pela CCEE. No Mercado de Curto Prazo não existem contratos, ocorrendo a contratação multilateral. As variáveis que afetam o modelo de precificação do PLD são as condições hidrológicas, a demanda de energia, os preços de combustível, o custo de déficit, a entrada de novos projetos e a disponibilidade de equipamentos de geração e transmissão.

Segundo Newbery (1998), um mercado de curto prazo cumpre algumas funções importantes: aumento da flexibilidade das transações relacionadas à energia; permissão de ajustes entre a energia contratada e a energia gerada e é referência para contratos de longo prazo. Ou seja, um mercado de curto prazo ou *spot* é um importante mecanismo de ajuste entre demandantes e ofertantes.

A Figura 2 apresenta o gráfico histórico do PLD, observado no sistema Sudeste/Centro-Oeste de Janeiro de 2011 a Dezembro de 2015.

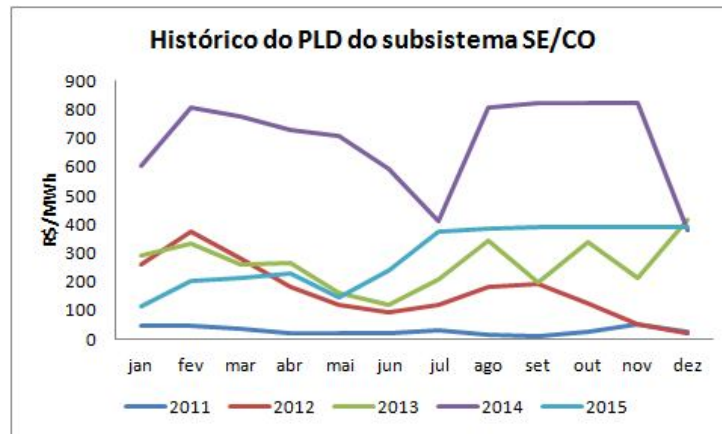


Figura 3 – Gráfico histórico do PLD médio do subsistema SE/CO (Sudeste/Centro-Oeste), de Janeiro de 2011 a Dezembro de 2015. Fonte: CCEE, 2016.

Na Figura 3 pode-se observar o comportamento sazonal do custo marginal da energia, com tendência à queda do preço nos meses de inverno (entre Maio e Setembro).

Para cálculo do PLD, a CCEE utiliza dois programas: Newave e Decomp. Segundo Santos (2013), o modelo Newave é utilizado para o planejamento da operação; trata as usinas hidrelétricas agrupadas por subsistema e possui estágios mensais. Ele é considerado um modelo de longo prazo (5 anos). Já o modelo Decomp é utilizado para a programação da operação; trata as usinas hidrelétricas de forma individualizada; possui estágios semanais no primeiro mês, e mensais a partir do segundo mês e é considerado um modelo de médio/curto prazo (2 meses). A programação da operação da semana seguinte, bem como o PLD válido para essa semana, são calculados através do modelo Decomp.

De acordo com a CCEE (2016), o objetivo do programa Newave é determinar a estratégia de geração hidráulica e térmica em cada estágio que minimiza o valor esperado do custo de operação para todo o período de planejamento. Um dos principais resultados desse modelo são as funções de custo futuro, que traduzem para os modelos de outras etapas (de curto prazo) o impacto da utilização da água armazenada nos reservatórios. O objetivo do programa Decomp é determinar o despacho de geração das usinas hidráulicas e térmicas que minimiza o custo de operação ao longo do período de planejamento, dado o conjunto de informações disponíveis (carga, vazões, disponibilidades, limites de transmissão entre subsistemas, função de custo futuro do

Newave). O PLD é limitado por valores mínimo e máximo de acordo com a legislação da ANEEL, com validade entre a primeira e a última semana operativa de preços do ano.

2.2 OPERAÇÃO DAS CENTRAIS TERMELÉTRICAS

De acordo com Santos (2012), a planta termelétrica é basicamente composta por um gerador de vapor e um turbogerador, responsável pela conversão da energia proveniente do vapor em energia elétrica.

Santos (2012) descreve o funcionamento de uma usina termelétrica que utiliza a biomassa como combustível. Os geradores de vapor, chamados de caldeira, utilizam a energia química liberada durante a combustão da biomassa para promover a mudança de fase da água do estado líquido para vapor, a uma pressão várias vezes maior que a atmosférica. Não há contato entre a biomassa e a água neste processo. O vapor resultante pode ser utilizado para acionamento de máquinas térmicas, para geração de energia mecânica e elétrica, ou para fins de aquecimento no processo industrial. Os tipos de caldeira e suas características construtivas variam em função do combustível a ser utilizado.

As turbinas a vapor são máquinas rotativas que transformam a energia cinética do vapor em energia mecânica no seu eixo. Para a geração de energia elétrica, as turbinas são ligadas a um gerador síncrono, sendo o conjunto destes equipamentos chamado turbogerador.

Segundo Lora & Nascimento (2004), os equipamentos de um sistema de potência a vapor podem ser divididos em blocos, conforme Figura 4.

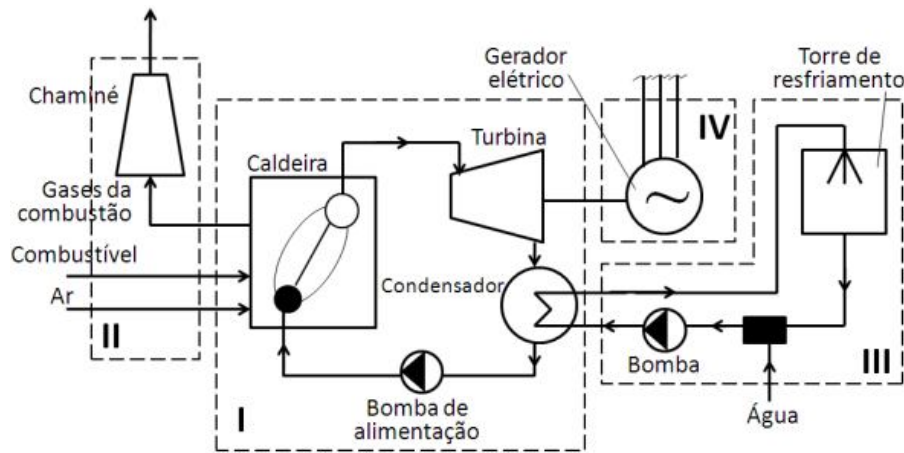


Figura 4 – Esquema simplificado de um sistema de potência a vapor. Fonte: Lora & Nascimento, 2004.

No bloco identificado como I estão os principais equipamentos de um ciclo de geração de potência mecânica, são eles: caldeira, turbina a vapor, condensador e bomba de água de alimentação. Este ciclo é conhecido como ciclo Rankine, mas pode variar a sua configuração de planta para planta.

No bloco II estão os equipamentos de manuseio do combustível e exaustão dos gases de escape à atmosfera. No bloco III estão os equipamentos do sistema de resfriamento da água do condensador e reposição de água ao ciclo. No bloco IV está o gerador síncrono para a conversão de energia mecânica em elétrica.

Segundo Pellegrini (2002), quando o combustível a ser utilizado é o bagaço de cana-de-açúcar, o mesmo pode ser lançado na fornalha na forma em que é recebido na usina, projetado por meio de espalhadores sobre a grelha ou soprado junto com o ar primário.

Para a queima do palhiço em caldeiras, este material pode ser enviado diretamente ou passar por beneficiamento, por processos de separação e/ou moagem.

Laças (1984) apresenta como vantagens do aproveitamento do bagaço para geração de energia: ser um recurso abundante, renovável e disponível em diversas formas, com produção descentralizada utilizando recursos regionais e, redução da poluição ambiental com relação ao uso de combustíveis fósseis. Estas vantagens estendem-se para o aproveitamento do palhiço na geração de energia.

2.3 BAGAÇO E PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Segundo Pelegrinni (2002), a cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas do Brasil, sendo cultivada desde a época da colonização. Sua produção sempre teve como meta atender diretamente ao mercado interno e/ou externo do açúcar e do álcool, porém, desde o surgimento desse tipo de cultura no país, pouca atenção foi dedicada ao aproveitamento comercial de seus resíduos ou subprodutos, atribuída, provavelmente, ao desconhecimento de uma aplicação mais ampla do que aquela até então praticada pelo setor sucroalcooleiro.

Em termos energéticos, a partir da cana-de-açúcar, além da produção do álcool combustível e do açúcar, tem-se também a geração de energia elétrica através da queima do bagaço e palhiço.

O bagaço de cana tem sido historicamente usado como combustível nas usinas, pelo menos desde o início deste século, quando passou a substituir a lenha nas caldeiras.

Outro material que pode ser utilizado é a palha (ou palhiço) de cana-de-açúcar. Segundo Ripoli & Ripoli (2004), o palhiço é o material remanescente sobre a superfície do talhão após a colheita, principalmente a mecanizada, constituído de folhas verdes, palhas (folhas secas), ponteiros e/ou suas frações; frações de colmos (industrializáveis ou não); eventualmente, frações de raízes e partículas de terra a eles aderida.

Linero (2012) considera que o bagaço da cana-de-açúcar (com 50% de umidade) tem poder calorífico inferior (PCI) de 1.710 Kcal/kg, enquanto o palhiço (com 15% de umidade) tem PCI de 3.100 Kcal/kg. O poder calorífico inferior considera o calor produzido com base no peso úmido do material.

Devido à produção de cana-de-açúcar ser sazonal, entre seis a sete meses no ano, (variando-se os meses de safra de acordo com a região) é importante que haja planejamento do estoque do bagaço a ser utilizado para geração de energia.

De acordo com Pellegrini (2002), o bagaço resultante da extração do caldo da cana para produção de etanol é levado por uma esteira até as caldeiras e a sobra do bagaço é enviada para um depósito ao ar livre, onde pode retornar para a produção de vapor.

Pellegrini (2002) ainda comenta que um fator muito importante quando se armazena o bagaço é reduzir seu teor de umidade, pois quando se armazena o bagaço, uma fermentação com desprendimento de calor é estimulada, o que afeta diretamente as características do material, deteriorando-o e, muitas vezes, provocando uma combustão espontânea não desejável. O bagaço de cana, portanto, necessita passar por um beneficiamento que viabilize sua estocagem e, conseqüentemente, melhore o seu aproveitamento como insumo energético ou como matéria-prima industrial.

Segundo Pellegrini (2002), o empilhamento dos fardos pode ser realizado em forma cúbica ou piramidal, com espaçamento suficiente para permitir a passagem de empilhadeiras e a ventilação entre os mesmos. Neste sistema é possível uma mecanização completa do manuseio do bagaço, tornando o custo operacional bastante baixo. Os fardos podem ser estocados ao ar livre sendo cobertos apenas por uma lona.

Isto quer dizer que caso o bagaço seja armazenado, o tempo em que o mesmo ficará em estoque influirá pouco no custo, pois o maior custo é referente a transporte e preparação do bagaço.

Na Figura 5 é mostrada uma prensa enfardadora para bagaço de cana-de-açúcar.



Figura 5 – Prensa hidráulica enfardadora da marca Ability. Fonte: Site da Ability (Acesso em 07/04/2016)

Segundo DeFillipe (2013), muitos estudos estão sendo feitos para o aproveitamento da utilização do palhiço remanescente no campo, como combustível complementar para as caldeiras das usinas, aumentando a capacidade de geração de bioeletricidade junto com o bagaço da cana-de-açúcar que já é usualmente empregado para esse fim. O palhiço

remanescente no terreno, anteriormente, era queimado após a colheita mecanizada da cana. Diversas alternativas de recolhimento do palhiço remanescente da colheita da cana já foram amplamente estudadas e avaliadas. Após o recolhimento, o palhiço passa por beneficiamento e estocagem semelhante a do bagaço da cana.

A rota do enfardamento do palhiço, segundo Pierossi et al. (2012), consiste em aguardar, de 4 a 7 dias após a colheita mecânica crua da cana-de-açúcar, a secagem natural do palhiço remanescente no campo, inicialmente numa umidade média de 40% reduzida após este período entre 10% e 15%, sendo esse intervalo o ideal para iniciar as operações de recolhimento. Na Figura 6 é mostrada a operação de enleiramento, ou aleiramento, do palhiço.



Figura 6 - Operação de enleiramento do palhiço da cana-de-açúcar.

Fonte: Pierossi et al., 2012.

Na Figura 7, pode-se observar a operação de enfardamento do palhiço da cana-de-açúcar.



Figura 7 - Operação de enfardamento cilíndrico do palhiço da cana-de-açúcar.

Fonte: Pierossi et al., 2012.

Na Figura 8 é mostrada uma imagem como exemplo de estoque de palhico de cana-de-açúcar.



Figura 8 – Estoque de palhico de cana-de-açúcar. Fonte: Bernardes, 2015.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O sistema de planejamento e controle da produção é responsável pelo planejamento e controle do fluxo de materiais através dos processos de manufatura (Arnold & Stephen, 2001). Segundo Axsater (1982), o objetivo do planejamento da produção é garantir que as considerações de longo prazo não sejam ignoradas nas tomadas de decisão de curto prazo. Singhal & Singhal (2007) consideram o objetivo do planejamento da produção de maneira mais abrangente, colocando-o como elo entre os diversos setores da empresa, como o financeiro, vendas, produção, marketing, entre outros.

No Brasil, para o caso da energia elétrica comercializada no Mercado de Curto Prazo, possivelmente a maior dificuldade no planejamento de produção a médio e longo prazo é a grande variação do preço de venda, que irá determinar o horizonte de planejamento de estoque de matéria-prima, os regimes de mão de obra, as datas de paradas para manutenção etc.

A safra na região norte-nordeste vai de setembro a março e na região centro-sul vai de maio a novembro (Dantas, 2009). Sendo assim, para que o lucro com geração de energia elétrica seja maximizado, é importante objetivar um adequado planejamento de utilização dos recursos para a geração de energia nos momentos de preço mais elevado no mercado.

Segundo Newbery (1998), o entendimento da estrutura do mercado de eletricidade (número e papel dos geradores, consumidores e comercializadores do sistema elétrico, a oferta e a procura no mercado de energia, etc.) é a primeira ação a empreender na definição de estratégias de operação ótima para unidades geradoras.

O trabalho de Frangopoulos et al. (1996) tratou de otimizar termoeconomicamente uma planta de cogeração com uma refinaria. A planta podia comprar ou vender energia para a rede elétrica e possuía flexibilidade para atender diferentes demandas energéticas. O objetivo era minimizar os custos operacionais com a definição de quanto vender ou comprar de energia.

Lazzareto & Carraretto (2006) propuseram o planejamento da produção de uma usina termelétrica movida a combustíveis não renováveis (carvão e óleo combustível) com intenção de máximo lucro em um mercado de grande dinamismo nos preços de compra e venda de energia. Os parâmetros de maior relevância no planejamento foram o preço de venda da energia e os custos dos combustíveis.

De acordo com Shabani & Sowlati (2013), a maioria dos estudos de planejamento de produção em unidades de geração e venda de energia considera como função objetivo a maximização do lucro ou a minimização dos custos. As variáveis de decisão nestes modelos incluem parâmetros tais como a disponibilidade, o custo, a qualidade e a eficiência de conversão de calor da matéria-prima. Shabani & Sowlati (2013) utilizaram a programação inteira não linear mista para confecção do algoritmo que analisa a viabilidade de geração de energia com a utilização de biomassa florestal, considerando custos de coleta, preparação e transporte da biomassa, assim como custos de operação e manutenção da unidade termelétrica. Foram simulados cenários com máximo fornecimento de matéria-prima e com investimento em um novo sistema de recuperação de cinzas, avaliando o retorno econômico de uma maior geração de vapor e energia elétrica.

O trabalho de Shabani & Sowlati (2013) se assemelha ao presente trabalho no que tange à intenção de redução do custo de produção de uma central termelétrica com utilização de matéria-prima à base de biomassa com a otimização do planejamento de produção através de um modelo de programação não linear. Os trabalhos são diferentes no que diz respeito à utilização de um preço fixo de venda de energia, determinação de cenário com condições de oferta máxima de matéria-prima e considerações de investimentos por Shabani & Sowlati (2013).

Nagel (2000) utiliza a otimização linear inteira mista para avaliar a dinâmica econômica de uma central produtora e vendedora de energia elétrica com motivação de lucro. Os cenários de decisão são fundamentados nas condições que podem ter influência no sistema, como: preço de combustíveis, custos de investimentos, preço de venda de energia, abastecimento de combustíveis etc.

Sharma et al. (2013) desenvolveram um modelo de programação estocástica para incluir a incerteza em vários parâmetros da cadeia de abastecimento de uma fábrica de bioetanol. Os parâmetros incertos foram o rendimento das culturas e preço, bem como a demanda do produto e preço. Eles concluíram que o modelo estocástico superou o modelo determinístico sob incerteza. Apesar de a unidade estudada por Sharma et al. (2013) não ser uma central termelétrica, poderia ser realizada uma analogia com a questão da produção de energia para venda em mercado *spot* em relação ao fornecimento de biomassa, porém no presente trabalho, para fins de simplificação, considerou-se exata a produção de cana-de-açúcar e o rendimento dos subprodutos utilizados.

Vários autores tratam do planejamento da produção em centrais termelétricas em relação ao aumento da eficiência das plantas com minimização do custo operacional, através de otimização de design da planta e gestão de abastecimento, Eriksson & Björheden (1989), Gunnarsson, Rönnqvist & Lundgren (2004), Kanzian et al. (2009), Freppaz et al. (2004) e Van Dyken, Bakken & Skjelbred (2010) desenvolveram modelos de otimização para determinar o fluxo ideal, transporte e armazenamento de matéria-prima e localização dos sistemas geradores de energia, principalmente centrais termelétricas.

Van Dyken, Bakken & Skjelbred (2010) apresentaram um modelo inteiro linear misto para os componentes básicos de uma cadeia de fornecimento de biomassa, incluindo

fornecimento, processamento, armazenamento e demanda de diferentes tipos de biomassa. O foco principal do modelo é a representação da relação entre o teor de água e o potencial de energia e os efeitos da secagem de matéria-prima para a otimização da eficiência térmica.

Alguns trabalhos, como o de Santibanez-Aguilar et al. (2011), além de objetivar maior lucratividade em sistemas de transformação de biomassa, no caso em biorrefinarias, envolvem também a otimização de aspectos ambientais. Um modelo multiobjetivo considerou, simultaneamente, a maximização do lucro e minimização do impacto ambiental. A função objetivo econômica levou em conta a disponibilidade de recursos, limites de processamento e demanda de produtos, bem como os custos de matérias-primas, produtos e rotas de processamento.

Não foram encontradas referências abundantes sobre a otimização da produção de centrais termelétricas movidas à biomassa e não foi encontrada nenhuma referência sobre a otimização de produção de plantas termelétricas movidas à biomassa voltadas para participação exclusiva no Mercado de Curto Prazo de energia brasileiro, com preço de venda de energia variável, como é realizado no presente trabalho.

4 DESCRIÇÃO E MODELAGEM DO SISTEMA

Neste capítulo é apresentado, inicialmente, o modelo de planejamento da produção de uma central termelétrica hipotética que gera energia elétrica para venda no mercado *spot*, objetivando-se lucro máximo na venda. O preço de venda no Mercado de Curto Prazo sofre variações ao longo do ano, sendo importante a utilização de ferramentas de auxílio à decisão de quando produzir e vender energia elétrica.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

No presente trabalho, foi objetivada a maximização do lucro com venda de energia no mercado *spot* através de programação não linear, considerando-se principalmente a variação no lucro a ser obtido com a venda de energia, em função do dinamismo dos preços de liquidação de diferenças; e as variações nos custos entre os dois tipos de biomassa provenientes da cana-de-açúcar disponíveis, bagaço e palhiço, decorrentes de diferenças no potencial energético entre eles, processamento e considerando-se estocagem ou não.

Os parâmetros utilizados no modelo incluem aspectos tais como a disponibilidade, o custo e a eficiência de conversão de calor do bagaço e palhiço da cana-de-açúcar. Neste modelo, estes aspectos são tratados como determinísticos, embora, na realidade, possam estar sujeitos a variações por fatores climáticos e também variações intrínsecas da cultura de cana cultivada.

As variáveis de decisão devem fornecer informações acerca da quantidade de bagaço e palhiço a ser consumida a cada mês e a quantidade de bagaço e palhiço para ser armazenada em cada mês.

Para a decisão de se produzir ou não no mês em questão, é verificado o valor de PLD previsto (para o cenário principal) ou ocorrido (nos demais cenários), em que se o custo específico de produção for menor que o PLD referente a este mês, a produção é dada como viável.

A previsão para o valor do PLD no ano de planejamento Maio de 2016 a Abril de 2017, utilizada no cenário 1, ou também chamado de cenário principal, é proveniente da publicação “Apresentação Info PLD – Abril/ 2016”, elaborada pela CCEE.

4.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O modelo deve objetivar a combinação ótima da taxa de produção, mão de obra e recursos para lucro na venda de energia com preço indicado pelo PLD projetado.

O horizonte de planejamento é de um (01) ano com passos mensais, se iniciando em todos os cenários em Maio (início da safra de cana-de-açúcar) e finalizando em Abril:

$$t = \{\text{Maio}, \dots, \text{Abril}\} \quad (1)$$

E as matérias-primas são o bagaço e o palhiço:

$$i = \{\text{bagaço}, \text{palhiço}\} \quad (2)$$

As variáveis de decisão do problema são:

- e_t : quantidade de energia a ser produzida no mês t em MWh;
- s_{it} : quantidade de matéria-prima i em toneladas no estoque ao final do mês t ;
- c_{it} : quantidade de matéria-prima i em toneladas consumida no mês t ;
- y_t : produzir ou não no mês t ;
- y_{it} : consumiu ou não matéria-prima i no mês t proveniente de estoque.

E os parâmetros a se considerar são:

- C_t : capacidade de produção de energia da central termelétrica no mês t em MWh;
- x_{it} : quantidade de matéria-prima i em toneladas cultivada no mês t ;
- q_t : custo fixo com a central termelétrica em R\$ no mês t ;
- $q_{operando}$: custo fixo com a central termelétrica operando em R\$;
- q_{parada} : custo fixo com a central termelétrica parada em R\$;
- q_{c_t} : custo de contratação de funcionários em R\$ no mês t ;
- q_c : custo de contratação em R\$;
- q_{p_i} : custo de preparo da matéria-prima em R\$/tonelada da matéria-prima i ;
- q_{e_i} : custo de estoque da matéria-prima em R\$/tonelada da matéria-prima i ;
- p_t : valor do PLD em R\$ no mês t ;
- e_i : potencial energético da matéria-prima em MWh/t da matéria-prima i ;

A função objetivo do modelo é mostrada na Equação 3.

Maximize lucro (3)

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{t=1}^T (p_t \cdot e_t \cdot y_t) \\
 &- \sum_{t=1}^T q_t \\
 &- \sum_{t=1}^T qc_t \\
 &- \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^i (qp_i \cdot c_{it} \cdot y_t) \\
 &- \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^i (qe_i \cdot (c_{it} - x_{it}) \cdot y_{it}) \quad [\text{para todo } i, t]
 \end{aligned}$$

Em que a função objetivo é composta dos seguintes termos:

1) Preço da energia no mercado livre:

$$\sum_{t=1}^T (p_t \cdot e_t \cdot y_t) \quad (4)$$

Para se maximizar o lucro, deve ser avaliada a diferença entre o valor de venda de energia no mercado livre e o custo de geração da energia, faz-se necessário então considerar o valor de venda da energia total gerada no mês t . É importante observar que o primeiro termo de venda entra com sinal positivo na função objetivo de maximização de lucro e os demais termos, que representam os custos, entram com sinal negativo.

2) Custo fixo da central termelétrica:

$$- \sum_{t=1}^T q_t \quad (5)$$

Em que todo mês haverá um custo fixo da central termelétrica, variando-se o custo se ela estiver parada ou operando.

3) Custo de contratação de funcionários:

$$- \sum_{t=1}^T qc_t \quad (6)$$

Os cálculos de custos fixos de central termelétrica e contratação de funcionários serão mostrados mais adiante com o auxílio de uma variável binária de decisão de operação.

4) Custo de preparação das matérias-primas:

$$- \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^i (qp_i \cdot c_{it} \cdot y_t) \quad (7)$$

5) Custo de estocagem das matérias-primas:

$$- \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^i (qe_i \cdot (c_{it} - x_{it}) \cdot y_{it}) \quad (8)$$

De acordo com o modelo, o custo de preparação das matérias-primas, assim como o custo de estoque, será contabilizado como custo no mês em que efetivamente houver o consumo da referida matéria-prima, seja ela apenas preparada ou preparada e estocada.

Para o termo referente a custo com estocagem, considera-se que toda matéria-prima consumida que não foi produzida naquele mesmo mês é proveniente de estoque. A variável y_{it} foi utilizada com a ajuda da função “SE” do Excel, a fim de que o termo da Equação 8 não fosse transformado em positivo devido a um possível consumo menor que a produção no mês t .

Considera-se que não há nenhum custo adicional ao modelo no período analisado caso haja estoque ao final do período anual analisado, pois no caso de sobra, pode ser realizada doação das matérias-primas, desde que os custos para retirada do parque agrícola-industrial sejam pagos pelo beneficiário.

No modelo foram consideradas as restrições mostradas nas Equações/Inequações de 9 a 13:

$$y_t \in \{0,1\} \quad [\text{para todo } t] \quad (9)$$

Em que “1” indica que há produção no mês t e “0” que não há produção no mês t .

A Inequação 10 mostra que a quantidade consumida de matéria-prima deve ser inferior ou igual à quantidade disponível, ou seja, deve ser inferior à soma da quantidade cultivada no mês t e a quantidade disponível em estoque ao fim do mês anterior a t , caso o mês t seja um mês em que a central termelétrica deva operar:

$$c_{it} \leq (x_{it} + s_{i(t-1)}) \cdot y_t \quad [\text{para todo } i, t] \quad (10)$$

$$e_t \leq C_t \quad [\text{para todo } t] \quad (11)$$

A capacidade em t (C_t) é calculada a partir da capacidade de 40 MWh/h da central termelétrica, multiplicada pelo número de horas no mês t .

As restrições 12 e 13 se referem ao fato de que o estoque e o consumo não podem ser negativos:

$$s_{it} \geq 0 \quad [\text{para todo } i, t] \quad (12)$$

$$c_{it} \geq 0 \quad [\text{para todo } i, t] \quad (13)$$

O cálculo do custo de operação é mostrado nas Equações 14-a e 14-b e o cálculo do custo de contratação de funcionários na Equação 15:

$$q_t = q_{\text{operando}} \cdot y_t - q_{\text{parada}} \cdot (y_t - 1) \quad [\text{para todo } t] \quad (14-a)$$

Sendo que:

$$q_{\text{operando}} = q_{\text{fixo}} + q_{\text{variável}} \cdot e_t \quad [\text{para todo } t] \quad (14-b)$$

$$qc_t = -qc \cdot y_t \cdot (y_{(t-1)} - 1) \quad [\text{para todo } t] \quad (15)$$

Como pode ser visualizado na Equação 15, para a contratação de funcionários são consideradas as informações i) se há operação no mês t e ii) se no mês anterior houve operação.

A Equação 16 mostra a relação entre produção, estoque e consumo. Em que é estoque do mês t toda a matéria prima que i) estava em estoque no mês anterior ao mês t e ii) é produzida e não é consumida no mês t.

Considera-se estoque inicial igual a zero.

$$s_{it} = x_{it} - c_{it} + s_{i(t-1)} \quad [\text{para todo } i, t] \quad (16)$$

E, por fim, a Equação 17 apresenta a produção de energia total no mês t , de acordo com os potenciais de geração de cada matéria-prima.

$$e_t = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^i (e_i \cdot c_{it}) \quad [\text{para todo } i, t] \quad (17)$$

4.3 CENÁRIOS E INSTÂNCIAS CONSIDERADOS

A CCEE elabora semanalmente um relatório intitulado “Info PLD” com o objetivo de, dentre outras coisas, apoiar as empresas que atuam no setor de energia elétrica nas áreas de geração, distribuição e comercialização em suas análises de mercado.

Na Figura 9 é mostrado um gráfico do PLD do subsistema SE/CO de Janeiro de 2014 até Março de 2016, com projeção do PLD para os meses de Abril de 2016 a Maio de 2017.

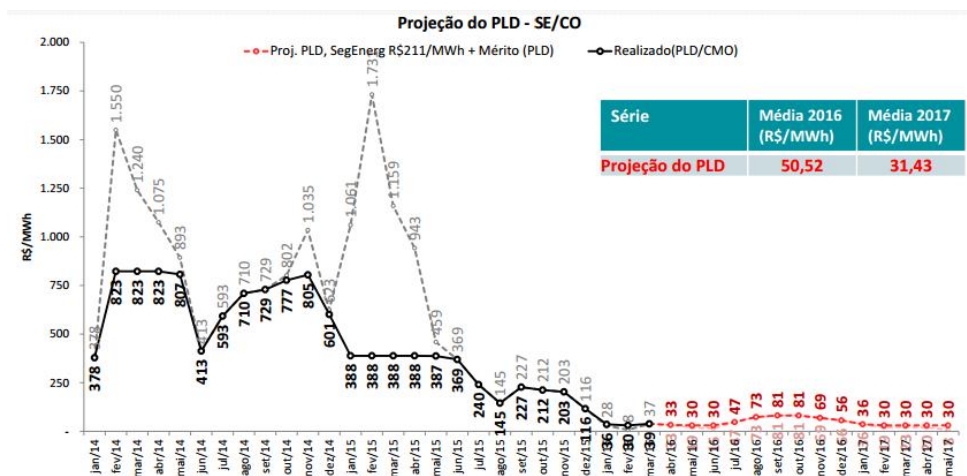


Figura 9- Gráfico de projeção do PLD do subsistema SE/CO de Abril de 2016 a Maio de 2017.

Fonte: Apresentação Info PLD – Abril/2016, 2016.

Os valores de PLD previstos para os meses de Abril de 2016 a Maio de 2017 podem ser mais bem visualizados através da Tabela 1.

Tabela 1- Valores de projeção do PLD (R\$/MWh) do subsistema SE/CO de Maio de 2016 a Abril de 2017

| 05/16 | 06/16 | 07/16 | 08/16 | 09/16 | 10/16 | 11/16 | 12/16 | 01/17 | 02/17 | 03/17 | 04/17 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 30 | 30 | 47 | 73 | 81 | 81 | 69 | 56 | 36 | 30 | 30 | 30 |

Fonte: Apresentação Info PLD – Abril/2016, 2016.

Como se pode observar, os valores previstos de PLD para 2016 e 2017 estão mais baixos que os valores dos anos anteriores. Segundo Montenegro (2016), isto ocorre devido principalmente ao aumento da capacidade instalada de geração e de novas instalações de transmissão que mantém o sistema elétrico “estruturalmente equilibrado”. Há uma capacidade de 7.223 MW a ser instalada até Dezembro de 2016 e há sobra estrutural de energia em torno de 12.899 MW médios.

Foram analisados seis cenários. O cenário principal é referente aos valores previstos de PLD para o período de Maio de 2016 a Abril de 2017, período em que se deseja de fato definir o planejamento da produção; os cenários 2 a 6 são referentes a períodos anuais desde Maio do ano de 2011 a Abril do ano de 2016. O objetivo é a comparação de ganhos e de complexidade do planejamento para valores distintos. Os cenários 2 a 6 em função dos valores de PLD podem ser visualizados através da Tabela 2.

Tabela 2- Valores de PLD utilizados nos cenários de 2 a 6, entre Maio de 2011 a Abril de 2016

| Cenário | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2 (11-12) | 17 | 32 | 23 | 20 | 21 | 37 | 46 | 44 | 23 | 51 | 125 | 193 |
| 3 (12-13) | 181 | 118 | 91 | 119 | 183 | 280 | 376 | 260 | 414 | 215 | 340 | 196 |
| 4 (13-14) | 345 | 208 | 121 | 163 | 266 | 261 | 331 | 291 | 378 | 823 | 823 | 823 |
| 5 (14-15) | 807 | 413 | 593 | 710 | 729 | 777 | 805 | 601 | 388 | 388 | 388 | 388 |
| 6 (15-16) | 387 | 373 | 240 | 145 | 227 | 212 | 203 | 116 | 36 | 30 | 38 | 49 |

Fonte: CCEE, 2016.

Os geradores de instâncias propostos (um para cada cenário) consideram os potenciais energéticos e custos de matérias-primas disponíveis, custos de operação, capacidade de geração de energia e preço de venda de energia. Optou-se em variar apenas os preços de venda de energia entre os cenários, mantendo-se os custos e parâmetros de operação entre todos, porém em uma usina real a cada geração de instâncias devem ser inseridos valores atualizados de custos e parâmetros, os quais variam não só no tempo, mas de usina para usina, devido às diferentes condições técnicas de equipamentos e processos.

O modelo foi elaborado em ambiente Excel, sendo utilizada a função Solver para a sua resolução. *Solver* é um termo referente a um comando de algum software genérico que soluciona equações matemáticas. Foi escolhido o algoritmo “Gradação Reduzida Generalizada (GRG) Não Linear”, utilizado para problemas simples não lineares.

4.4 DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS E CUSTOS OPERACIONAIS

Nesta seção são apresentados os parâmetros e custos considerados no modelo.

4.4.1 Armazenamento e transporte de biomassa

A capacidade de produção de bagaço e palhaço de cana-de-açúcar para esta usina hipotética é mostrada na Tabela 3. Foi utilizado o valor de 863 hectares de cana-de-açúcar plantada como referência.

Tabela 3 – Capacidade de produção de bagaço e palhaço na usina

| Material | Capacidade (t/ha) | Capacidade (t) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| Bagaço | 33,00 | 28.479 |
| Palha | 31,33 | 27.038 |

Fonte: Adaptado de Viana, 2011.

Galon, Andrade & Andrade (2014) realizaram levantamento de custos de armazenamento e transporte de palhiço de cana-de-açúcar da empresa Pitangueiras Açúcar e Álcool LTDA. Para o presente trabalho foi considerada atualização de valores com o Índice Geral de Preços do Mercado (IGPM) referente ao período de Janeiro de 2015 a Março de 2016, o qual foi 13,5%. Os preços utilizados em todos os cenários foram mantidos os mesmos do cenário principal para fins de comparação.

Na Tabela 4 podem ser visualizados os custos dos processos de armazenamento e transporte do palhiço de cana-de-açúcar.

Tabela 4 – Custos totais de armazenamento e transporte de palhiço de cana-de-açúcar

| Processo | Diesel/Energia | M.O. | Material | Manutenção | Total |
|--------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|---------------|
| | R\$/t | R\$/t | R\$/t | R\$/t | R\$/t |
| Enleiramento | 1,91 | 6,38 | - | 0,06 | 8,35 |
| Enfardamento | 4,64 | 6,72 | 10,61 | 6,75 | 28,72 |
| Amontoamento | 1,75 | 6,45 | - | 0,40 | 8,60 |
| Carregamento | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Transporte até estoque | 8,52 | 4,28 | - | 0,03 | 12,83 |
| Descarregamento(estoque) | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Carregamento | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Transporte até caldeira | 8,52 | 4,28 | - | 0,03 | 12,83 |
| Descarregamento | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Desenfardamento | 6,48 | 2,70 | - | 1,23 | 10,41 |
| Total | 34,22 | 57,33 | 10,61 | 10,1 | 112,26 |

*M.O.: Mão de Obra.

Fonte: Adaptado de Galon, Andrade & Andrade, 2014.

Os valores encontrados foram estendidos para os processos semelhantes de armazenamento e transporte do bagaço da cana-de-açúcar. Para o processo de enfardamento foram considerados os mesmos custos de mão de obra, material e manutenção, porém por serem máquinas diferentes, para consumo de energia elétrica foi utilizado o consumo específico da Prensa Horizontal Contínua Bagaço de Cana 40T da marca Ability, com a mesma tarifa de energia elétrica descrita por Galon, Andrade & Andrade (2014), porém com as atualizações necessárias.

Segundo Pellegrini (2002), o enfardamento pode ser realizado do modo normal ou com secagem. Neste trabalho foi considerado o processo normal, em que o bagaço in natura é compactado através de prensas hidráulicas em fardos.

Na Tabela 5 podem ser visualizados os custos dos processos de armazenamento e transporte do bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 5 – Custos totais de armazenamento e transporte de bagaço de cana-de-açúcar

| Processo | Diesel/Energia | M.O. | Material | Manutenção | Total |
|--------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|--------------|
| | R\$/t | R\$/t | R\$/t | R\$/t | R\$/t |
| Enfardamento | 2,16 | 2,70 | 10,61 | 1,23 | 16,7 |
| Carregamento | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Transporte até estoque | 8,52 | 4,28 | - | 0,03 | 12,83 |
| Descarregamento(estoque) | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Transporte até caldeira | 8,52 | 4,28 | - | 0,03 | 12,83 |
| Descarregamento | 0,60 | 6,63 | - | 0,40 | 7,63 |
| Desenfardamento | 6,48 | 2,70 | - | 1,23 | 10,41 |
| Total | 27,48 | 33,85 | 10,61 | 3,72 | 75,66 |

*M.O.: Mão de Obra.

Fonte: Adaptado de Galon, Andrade & Andrade, 2014.

Foram consideradas duas condições de uso para bagaço e palhiço: uso direto e uso do estoque. O uso direto considera a utilização de biomassa e palhiço assim que disponíveis, já o uso do estoque, considera o consumo do volume de biomassa em estoque. A Tabela 6 apresenta por quais processos estão submetidos os dois tipos de biomassa nas modalidades de uso direto e uso de estoque.

Tabela 6 – Processos em que estão submetidos o bagaço e o palhiço nas modalidades de uso direto e uso de estoque

| Processo | Uso Bagaço | Estoque Bagaço | Uso Palhiço | Estoque Palhiço |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
| Enleiramento | Não | Não | Sim | Sim |
| Enfardamento | Não | Sim | Sim | Sim |
| Amontoamento | Não | Não | Sim | Sim |
| Carregamento | Não | Sim | Sim | Sim |
| Transporte até estoque | Não | Sim | Não | Sim |
| Descarregamento(estoque) | Não | Sim | Não | Sim |
| Carregamento | Não | Sim | Sim | Sim |
| Transporte até caldeira | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Descarregamento | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Desenfardamento | Não | Sim | Sim | Sim |
| Custo Total | 20,46 | 75,66 | 91,80 | 112,26 |

4.4.2 Operação da central termelétrica

As caldeiras são os equipamentos responsáveis por realizar a geração de vapor através da queima dos combustíveis disponíveis. As caldeiras podem ter diferentes tecnologias de combustão. Neste trabalho é considerada a combustão em fornalhas de leito fixo, onde o combustível a ser queimado é empilhado sobre uma grelha na fornalha.

Na Equação 18 é calculada a vazão de vapor produzida em função da vazão de combustível injetada na caldeira.

$$\frac{\text{vazão de combustível}}{\text{vazão de vapor}} = \frac{100 \cdot (H^{v1} - H^0)}{\text{PCI} \cdot (\% \text{eficiência da caldeira})} \quad (18)$$

Em que H^{v1} é a entalpia do vapor de saída da caldeira; H^0 é a entalpia da água de entrada na caldeira; PCI é o poder calorífico inferior do bagaço e do palhico e a eficiência da caldeira considerada é de 95%.

Considerando H^T a entalpia do vapor da saída do turbogerador; H^0 a entalpia da água de entrada na caldeira e H^{v1} a entalpia do vapor de saída da caldeira e entrada no turbogerador.

Na Equação 19 é calculada a energia elétrica gerada em MWh/tvapor.

$$\text{Energia gerada} = (H^T - H^{v1}) \cdot (\text{eficiência do turbogerador}) \cdot 0,000277778 \quad (19)$$

Em que a eficiência do turbogerador considerada é de 92%.

Na Tabela 7 são apresentados os dados termodinâmicos utilizados no balanço de energia do sistema termelétrico do presente estudo.

Tabela 7 – Dados termodinâmicos utilizados no balanço de energia do sistema termelétrico

| Parâmetro | Entrada caldeira | Saída caldeira | Saída turbogerador |
|------------------|------------------|----------------|--------------------|
| | Líquido | Vapor super. | Vapor super. |
| Entalpia (KJ/Kg) | 334,72 | 3207,1 | 2427 |
| Temperatura (°C) | 80 | 440 | 60 |
| Pressão (bar) | 1 | 41 | -90 |

Fonte: Arquivos internos da Usiminas.

Na Tabela 8 são mostrados os potenciais energéticos do bagaço e palhico de cana-de-açúcar, assim como a geração de energia elétrica calculada para o sistema.

Tabela 8 – Potenciais energéticos do bagaço e palhico de cana-de-açúcar

| Material | PCI (Kcal/Kg) | Umidade (%) | Geração (MWh/t) |
|-----------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| Bagaço | 1710 | 50 | 0,472 |
| Palha | 3100 | 15 | 0,856 |

Fonte: Adaptado de Linero, 2012.

Na tabela 9 podem ser visualizados os parâmetros e custos do processo de geração de vapor e energia elétrica.

Tabela 9 – Parâmetros e custos operacionais do processo de geração de vapor e energia elétrica

| Parâmetro | Valor | Unidade | Observações |
|---------------------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| Capacidade | 30 | MWh/h | - |
| Número de operadores | 18 | empregado | Divididos em 3 turnos |
| Contratação e treinamento | 5.000 | R\$/empregado | Treinamento no mês anterior |
| Custo com operadores | 5.000 | R\$/empregado | Salário e encargos |
| Custo com manutenção | 165.000 | R\$/mês | - |
| Custo com insumos | 2 | R\$/MWh | - |

O custo operativo da central termelétrica é obtido da Tabela 9 e corresponde a R\$ 255.000,00 por mês em operação. Para o mês sem operação, o custo será fixado em metade do custo de manutenção de um mês em operação, ou seja, R\$ 82.500,00. Para os insumos, como energia elétrica e tratamento de água, o custo é variável conforme volume gerado. Para o caso de contratação de funcionários, no mês anterior à contratação é acrescentado o valor de R\$ 90.000,00.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 10 mostra alguns dos principais resultados para o modelo apresentado, como lucro total, quantidade de vezes de contratação de funcionários e aproveitamento da matéria-prima disponível.

Tabela 10 – Lucro total e número de contratação de funcionários para os seis cenários simulados

| Cenário | Lucro total (R\$) | Contratação de funcionários (vezes) | Aproveitamento da matéria-prima (%) |
|----------------|------------------------------|--|--|
| 1 (2016-2017) | -990.000 | 0 | 0 |
| 2 (2011-2012) | 33.858 | 1 | 39 |
| 3 (2012-2013) | 9.585.724 | 2 | 100 |
| 4 (2013-2014) | 27.556.329 | 1 | 100 |
| 5 (2014-2015) | 27.188.032 | 2 | 100 |
| 6 (2015-2016) | 5.178.574 | 2 | 100 |

No cenário 1 (com a previsão de valores de 2016 a 2017), a produção não é viável economicamente. Em todos os demais cenários há lucro, porém com grande variação. Pode ser observado que o lucro para o cenário 4, referente ao período entre os anos de 2013 e 2014 (R\$ 27.556.329,00), é significativamente superior em comparação ao cenário 2 (R\$ 33.858,00).

O aproveitamento da matéria-prima mostra grande variação entre os cenários. Mesmo a maioria dos anos a partir de 2011 apresentando aproveitamento de 100%, é importante o conhecimento desse dado para a definição se a matéria-prima não utilizada será armazenada indefinidamente, vendida ou doada para terceiros. Os cenários que não tiveram aproveitamento total consideraram a doação da matéria-prima sem nenhum tipo de preparo e transporte pagos pela empresa do estudo, ou seja, com custo de matéria-prima igual a zero.

Na Tabela 11 são apresentados os resultados mês a mês obtidos com o modelo para o cenário 1.

Tabela 11 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 1

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Custo (R\$/MWh) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Geração (MWh/h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de palhiço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de bagaço (kt) | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 19 | 23,7 | 28,5 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 |
| Estoque de palhiço (kt) | 4,5 | 9,0 | 13,5 | 18 | 22,5 | 27 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 |

Na Tabela 12 são mostrados os resultados do cenário 2, em que só ao final do período é aconselhável a produção e venda de energia.

Tabela 12 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 2

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Custo (R\$/MWh) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 149 |
| Geração (MWh/h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de palhiço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25,2 |
| Estoque de bagaço (kt) | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 19 | 23,7 | 28,5 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 |
| Estoque de palhiço (kt) | 4,5 | 9,0 | 13,5 | 18 | 22,5 | 27 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 6,3 |

A contratação de funcionários ocorre uma única vez no período do cenário 2. A duração de apenas um (01) mês de operação da central termelétrica permite que a empresa realize contratação de funcionários em caráter temporário ou desloque funcionários para esta atividade, sendo que neste último caso não haveria custos de contratação.

Os contratos de trabalho temporário são regidos pela Lei nº 6019 de 1974, sendo que a Portaria do Ministério do Trabalho e do Emprego nº 789 de 2014 prevê que as empresas devem declarar o início e o término dos contratos temporários, não podendo ser superior a 03 (três) meses, salvo necessidade de prorrogação, a qual deverá ser comunicada antecipadamente ao Ministério do Trabalho, desde que o período total não ultrapasse 09 (nove) meses.

O conhecimento do contrato de trabalho e a necessidade de comunicação ao Ministério Público no caso de prorrogação de trabalho temporário reforçam a importância do planejamento da produção de centrais termelétricas que objetivam venda de energia no mercado livre.

Para o modelo apresentado não foi prevista restrição quanto aos encargos trabalhistas, porém recomenda-se adicionar a restrição nos próximos modelos ou adicioná-la caso a primeira iteração demonstre viabilidade de operação por mais de nove meses consecutivos.

Para o mês de Abril de 2012 a geração de energia elétrica foi máxima. Mesmo com a geração sendo máxima em um (01) mês, a geração possível com a utilização de toda a matéria-prima disponível é de 8% da capacidade total da unidade termelétrica. Em um possível aumento de PLD, deve ser avaliada a compra de matéria-prima para aumento da geração de energia elétrica e, conseqüentemente, do lucro. O acréscimo de mais matérias-primas no modelo é de simples implementação, bastando o conhecimento da disponibilidade, do custo e do potencial energético das novas matérias-primas. Para a compra de matéria-prima, se não houverem contratos pré-estabelecidos de compra de matéria-prima, é provável que o valor a ser pago pela mesma será mais alto. Este fato destaca ainda mais a importância de se realizar um planejamento da produção de energia para geração e venda de energia no Mercado de Curto Prazo.

Pode-se considerar, alternativamente, haver produção de energia o ano inteiro para consumo próprio da usina sucroalcooleira, o que iria aumentar os custos de energia

consumida em momentos de PLD mais baixo que o custo da energia de geração própria, porém haveria mais estabilidade na gestão da produção, com menos variáveis a se considerar, como por exemplo, contratação e treinamento de funcionários. Devido à baixa oferta de matéria-prima sem compra de matéria-prima adicional, este cenário é inviável vislumbrando-se lucro, pois o modelo irá apenas distribuir a matéria-prima em todos os meses, sem haver matéria-prima adicional para geração de energia para venda no mercado *spot*.

Nos cenários 3 a 6 (Tabelas 13 a 16) havia grande potencial de lucro com geração de energia elétrica, pois os anos de 2012 a 2015 apresentaram meses com PLD bastante elevado. Porém, devido à baixa capacidade da central termelétrica (30 MWh/h) e disponibilidade apenas de matéria-prima de produção própria, os altos preços de venda de energia não foram bem aproveitados.

Tabela 13 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 3

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Custo (R\$/MWh) | - | - | - | - | - | - | 141 | - | 161 | - | - | - |
| Geração (MWh/h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 0 | 20,7 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de palhiço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,9 | 0 | 14,7 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de bagaço (kt) | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 19 | 23,7 | 28,4 | 20,7 | 20,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de palhiço (kt) | 4,5 | 9,0 | 13,5 | 18 | 22,5 | 27 | 14,7 | 14,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 14 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 4

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Custo (R\$/MWh) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 160 | 156 |
| Geração (MWh/h) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 30 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16,4 | 16,8 |
| Consumo de palhiço (kt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,6 | 16 |
| Estoque de bagaço (kt) | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 19 | 23,7 | 28,5 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 33,2 | 16,8 | 0 |
| Estoque de palhiço (kt) | 4,5 | 9,0 | 13,5 | 18 | 22,5 | 27 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 31,5 | 16 | 0 |

Tabela 15 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 5

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Custo (R\$/MWh) | 142 | - | - | - | - | 143 | 139 | - | - | - | - | - |
| Geração (MWh/h) | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,4 | 17,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de palhiço (kt) | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11,2 | 15,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de bagaço (kt) | 0 | 4,7 | 9,5 | 14,2 | 19 | 12,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de palhiço (kt) | 0 | 4,5 | 9 | 13,5 | 18 | 11,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 16 – Resultados mês a mês do modelo apresentado para o cenário 6

| Mês | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Custo (R\$/MWh) | 142 | 128 | 128 | - | 143 | 128 | 128 | - | - | - | - | - |
| Geração (MWh/h) | 8 | 8 | 8 | 0 | 17 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produção de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de bagaço (kt) | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 0 | 9,5 | 4,7 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de palhiço (kt) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 0 | 9 | 4,5 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de bagaço (kt) | 0 | 0 | 0 | 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estoque de palhiço (kt) | 0 | 0 | 0 | 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Pode ser observado nas Tabelas de 11 a 16 que em nenhum dos cenários alternativos ao primeiro cenário ocorre o funcionamento da central termelétrica por mais de nove meses consecutivos, podendo ser temporária a contratação dos funcionários em todos os cenários, com exceção do primeiro.

Em um modelo mais detalhado, deve ser avaliada a possibilidade e os benefícios de, em momentos de produção igual a zero, disponibilizar para aluguel os equipamentos para preparo e caminhões de transporte de bagaço e palhiço, aumentando assim o lucro da unidade de produção.

A adição no modelo de venda de bagaço e palhiço considerando-se lucro é útil para melhores tomadas de decisão, porém neste modelo optou-se pela não utilização destas informações.

No modelo apresentado não foram incluídas incertezas acerca da oferta de matéria-prima, porém pode-se realizar diversos cenários imputando-se uma faixa de incerteza à oferta de matéria-prima. Podem também ser imputadas incertezas acerca do valor de PLD. Com qualquer uma destas ações, o modelo será tratado como estocástico e não mais determinístico.

O Excel 2016, da empresa Microsoft, tem a vantagem de ser um software já bastante utilizado para criação de planilhas e análise de dados na indústria, não sendo necessária a compra de um software adicional para implementação do modelo.

Em problemas de otimização pode haver a otimização local e a otimização global. A otimização global encontrará a melhor solução do conjunto de soluções possíveis, independentemente das condições de início da busca, porém, geralmente, requisita um maior poder de computação. A otimização local encontra a melhor solução dentro de um conjunto de soluções que está próximo a outro. Na otimização local, a solução encontrada depende do ponto de início do processo de busca da otimização.

Quando a opção do GRG é usada, o Solver encontra ao menos uma solução ótima local. Quando o Simplex LP é usado o solucionador encontra uma solução ótima global.

O tempo de resolução de cada otimização foi de menos de um minuto em um processador 1.8 GHz, sendo necessário realizar a busca da otimização em média de 1,67 vezes em cada instância (as iterações podem ser visualizadas no Apêndice A), iniciando o processo de otimização com a inserção de valores de consumo de matéria-prima em meses com maior PLD nos cenários.

Com a atualização das previsões de valor de PLD ou alteração de quaisquer valores, os cenários para auxílio do planejamento da produção podem e devem ser atualizados.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados permitem a definição de estratégias de operação, como: orçamento da unidade termelétrica, tipo de contrato de trabalho de funcionários, compra ou não de matéria-prima e gestão de estoque. Com maiores valores previstos de PLD, os resultados são úteis para auxílio na decisão de compra de matéria-prima ou, até mesmo, ampliação do volume de cana-de-açúcar plantado, sendo necessária a esta última decisão a análise de outras informações.

Devido ao baixo preço de PLD para o cenário 1, o lucro simulado para o cenário de PLD previsto foi negativo (prejuízo), nos cenários 2 e 6 o lucro foi mais baixo que nos

cenários 4 e 5, talvez não compensando a operação da planta se for objetivado um valor mínimo de lucro para a decisão de operação. Para os cenários 4 e 5, entre os anos de 2013 a 2015, o lucro é de grande relevância.

No presente trabalho, optou-se por dar ênfase exclusiva à produção de vapor para venda de energia no mercado *spot*, porém, no Brasil, os sistemas de geração de eletricidade por vapor empregam geralmente a cogeração (em que o calor produzido na geração é aproveitado no processo produtivo sob a forma de vapor), estes sistemas são utilizados em usinas sucroalcooleiras, fábricas de processamento de grãos, usinas siderúrgicas e até mesmo prédios comerciais. Pode-se, então, modificar o modelo para que a parcela do vapor, geralmente extraída dos turbogeradores entre os seus estágios, seja convertida em crédito financeiro na operação da central termelétrica.

O modelo se mostrou satisfatório para análises simples de planejamento da produção e gestão de estoque. Para trabalhos futuros, sugere-se que o modelo seja elaborado em um ambiente de programação diferente do Solver do Excel, que permita maior flexibilidade de programação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABILITY EQUIPAMENTOS. Prensas enfardadeiras e equipamentos para reciclagem Disponível em: <http://www.ability.ind.br/Prensas_baga%C3%A7o_de_cana.html>. Acesso em 07 abr. 2016.

ARNOLD, J. R. Tony; STEPHEN N. Chapman; CLIDE, Lloyd M. **Introduction to materials management**. New Jersey: Prentice-Hall. 2001.

AXSATER, Sven. On the Feasibility of Aggregate Production Plans. **Operations Research**, v.34, n.5. 1986.

BERNARDES, Wellyngton. Usinas de cana dobram a produção de energia. **Portal JornalCana**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.jornalcana.com.br/usinas-de-cana-dobram-cogerao-de-energia/>>. Acesso em 20 fev. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Apresentação InfoPLD - Abril/2016. São Paulo: CCEE, 2016. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?aba=aba_info_pld&_afLoop=2188449923105089##%40%3Faba%3Daba>

_info_pld%26_afrLoop%3D2188449923105089%26_adf.ctrl-state%3D1c21vha21s_4>. Acesso em 08 abr. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Histórico do PLD do subsistema SE/CO (Sudeste/Centro-Oeste). São Paulo: CCEE, 2016. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua /pre cos/prec os_medios?_afrLoop=264185307234252#%40%3F_afrLoop%3D264185307234252%26_adf.ctrl-state%3D7z9yrsrre_108](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/pr ecos/prec os_medios?_afrLoop=264185307234252#%40%3F_afrLoop%3D264185307234252%26_adf.ctrl-state%3D7z9yrsrre_108)>. Acesso em 18 jan. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Metodologia para determinação do PLD. São Paulo: CCEE, 2016. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua /pre cos/metodologia_de_precos?_afrLoop=1203887331814041#%40%3F_afrLoop%3D1203887331814041%26_adf.ctrl-state%3Dx176l0rtq_4>. Acesso em 14 mar. 2016.

DANTAS FILHO, Paulo Lucas. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana de açúcar**: Um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DAVID, Solange Mendes Geraldo Ragazi. **Geração de energia elétrica no Brasil**: Uma visão legal-regulatória sobre riscos para o desenvolvimento da atividade e mecanismos de incentivo estabelecidos pelo poder público. 2013. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

DEFILIPPI FILHO, Luiz Cunali. **Estudo de viabilidade do uso do palhico para geração de energia na entressafra de uma usina sucroenergética**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética Brasileira. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <<http://www.caminhosustentavel.net.br/emissoes-na-matriz-energetica-brasileira-cresceram-69-em-2013>>. Acesso 23 fev. 2016.

ERIKSSON, Ljusk Ola.; BJORHEDEN, Rolf. Optimal storing transport and processing for a forest-fuel supplier. **European Journal of Operation Research**, n.43, v.1, p. 26-33, 1989.

FREPPAZ, Davide et al. Optimizing Forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. **Biomass and Bioenergy**, v.26, n. p.15-2, 2004.

GALON, Gilmar; ANDRADE, João Henrique de; ANDRADE NETO, Rafael de. Melhorias no rendimento agrícola e receita extra obtidos com o recolhimento e desfardamento da palha da cana. Disponível em: <https://www.jornalcana.com.br/arquivos/Palestras/Gilmar_Galon.pdf>. Acesso em 25 fev. 2016.

GUNNARSSON, Helene.; RONNQVIST, Mikael; LUNDGREN, Jan T. Supply chain modelling of forest fuel. **European Journal of Operation Research**, n.158, v.1, p. 103-123, 2004.

KANZIAN, Christian et al. Regional Energy Wood Logistics – Optimizing Local Fuel Supply. **Silva Fennica**, v.43, n.1, p.113-128, 2009.

LANÇAS, Kléber Pereira; **A evolução das alternativas energéticas com a crise do petróleo e a projeção da biomassa**. UNESP: Botucatu. 1984.

LINERO, Francisco A.B. **Biomassa adicional para aumento da geração de eletricidade**. Em: Curso de Caldeiras, Vapor e Geração de Energias Renováveis, Centro de Tecnologia Canavieira, CTC. Ribeirão Preto, SP, 2012.

LORA, Electo Eduardo Silva.; NASCIMENTO, Marco Antonio Rosa do. **Geração termelétrica**: Planejamento, Projeto e Operação, Ed. Interciência, v. 1 e 2, 2004.

MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA. Visão geral: Mercado Livre (ACL) x Mercado Cativo (ACR). Mercado Livre de Energia Elétrica, 2015. Disponível em: < <http://www.mercadolivredeenergia.com.br/>>. Acesso em 31 mai. 2016.

MONTENEGRO, SUELI. Risco de déficit de energia continua zero no SE/CO e NE. Canal Energia. Disponível em < <http://revistaecoenergia.com.br/noticia.php?id=2709>>. Acesso em 20 abr. 2016.

NAGEL, J. Determination of an economic energy supply structure based on biomass using a mixed-integer linear optimization model. **Ecological Engineering**, v.16, p:91-102. 2000.

NEWBERY, David. Competition, Contracts and Entry in the Electricity Spot Market. **The Rand Journal of Economics**, v. 29(4), p. 726-749. 1998.

PELLEGRINI, Maria Cristina. **Inserção de centrais cogedoras a bagaço de cana no parque energético do estado de São Paulo**: Exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locais e de integração energética. 2002. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PERETTI, Henrique Vilhar. **Cenários para a expansão energética no Brasil**: Um trade-off custo versus segurança de suprimento. Trabalho de Conclusão de Curso de Economia – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2011.

PIEROSSI, Marcelo de Almeida; FAGUNDES, Samir de Azevedo. **Enfardamento de Palha**. Cana-de-açúcar – do Plantio à colheita, ed. Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012, 257f.

RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali. **Biomassa de cana de açúcar**: colheita, energia e meio ambiente. Piracicaba, Edição dos autores, 2004, 302 f.

SANTIBANEZ-AGUILAR, José Ezequiel et al. Optimal planning of a biomass conversion system considering economic and environmental aspects. **Industrial and Engineering Chemical Research**, v.50, n. 14, p.8558-8570, 2011.

SANTOS, Fellipe Fernandes Goulart dos. **Gerenciamento de riscos**: Otimização multiobjetivo e análise de portfólio de compra e venda de energia. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, São Paulo, 2013.

SANTOS, Fernando Alves dos. **Análise da aplicação da biomassa da cana como fonte de energia elétrica**: Usina de açúcar, etanol e bioeletricidade. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SINGHAL, Jaya.; SINGHAL, Kalyan. Holt, Modigliani, Muth, and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations management. **Journal of Operations Management**, v. 25. 2007.

SHABANI, Nazanin. SOWLATI, Taraneh. A mixed integer non-linear programming model for tactical value chain optimization of a wood biomass power plant. **Applied Energy**, v.104, p. 353-361, 2013.

SHARMA, Bhavna et al. Scenario optimization modeling approach for design and management of biomass-to-biorefinery supply chain system. **Bioresource Technology**, v.150, p. 163-171, 2013.

SOUSA, Francisco José Rocha de. **A geração termelétrica: a contribuição das térmicas a gás natural liquefeito**. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

VAN DYKEN, Silke; BAKKEN, Bjorn H.; SKJELBRED, Hans I. Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing. **Energy**, v.35, n.3, p.1338-1350, 2010.

VIANA, Laryssa Ferreira. **Potencial energético do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, CV. SP80-1842, em área de alambique artesanal**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

WALVIS, Alida. **Avaliação das reformas recentes no setor elétrico brasileiro e sua relação com o desenvolvimento do mercado livre de energia**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2014.

APÊNDICE A

Cenário 1:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 0 toneladas em todos os meses e consumo de palhiço = 0 toneladas em todos os meses.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|----------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|
| | | | 30 | 30 | 47 | 73 | 81 | 81 | 69 | 56 | 36 | 30 | 30 | 30 |
| PLD | | | | | | | | | | | | | | |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f | | | -990.000 | | | | | | | | | | | |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 0 toneladas em todos os meses e consumo de palhiço = 0 toneladas em todos os meses.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|----------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|
| | | | 30 | 30 | 47 | 73 | 81 | 81 | 69 | 56 | 36 | 30 | 30 | 30 |
| PLD | | | | | | | | | | | | | | |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| f | | | -990.000 | | | | | | | | | | | |

Cenário 2:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 20.000 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 20.000 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|--------|
| | | | 17 | 32 | 23 | 20 | 21 | 37 | 46 | 44 | 23 | 51 | 125 | 193 |
| PLD | | | | | | | | | | | | | | |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 156 |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.000 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.000 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| f | | | 54.092 | | | | | | | | | | | 37 |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 16.815 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 15.962 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril | |
|---------------------------------------|---------|----|----------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|--------|
| | | | PLD | 17 | 32 | 23 | 20 | 21 | 37 | 46 | 44 | 23 | 51 | 125 | 193 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 160 |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 | |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhico | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.815 |
| Quantidade consumida de palhico total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.962 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| | | | -197.482 | | | | | | | | | | | | |

“Chute” 2: Consumo de bagaço = 0 toneladas em todos os meses e consumo de palhico = 25.000 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril | |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|--------|
| | | | PLD | 17 | 32 | 23 | 20 | 21 | 37 | 46 | 44 | 23 | 51 | 125 | 193 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 149 |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 | |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhico | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhico total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.000 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| | | | 21.980 | | | | | | | | | | | | |

Iteração 2: Consumo de bagaço = toneladas em todos os meses e consumo de palhico = 25.233 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril | |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|--------|
| | | | PLD | 17 | 32 | 23 | 20 | 21 | 37 | 46 | 44 | 23 | 51 | 125 | 193 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 149 |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 | |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhico | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhico total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25.233 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| | | | 33.858 | | | | | | | | | | | | |

Cenário 3:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 20.000 toneladas em Novembro e Janeiro e 0 nos meses restantes e consumo de palhico = 20.000 toneladas em Novembro e Janeiro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril | |
|---------------------------------------|---------|----|------------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| | | | PLD | 181 | 118 | 91 | 119 | 183 | 280 | 376 | 260 | 414 | 215 | 340 | 196 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 143 | #DIV/0! | 156 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 | |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhico | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.000 | 0 | 20.000 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhico total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20.000 | 0 | 20.000 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 12.185.042 | | | | | | | | | | | | |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 9.862 toneladas em Abril, 10.963 toneladas em Novembro, 12.404 toneladas em Março e 0 nos meses restantes e consumo de palhico =

4.505 toneladas em Abril, 19.189 toneladas em Novembro, 7.848 toneladas em Março e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|--------|---------|
| PLD | | | 181 | 118 | 91 | 119 | 183 | 280 | 376 | 260 | 414 | 215 | 340 | 196 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 148 | 136 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 174 | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.862 | 10.963 | 0 | 0 | 0 | 12.404 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.505 | 19.189 | 0 | 0 | 0 | 7.848 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 30 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 |
| 7.650.218 | | | | | | | | | | | | | | |

“Chute” 2: Consumo de bagaço = 17.401 toneladas em Novembro e Janeiro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 15.639 toneladas em Novembro e Janeiro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|--------|
| PLD | | | 181 | 118 | 91 | 119 | 183 | 280 | 376 | 260 | 414 | 215 | 340 | 196 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### | #DIV/0! | 144 | #DIV/0! | 160 | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.401 | 0 | 17.401 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.639 | 0 | 15.639 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 |
| 9.661.497 | | | | | | | | | | | | | | |

Iteração 2: Consumo de bagaço = 12.559 toneladas em Novembro, 20.670 toneladas em Janeiro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 16.865 toneladas em Novembro, 14.677 toneladas em Janeiro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|
| PLD | | | 181 | 118 | 91 | 119 | 183 | 280 | 376 | 260 | 414 | 215 | 340 | 196 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 141 | #DIV/0! | 161 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.559 | 0 | 20.670 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.865 | 0 | 14.677 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| 9.585.724 | | | | | | | | | | | | | | |

Cenário 4:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 15.000 toneladas em Março e Abril e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 15.000 toneladas em Março e Abril e 0 nos meses restantes.

| | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|--------|--------|
| | PLD | 345 | 208 | 121 | 163 | 266 | 261 | 331 | 291 | 378 | 823 | 823 | 823 |
| Custo de produção | R\$/MWh | #DIV/0! | ##### | ##### | ##### | #DIV/0! | ##### | ##### | ##### | ##### | #DIV/0! | 161 | 156 |
| Capacidade | MWh Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.000 | 15.000 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.000 | 15.000 |
| Binario | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 28 |
| 25.639.267 | | | | | | | | | | | | | |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 16.414 toneladas em Março, 16.815 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 15.800 toneladas em Março, 15.962 toneladas em Abril e 0 nos meses restantes.

| | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|--------|--------|
| | PLD | 345 | 208 | 121 | 163 | 266 | 261 | 331 | 291 | 378 | 823 | 823 | 823 |
| Custo de produção | R\$/MWh | #DIV/0! | ##### | ##### | ##### | #DIV/0! | ##### | ##### | ##### | ##### | #DIV/0! | 160 | 156 |
| Capacidade | MWh Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t cb | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.414 | 16.815 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t cp | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.580 | 15.962 |
| Binario | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 30 |
| 27.556.329 | | | | | | | | | | | | | |

Cenário 5:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, Setembro e Outubro, 16.815 toneladas em Novembro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, Setembro e Outubro, 15.962 em Novembro e 0 nos meses restantes.

| | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembro | dezembro | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|---------|
| | PLD | 807 | 413 | 593 | 710 | 729 | 777 | 805 | 601 | 388 | 388 | 388 | 388 |
| Custo de produção | R\$/MWh | 142 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | 142 | 128 | 139 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t cb | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 4.747 | 4.747 | 16.815 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t cp | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 4.506 | 4.506 | 15.962 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 8 | 0 | 0 | 0 | 8 | 8 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25.298.887 | | | | | | | | | | | | | |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, 2.204 em Agosto, 4.566 toneladas em Setembro, 4.916 toneladas em Outubro, 16.915 toneladas em Novembro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, 2.727 toneladas em Agosto, 3.893 toneladas em Setembro, 4.542 toneladas em Outubro, 15.874 toneladas em Novembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|--------|----|------------|---------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | PLD | | 807 | 413 | 593 | 710 | 729 | 777 | 805 | 601 | 388 | 388 | 388 | 388 |
| Custo de produção | RS/MWh | | 142 | #DIV/0! | ##### | 139 | 127 | 128 | 139 | #DIV/0! | ##### | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 0 | 0 | 2.024 | 4.566 | 4.916 | 16.975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 0 | 0 | 2.727 | 3.893 | 4.542 | 15.874 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8 | 0 | 0 | 5 | 8 | 8 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 26.566.804 | | | | | | | | | | | |

“Chute” 2: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, 15.000 toneladas em Outubro, 17.092 toneladas em Janeiro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.747 toneladas em Maio, 15.000 toneladas em Outubro, 17.092 toneladas em Janeiro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|--------|----|------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | PLD | | 807 | 413 | 593 | 710 | 729 | 777 | 805 | 601 | 388 | 388 | 388 | 388 |
| Custo de produção | RS/MWh | | 142 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### | 143 | 139 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.000 | 17.092 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15.000 | 15.809 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8,19586 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26,7742 | 29,9999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 30.314.888 | | | | | | | | | | | |

Iteração 2: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, 11.359 toneladas em Outubro, 17.123 toneladas em Novembro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, 11.244 toneladas em Outubro, 15.792 toneladas em Novembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|--------|----|------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | PLD | | 807 | 413 | 593 | 710 | 729 | 777 | 805 | 601 | 388 | 388 | 388 | 388 |
| Custo de produção | RS/MWh | | 142 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### | 143 | 139 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.359 | 17.123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.244 | 15.792 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8,19586 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,1429 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 27.188.032 | | | | | | | | | | | |

Cenário 6:

“Chute” inicial: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, Junho, Julho, Setembro, Outubro e Novembro e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, Junho, Julho, Setembro, Outubro e Novembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|-----|-----------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | | PLD | 387 | 373 | 240 | 145 | 227 | 212 | 203 | 116 | 36 | 30 | 38 | 49 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | 142 | 128 | 128 | #DIV/0! | 142 | 128 | 128 | ##### | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 4.671.344 | | | | | | | | | | | |

Iteração 1: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 9.494 toneladas em Setembro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 9.102 toneladas em Setembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|-----|-----------|--------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------|
| | | PLD | 387 | 373 | 240 | 145 | 227 | 212 | 203 | 116 | 36 | 30 | 38 | 49 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | 142 | 128 | 984 | 86 | 136 | 134 | 128 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 4.747 | 40 | 1.033 | 10.293 | 7.622 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 4.506 | 81 | 1.545 | 11.892 | 4.499 | 4.505 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8 | 8 | 0 | 3 | 21 | 10 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 5.030.557 | | | | | | | | | | | |

“Chute” 2: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 8.000 toneladas em Setembro e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 8.000 toneladas em Setembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|-----|-----------|--------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------|
| | | PLD | 387 | 373 | 240 | 145 | 227 | 212 | 203 | 116 | 36 | 30 | 38 | 49 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | 142 | 128 | 128 | ##### | 121 | 110 | 115 | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | ##### |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 8.000 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 8.000 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8 | 8 | 8 | 0 | 15 | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 5.287.314 | | | | | | | | | | | |

Iteração 2: Consumo de bagaço = 4.747 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 9.494 toneladas em Setembro e 0 nos meses restantes e consumo de palhiço = 4.506 toneladas em Maio, Junho, Julho, Outubro e Novembro, 9.102 toneladas em Setembro e 0 nos meses restantes.

| | | | maio | junho | julho | agosto | setembro | outubro | novembr | dezembr | janeiro | fevereiro | março | abril |
|---------------------------------------|---------|-----|-----------|--------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | | PLD | 387 | 373 | 240 | 145 | 227 | 212 | 203 | 116 | 36 | 30 | 38 | 49 |
| Custo de produção | R\$/MWh | | 142 | 128 | 128 | ##### | 143 | 128 | 128 | ##### | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Capacidade | MWh | Ct | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 21.600 | 22.320 | 22.320 | 20.160 | 22.320 | 21.600 |
| Quantidade produzida de bagaço | t | xb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade produzida de palhiço | t | xp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de bagaço total | t | cb | 4.747 | 4.747 | 4.747 | 0 | 9.494 | 4.747 | 4.747 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantidade consumida de palhiço total | t | cp | 4.506 | 4.506 | 4.506 | 0 | 9.012 | 4.506 | 4.506 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Binario | | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 8 | 8 | 8 | 0 | 17 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 5.178.574 | | | | | | | | | | | |