

XI-085 – ROTA CONCEITUAL E AVALIAÇÃO ECONÔMICA PRELIMINAR DE UMA PLANTA DE COGERAÇÃO/TRIGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE CAVACO DE MADEIRA E CAROÇO DE AÇAÍ

Roberto Bentes de Carvalho⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Pará, Mestre e doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Francyne Helena de Souza⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Rachel Dantas Miranda⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Endereço⁽¹⁾: Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea, Rio de Janeiro – RJ - CEP: 22451-900 – Brasil – Tel.: (21) 98899-4086 - e-mail: rbcarvalho@puc-rio.br

RESUMO

O mundo enfrenta grandes impactos ambientais atualmente e as previsões ainda são negativas para as próximas gerações. Na contramão desses resultados, surgem estudos a fim de reverter estes problemas. O campo das energias renováveis tem apresentado soluções limpas e ambientalmente corretas, além de serem, em muitos casos, economicamente favoráveis. Neste sentido, surge a Cogeração/Trigeração com o intuito de reaproveitar energia térmica, ampliando a utilização dos processos de geração de energia. O conceito de Cogeração consiste na produção concomitante de energia elétrica ou mecânica e energia térmica (*Combined Heat and Power – CHP*) e permite economizar cerca de 15 a 30% da energia primária necessária para produzir calor e eletricidade. Na expansão deste processo, com a finalidade de produzir como utilidade vapor frio, agrega-se a tecnologia de Trigeração (*Combined Heat, Cooling and Power – CHCP*) em que a energia térmica oriunda da Cogeração é utilizada para produzir calor frio. Avaliando esta problemática, este trabalho buscou desenvolver uma rota conceitual de cogeração/trigeração de energia a partir de caroço de açaí, oriundo dos rejeitos uma planta de polpa desta fruta, e cavaco de madeira, com base nos conceitos da metodologia de projetos (*FEL*). A partir dos documentos de engenharia gerados, foi realizada a estimativa de investimento fixo inicial necessário (*CAPEX*) para implementação da rota, utilizando o método do fator de extrapolação da capacidade. Para análise econômica foram determinados: preço de venda da energia elétrica e todos os parâmetros relativos aos custos operacionais da planta, as informações contábeis e os impostos. Com isso determinou-se: Demonstrativo de Resultado do Exercício (*DRE*) e o Fluxo de Caixa (*FC*), considerando um horizonte de 15 anos de operação. Os indicadores econômicos Valor Presente Líquido (*VPL*); Taxa Interna de Retorno (*TIR*); Payback descontado (*PBD*) foram determinados a fim de confirmar a viabilidade econômica da rota. Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade sobre o VPL das principais variáveis do estudo econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Cogeração/Trigeração, Metodologia *FEL*, Biomassa, Energia Renovável, Análise Econômica Preliminar.

INTRODUÇÃO

A produção de energia para a indústria envolve aspectos financeiros e ambientais bastante delicados, pois a energia desempenha um papel muito importante para a produtividade, no crescimento e o resultado financeiro do setor. Na contramão deste crescimento, existe a utilização de combustíveis fósseis como principal fonte de energia e todos os problemas ambientais por ele gerados, por exemplo, a emissão de gases causadores do efeito estufa. Sendo assim, a Cogeração/Trigeração de energia a partir de biomassa, resíduos sólidos diversos que possuem poder calorífico elevado, vem se apresentando como uma solução assertiva nestes dois aspectos, pois, além de minimizar os custos da compra de energia da concessionária de energia, o uso mais consciente dos combustíveis fósseis resulta em uma diminuição significativa dos gases poluentes. Adicionalmente, a Cogeração/Trigeração pode ainda trazer ganhos financeiros, com a venda do excedente de energia produzida.

A Cogeração (*CHP*) pode ser definida como um processo de produção e exploração simultânea de energia térmica ou mecânica e energia elétrica, utilizando um sistema onde a mesma fonte de energia, por exemplo a biomassa, é utilizada de maneira otimizada. Esta tecnologia apesar de classificada como alternativa, não é uma

tecnologia nova. Thomas Edison já pensou o modelo em 1822, com a construção da central *Pearl Street Station*, a primeira central elétrica comercial do mundo, onde era produzida energia térmica e energia elétrica, utilizando calor de resíduos para aquecer edifícios vizinhos. A *CHP* ainda foi muito utilizada até meados do século XX, perdendo espaço para as grandes centrais geradoras, então ficou limitada a operar em sistemas isolados e indústrias, utilizando lixos combustíveis. Ainda sobre a cogeração é possível citar algumas vantagens (CARVALHO, 2016; EDUCOGEN, 2001): elevada eficiência dos sistemas de conversão e geração de energia, possibilidade de utilização de várias fontes combustíveis, sendo elas: óleo combustível, gás natural, gás propano, resíduos florestais, resíduos sólidos, industriais, dentre outros, possibilidade de venda do excedente de energia à concessionárias de energia, a redução dos impactos ambientais associados a produção de energia elétrica.

Por Trigeração entende-se o processo de produção de calor, frio e energia elétrica ou mecânica a partir de uma mesma fonte combustível. O calor proveniente do processo de Cogeração é utilizado na produção de frio, através de um ciclo de absorção, ou seja, é basicamente uma expansão do processo de Cogeração, tecnologia *CHCP* (*Combined Heat, Cooling and Power*). Ao longo do tempo a Trigeração foi ganhando espaço nos diversos setores da indústria como indústria química, de alimentos, bebidas, dentre outras, o que também contribuiu para que o setor terciário apostasse nesta tecnologia de produção, com isso a Trigeração também tem espaço em hotéis, shopping centers, hospitais e restaurantes. Por ser uma expansão do processo de Cogeração, ficam subentendidas para a Trigeração os mesmos aspectos de vantagens e desvantagens.

Na Figura 1 é apresentada uma representação esquemática das diferentes formas de energias presentes no Sistema de Trigeração, bem como as eficiências típicas do processo. Como pode ser observado, 30% da capacidade calorífica do combustível utilizado é transformado em energia elétrica. O processo de Trigeração possibilita recuperar em torno de 25% da capacidade calorífica do combustível na forma de calor frio (CARVALHO, 2016).

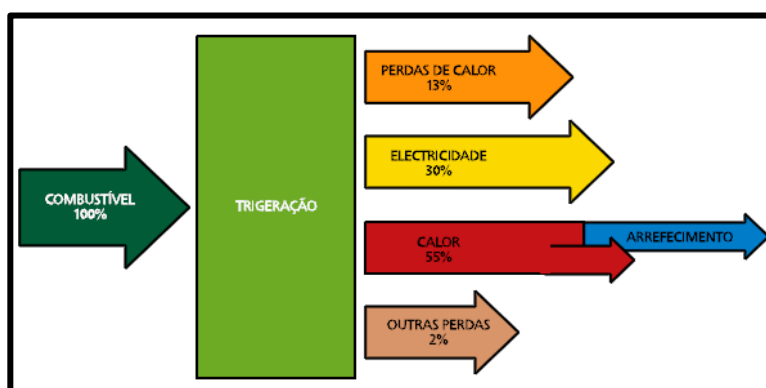


Figura 1: Representação esquemática das diferentes formas de energias presentes no Sistema de Trigeração e as eficiências envolvidas (CARVALHO, 2016).

OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho é desenvolver, com base na metodologia *FEL* de Projeto de Engenharia, a rota conceitual de uma planta de Cogeração/Trigeração de energia a partir de caroço de açaí e cavaco de madeira. Construir documentos de engenharia como: diagrama de blocos; fluxograma de processo; memória de cálculo de balanço de massa e energia; memórias de cálculo de tanques, bombas, compressores e tecnologias; listas de documentos; e memorial descritivo de processo.

Com base nos dados obtidos no Projeto Conceitual desenvolvido, objetiva-se ainda realizar uma análise econômica preliminar, determinando: o valor do investimento necessário para implementação da planta; a necessidade de capital de giro; os custos de operação e manutenção presentes; o uso de uma depreciação adequada; a consideração dos impostos e encargos envolvidos. A determinação dos indicadores de viabilidade financeira do projeto é feita com a montagem dos fluxos de caixas e demonstrativos de resultados de exercício (DRE) para um determinado horizonte de projeto, considerando os custos de oportunidade esperados para o investidor e uma correção da inflação, ano a ano.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração da rota conceitual foi a metodologia Front End Loading (FEL). É uma metodologia de desenvolvimento de projetos fundada pelo Independent Project Analysis (IPA), cujo objetivo principal é garantir um planejamento ótimo de projeto ou rota química. Seu desenvolvimento é dado a partir de três estágios básicos, chamados de FEL 1, FEL 2 e FEL 3. Estas fases são consideradas etapas de definição de projeto, uma vez que devem apresentar todo o planejamento e nestas fases, são desenvolvidos documentos a fim de conhecer, definir e projetar as rotas tecnológicas a serem implementadas, sendo eles: memorial descritivo de processo; diagrama de blocos; fluxograma de processo; memória de cálculo dos balanços de massa e energia; lista de documentos e lista de equipamentos. A seguir são apresentadas a Figura 2, que ilustra o sequenciamento de informações de um projeto seguindo a metodologia FEL e a Tabela 1 que detalha de forma simples a função de cada documento de projeto desenvolvido.

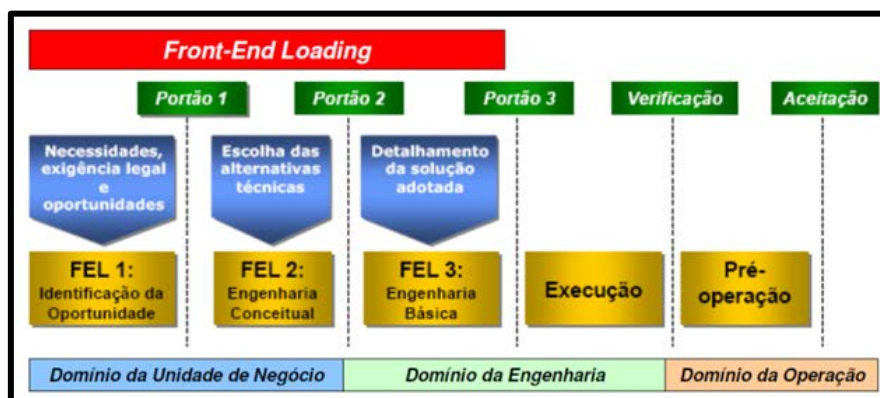


Figura 2: Sequência de projeto seguindo a metodologia FEL (BARBOSA, 2013).

Tabela 1: Documentos gerados a partir da metodologia FEL.

DOCUMENTOS	OBJETIVOS	ENTRADAS	SAÍDAS
MEMORIAL DESCRITIVO	Explicitar as informações mais relevantes do projeto; Descrever detalhadamente o escopo do projeto ou de uma unidade.	DB ou PFD ou Fluxograma de Engenharia.	Conceitos a serem utilizados definidos; Normas e premissas adotadas.
DIAGRAMA DE BLOCOS (DB)	Visão macroscópica do processo; Identificar principais fluídos e tecnologias presentes no processo; Ser referência para construção do PFD.	Ideia Inicial; Conhecimento prévio em Engenharia de Processos.	Sequência dos Processos e suas correntes principais.
FLUXOGRAMA DE PROCESSOS (PFD)	Estabelecer a sequência de operações unitárias; Identificar as correntes principais do processo; Descrever o balanço de massa e energia; Servir de referência para a elaboração de toda a documentação de projeto; Identificar as malhas de controle principais.	DB.	Operações Unitárias Balanço de Massa e Energia; Principais correntes.
MEMÓRIAS DE CÁLCULO	Apresentar os cálculos de dimensionamento de equipamentos; linhas; balanço de massa e energia; tecnologias; etc.	PFD; Fluxograma de Engenharia; Handbooks; Estudo Literatura; Pesquisas.	Cálculos; Dimensões e especificações dos Equipamentos.
LISTAS	Listar componentes específicos a fim de resumir as informações contidas nos fluxogramas e nas folhas de dados. Exemplos: Lista de equipamentos.	Fluxograma de Engenharia; Diagramas; Desenhos de encaminhamento.	Análise de consistência.

Fonte: CARVALHO, 2016

Dentro de um projeto de engenharia, o papel da avaliação econômica preliminar é determinar a viabilidade do projeto através do estudo integral do CAPEX; custos fixos e variáveis; impostos; lucro; receitas; dentre outras informações. Para tal, têm-se como informações precursoras as especificações obtidas na construção do projeto, como: rota química e tecnológica; dimensionamento de equipamentos; e balanço de massa e energia.

O CAPEX foi determinado pelo método de fator de extrapolação de capacidade, que leva em consideração o investimento de uma planta utilizando processo idêntico, mas possuindo capacidades diferentes e que são relacionados pela equação 1 (equação da regra de Williams para estimativa de custos).

$$I_2/I_1 = (C_2/C_1)^f \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: I_1 e I_2 são os investimentos de duas unidades montadas, C_1 e C_2 são as capacidades nominais dessas unidades e f é o expoente de extrapolação, conhecido como fator de extrapolação.

Como limitações do método do fator de extrapolação podemos citar: relação entre a capacidade da planta em análise e da planta de referência deve ser de 50% (menor ou maior), a concepção do processo deve ser idêntica, a capacidade da planta em análise não pode introduzir descontinuidades, por exemplo, requerer dois reatores ao invés de um de maior capacidade. Os valores de investimentos são atualizados a partir do emprego dos fatores de atualização como CE Index, publicado pela revista Chemical Engineering, ou ainda pelo PEP Cost Index, publicado pelo Stanford Research Institute – SRI e IC Cost Index (Intratec), sendo o CE Index (CEPCI) o mais difundido por publicar não só os índices gerais para a atualização, como também índices específicos de custos de equipamentos. Os cálculos para o fator de atualização são vistos a seguir na equação 2:

$$I_y = I_x * (A_y/A_x) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde A_x e A_y são os índices nos anos X e Y, respectivamente e I_x e I_y são os investimentos nos mesmos anos.

A capacidade da planta foi definida em 7MWh, considerando 24 horas de operação. O preço de venda da energia elétrica foi fixado em 300 R\$/MWh. Esses dados foram determinados com base em estudos anteriores e com referência a uma planta de cogeração instalada no sul do Brasil, empregada também na determinação do CAPEX. A análise econômica foi assim desenvolvida, construindo: o DRE e FC do projeto, considerando um horizonte de 15 anos de operação e custos de oportunidade típicos de projetos de energia (12% a.a.). Dessa forma, puderam ser determinados os índices que a compõe a análise econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback Descontado (PBD).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira etapa do trabalho foi um levantamento dos dados do processo através de buscas em literaturas científica e industrial. Com as informações obtidas, realizou-se a confecção do diagrama de blocos, o primeiro desenho do projeto de engenharia, que possibilita identificar a sequência da rota de processo; os fluídos de entrada, saída e intermediários; as correntes de diferentes etapas do processo. Tais documentos iniciais auxiliaram a confecção dos fluxogramas de processos.

As Figuras 3 e 4 apresentam as Áreas Gráficas do Fluxograma de Processo (PFD) de cogeração/trigeração. Neste desenho de engenharia, as operações unitárias foram mais explicitadas e os equipamentos foram apresentados através das suas respectivas figuras pictóricas, representando a sequência das etapas do processo. As correntes principais do processo são conhecidas e numeradas, servindo de base para construção da tabela de balanço de massa e energia, onde as características dos diferentes fluídos foram determinadas. Além disso, há também a representação simplificada das malhas de controle principais que compõem o processo.

No processo, as matérias primas úmidas são secas inicialmente, em secadores, com uso de ar aquecido na própria planta. O cavaco de madeira e o caroço de açaí secos são em seguida misturados em proporções pré-estabelecidas, por um misturador de sólidos contendo um sistema de parafuso giratório. A caldeira, tipo grelha, é então alimentada com a mistura de biomassa seca obtida, aquecendo de forma indireta a água para geração de vapor. Considerou-se na caldeira um lavador de gases para tratamento do gás de exaustão, evitando poluição atmosférica com particulados. O vapor gerado é utilizado para geração de energia em um sistema operado por turbina. Outra parte do vapor é utilizado para disponibilidade de troca térmica na planta industrial.

Adicionalmente, o vapor é utilizado também para geração de calor frio em uma planta de trigerção operada com *chiller* de absorção contendo brometo de lítio.

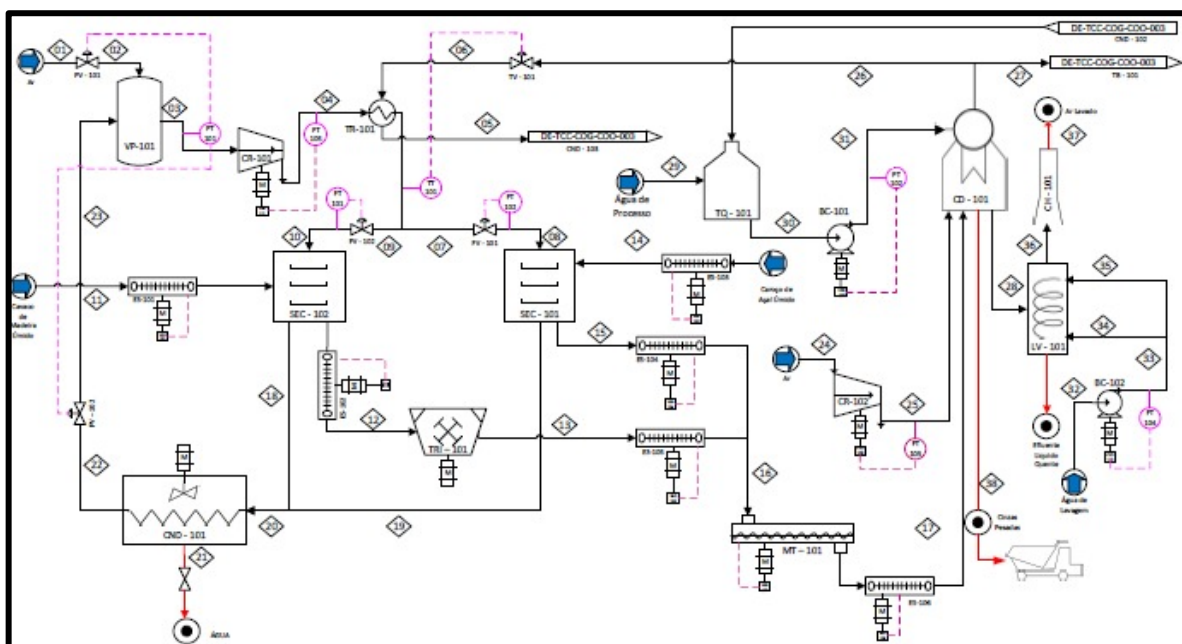


Figura 3: Área Gráfica do Fluxogramas de Processo de Cogeração/Trigerção de energia através do caroço de aço e cavaco de madeira da etapa de combustão da biomassa.

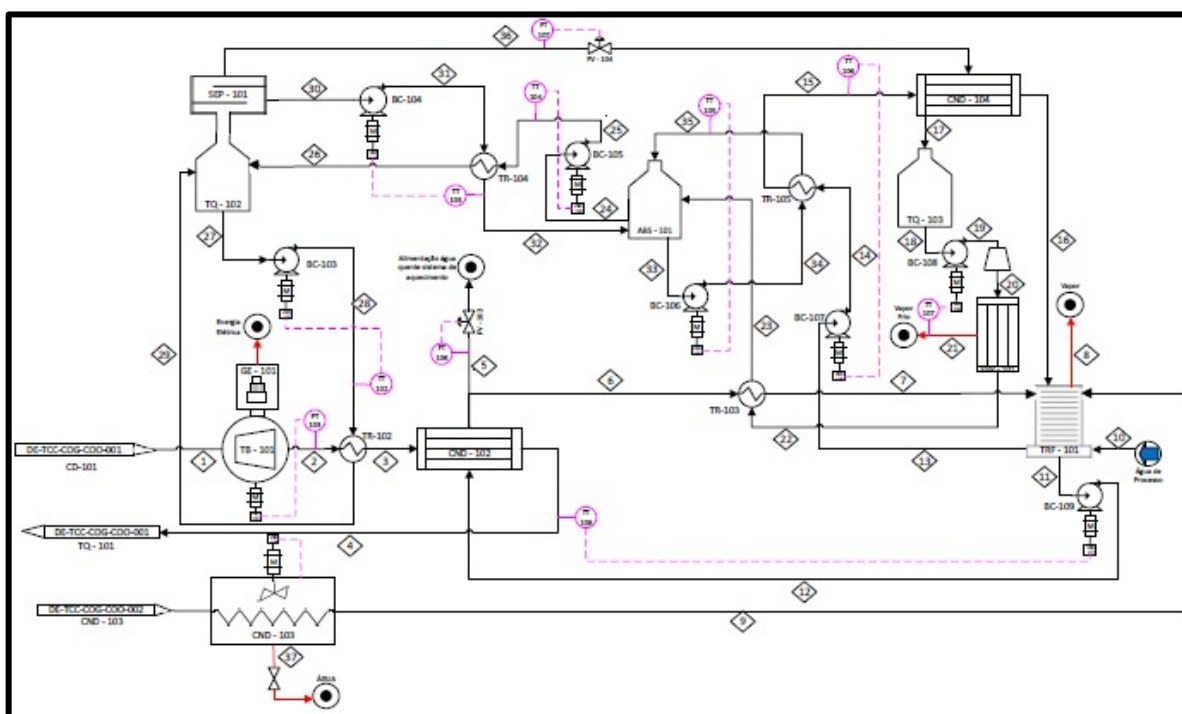


Figura 4: Área Gráfica do Fluxograma de Processo de Cogeração/Trigerção de energia através do caroço de aço e cavaco de madeira da etapa de Cogeração e Trigerção.

Algumas malhas de controles presentes nos Fluxogramas de Processo obtidos: controle de temperatura, vazão e pressão via válvula de controle; controle de vazão e pressão por inversor de frequência da bomba ou compressor; e controle de rotação de motor de esteira e agitador por inversor de frequência. No PFD não se especificam ainda as malhas de intertravamento de níveis em tanques ou vasos.

Na Memória de Cálculo de Balanço de Massa e Energia foram calculadas as propriedades (vazão, pressão e temperatura) e as composições de todas as diferentes correntes de processos, numeradas nas áreas gráficas dos PFDs. Foi definida como premissa uma planta com capacidade de produção de 7,0 MW. Essa capacidade foi escolhida em função de uma planta típica que demanda calor quente e frio. Os cálculos foram realizados a partir das premissas de projeto e todo equacionamento que abarca o tema de Cogeração/Trigeração de energia. A Tabela 2 apresenta as características das 4 correntes principais, utilizadas como exemplos dos resultados obtidos, dentre as 74 correntes existentes no processo. Observa-se as vazões mássicas e volumétrica, bem como pressão, temperatura e densidade, das entradas de cavaco de madeira e caroço de açaí úmidos. Apresenta-se também os valores das correntes de saída de vapor e de calor frio produzidos.

Tabela 2: Correntes principais de entrada e saída do processo de cogeração/trigeração.

CORRENTE	UNIDADE	11	14	8	21
NOME DA CORRENTE	-	Entrada do Cavaco de Madeira Úmido	Entrada Caroço de Açaí Úmido	Saída TR-101	Saída EVP-101
FLUIDO	-	Cavaco de Madeira Úmido	Caroço de Açaí Úmido	Vapor	Utilidade Fria
VAZÃO MÁSSICA	Kg/h	1.263,8	1.263,8	974,5	4.643,4
VAZÃO VOLUMÉTRICA	L/h	4.513,5	1.011,0	1.017,3	4.657,4
PRESSÃO	Bar	1,0	1,0	1,0	0,0085
TEMPERATURA	K	298,1	298,1	333,1	279,8
DENSIDADE	Kg/L	0,3	1,2	0,9	0,9

Com base no preço de uma planta similar instalada no sul do país em 2016 e considerando 15% de capital de giro para operação da planta, foi possível determinar o CAPEX para implementação da planta a partir do método de estimativa de extrapolação da capacidade, obtendo um valor de investimento de R\$ 60.488.683,77. Os cálculos das despesas e custos associados para operação da planta foram realizados a partir das premissas de projeto apresentadas nas Tabela 3 e 4.

Tabela 3: Premissas relativas a capacidade da planta instalada no projeto.

PARÂMETROS	CAPACIDADE	UNIDADE
ENERGIA ELÉTRICA	7,0	MW/h
CALOR QUENTE	1,2	m ³ /h
CALOR FRIO	2,0	ton/h
HORAS DE OPERAÇÃO POR DIA	24,0	h
DIAS DE OPERAÇÃO POR MÊS	30,0	Dias
MESES DE OPERAÇÃO POR ANO	12,0	Meses
CAPACIDADE INSTALADA ENERGIA	60.480,0	MW/h.ano
CAPACIDADE INSTALADA VAPOR QUENTE	10.368,0	m ³ /ano
CAPACIDADE INSTALADA DE VAPOR FRIO	17.712,0	ton/ano

Tabela 4: Premissas relativas aos índices financeiros do projeto.

ÍNDICE	PREMISSA
DEPRECIÇÃO LINEAR SEM VALOR RESIDUAL	10 anos
TAXA DE OCUPAÇÃO	90%
VENDAS	100% MI
PREÇO ENERGIA ELÉTRICA	R\$ 300,00 MW/h
PREÇO VAPOR	40,00 R\$/ton
ALÍQUOTA IR	25%
HORIZONTE DO PROJETO	15 anos
CUSTO DO CAPITAL PRÓPRIO	12% a.a.

Outra premissa adotada foi a não realização de um financiamento para investimento no projeto, sendo considerado apenas uso de capital próprio para a realização da análise econômica. Para os gastos com os colaboradores para operação da planta foi considerado um dissídio anual de 7% e os cálculos de custos com pessoal são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Custos associados aos pagamentos dos colaboradores.

CARGO	SALÁRIO	ENCARGOS	FÉRIAS	13º SALÁRIO	QT.	CUSTOS ANUAIS
GESTOR DA PLANTA	R\$ 10.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 5.666,67	R\$ 17.000,00	1	R\$ 226.666,67
ENGENHEIRO	R\$ 7.000,00	R\$ 11.900,00	R\$ 3.966,67	R\$ 11.900,00	3	R\$ 476.000,00
OPERADOR	R\$ 3.500,00	R\$ 5.950,00	R\$ 1.983,33	R\$ 5.950,00	6	R\$ 476.000,00
ASSISTENTES	R\$ 2.000,00	R\$ 3.400,00	R\$ 1.133,33	R\$ 3.400,00	6	R\$ 272.000,00
TOTAL						R\$ 1.450.666,67

Foram calculados também os custos fixos e variáveis para o projeto, com base nos memórias de cálculo desenvolvidos no projeto de engenharia, os quais são apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. Também foi estabelecido um fundo de manutenção dos equipamentos de 3% do valor do investimento inicial com correção de inflação de 7%.

Tabela 6: Custos fixos do projeto.

FIXOS	DESPESAS MENSAS	DESPESAS NO ANO 1
TELEFONE/ SERVIÇO DE INTERNET	R\$ 1.500,00	R\$ 18.000,00
P&D	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00
DESPESAS GERAIS	R\$ 4.000,00	R\$ 48.000,00
SERVIÇO DE CONTABILIDADE	R\$ 800,00	R\$ 9.600,00
TOTAL	R\$ 11.300,00	R\$ 126.000,00

Tabela 7: Custos variáveis do projeto.

TIPO	GASTO MENSAL	PREÇO	DESPESA MENSAL	DESPESA ANUAL
ÁGUA	10080	1 R\$/ m3	R\$ 10.080,00	R\$ 120.960,00
BROMETO DE LÍCIO	6000	3,50 R\$/g	R\$ 21.000,00	R\$ 252.000,00
CAVACO DE MADEIRA	3240	38 R\$/ m3	R\$ 123.120,00	R\$ 1.477.440,00
CAROÇO DE AÇAÍ*	727,2	11 R\$/ m3	R\$ 8.290,08	R\$ 99.480,96
TOTAL	-	-	R\$ 154.200,00	R\$ 1.949.880,96

*O insumo de caroço de açaí é um subproduto da planta de polpa, ou seja, gera custo apenas de transporte, considerado 30% do valor do custo do cavaco de madeira.

Como toda nossa produção está sendo destinada a uma planta do mesmo grupo, na montagem do fluxo de caixa foram desconsideradas deduções feitas sobre vendas, impostos tais como: IPI, ICMS, ISS, PIS e COFINS. Para calcular as receitas do projeto, foi adotado o valor de R\$ 300,00/ MWh, preço médio praticado de energia no Sul do Brasil.

Outro insumo que entrou no cálculo das receitas do projeto foi o vapor frio produzido. Foi considerado um preço de R\$ 40,00/ton, baseado em um relatório da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural que estabelece o custo do vapor, gerado a partir de biomassa de eucalipto, para diferentes cenários econômicos da agroindústria. O cenário considerado para este preço corresponde a um cenário onde ocorre um mix de fontes energéticas padrão na safra e entre safra e rendimento térmico médio para a caldeira com 80% de eficiência.

A finalidade do Demonstrativo de Resultado de Exercício (DRE) é avaliar o resultado operacional anual, lucro ou prejuízo, ao longo do período estabelecido como horizonte do projeto, confrontando: receitas; custos; impostos; e despesas. No caso da planta de cogeração/trigeração, a receita está relacionada à economia que será feita por não comprar energia elétrica e utilidades frias de companhias de distribuição. Foi adotado um horizonte de projeto de 15 anos, após a partida da planta, com correção anual junto com a possível inflação de 7% a.a. A Figura 5 ilustra, de maneira geral, como se estrutura um DRE.

Na Figura 6 são apresentados os resultados operacionais extraídos do DRE, dentro do horizonte do projeto, após o desconto dos impostos de renda, considerando todos os dados financeiros mostrados anteriormente. Como pode ser observado, em todos os anos de operação da planta existe uma projeção de resultado positivo, possibilitando a recuperação gradual do investimento inicial realizado.

A Figura 7 mostra os resultados do Fluxo de Caixa Descontado. Foi obtido um VPL de R\$ 200.974.382,31, que demonstra a viabilidade do processo de cogeração/trigeração a partir do cavaco de madeira e caroço de açaí. Outros índices considerados na avaliação econômica deste projeto foram a TIR, que é calculada quando VPL é igual a zero e o Payback descontado, que expressa o prazo de retorno do investimento inicial. Para a TIR foi encontrado um valor de 24,6%, confirmando que o investimento supera o custo de oportunidade, sendo uma boa opção de investimento. O Payback estimado para a planta de foi de 4 anos, 11 meses e 19 dias, o que confirma que apesar do elevado investimento inicial, é possível, em um tempo curto, recuperar o investimento.

Receita Bruta de Vendas ou Serviços
(-) Impostos sobre Vendas
(-) <u>Abatimentos, Devoluções de Vendas</u>
= Receita Líquida de Vendas ou Serviços
(-) <u>Custos</u>
= Resultado Bruto
(-) Despesas Operacionais
Administrativas
Comerciais
<u>Outros Resultados Operacionais</u>
= Resultado Operacional antes de Juros (LAJIR)
(+/-) <u>Resultado Financeiro</u>
= Resultado antes do IR (LAIR)
(-) <u>Despesa com Imposto de Renda</u>
= Resultado Líquido

Figura 5: Estrutura para montagem de um DRE.

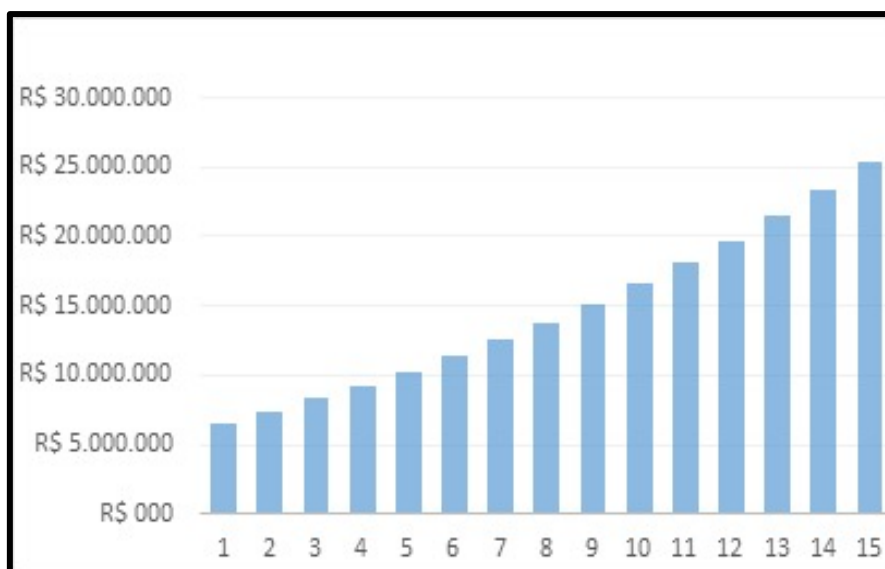


Figura 6: Resultados operacionais anuais, extraídos do DRE, após desconto do imposto de renda, ao longo do período de operação da planta de cogeração/trigeração.

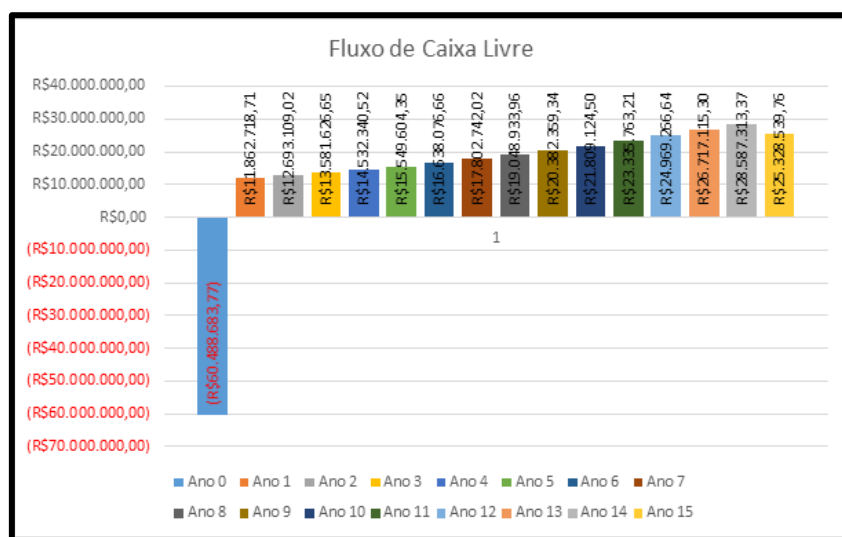


Figura 7: Fluxo de Caixa Livre Descontado do projeto ao longo do período de operação da planta de cogeração/trigeração.

Para determinar as variáveis de projeto que mais afetam os indicadores de viabilidade econômica, foi realizada uma análise de sensibilidade sobre seis variáveis. Nessa análise, determina-se o percentual da variação de cada variável que promove a obtenção de VPL igual a zero, mantendo as demais variáveis constantes. A Figura 8 apresenta as variáveis estudadas e os resultados obtidos. Percentuais positivos mostram que o valor da variável aumenta para que o VPL seja zerado e os percentuais negativos mostram uma queda no valor da variável para zerar o valor presente líquido. As variáveis que apresentaram maior sensibilidade para zerar o valor do VPL, mantendo as demais variáveis fixas, foram a capacidade ocupada da planta (47,21%) e o custo de energia (-54,85%).

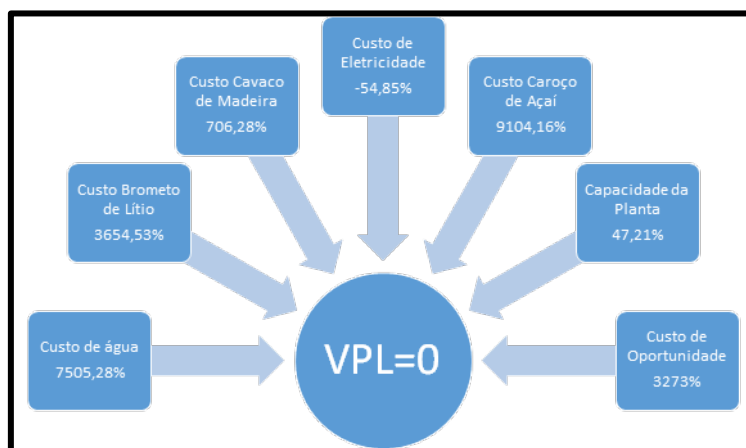


Figura 8: Análise de sensibilidade das principais variáveis do fluxo de caixa do projeto.

CONCLUSÕES

A partir da aplicação da metodologia FEL de Projeto de Engenharia foi possível desenvolver a Rota Conceitual e a análise de viabilidade econômica de uma planta de Cogeração/Trigeração de energia, utilizando como matéria prima a biomassa de caroço de açaí e cavaco de madeira. Nesse sentido, a metodologia apresentou-se eficiente na elaboração dos documentos que compõem um Projeto de Engenharia. Além disso, foi possível realizar uma avaliação econômica financeira preliminar, onde os valores de CAPEX, VPL, Payback, TIR e análise de sensibilidade foram encontrados garantindo a viabilidade do projeto.

A partir do estudo realizado pode-se destacar nas linhas de pesquisa para trabalhos futuros de Cogeração/Trigeração de energia a partir de biomassa: testar outras fontes alternativas de biomassa, como por exemplo: casca de arroz; investigar a influência do processo de pirólise do caroço de açaí na geração de bio-

óleo e no aumento do poder calorífico do carvão obtido, em comparação ao do caroço *in-natura*; estudar a capacidade calorífica do caroço de açaí em outras alternativas tecnológicas de combustão; realizar um Projeto Básico e de Detalhamento da planta de Cogeração/Trigeração de energia, utilizando este trabalho como fonte de dados e desenvolver o Fluxograma de Engenharia (P&ID), memória de cálculos de linhas de processo, descritivo de controle e lista de IO, folha de dados dos equipamentos, componentes e instrumentos; e realizar um Projeto de Detalhamento utilizando os dados obtidos no presente projeto e no Projeto Básico, com foco em desenvolver a maquete eletrônica da planta de Cogeração/Trigeração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL. *Atlas de energia elétrica. Capítulo 5: Biomassa*, 2005.
2. AZEVEDO, J. *Apontamentos sobre Cogeração. Departamento de Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico. Lisboa*, 2001.
3. BARBOSA, P.T.; PINHEIRO, N. P. M; JUNIOR W.L.P. *Metodologia FEL: Sua importância na avaliação de riscos e redução de impactos em escopo, tempo e custo de projetos de engenharia*, 2013.
4. BEZERRA, Valéria Saldanha (Ed.). *Coleção agroindústria familiar: Açaí congelado. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica*, 2007.
5. BORGES, Ane Caroline Pereira. Caracterização energética do cavaco de *Eucalyptus grandis* “in natura” e torrefeito. 81. Dissertação – Engenharia Industrial, UFBA, 2015.
6. BRANDÃO, S.S.. Cogeração, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra, Portugal, 2004.
7. CARDOSO, Bruno Monteiro. Uso da biomassa como alternativa energética. 112. Monografia – Engenharia Elétrica, UFRJ, 2012.
8. CARVALHO, R.B. *Relatório técnico - Unidade de Indústria de Cogeração de Energia – Estado da arte da Cogeração de energia. Relatório técnico*, 2016.
9. DELGADO, Rafael Filipe Lourenço. Estudo e Implementação de um Sistema de Cogeração. Dissertação – Engenharia Mecânica, FEUP, 2016.
10. Educogen, Educogen – *The European Educational Tool on Cogeneration*, 2001.
11. FERREIRA, M.C. Márcia; RAMBO, K.D. Magale; QUEIROZ, B. Marcos. *Correlação entre poder calorífico e a composição química de biomassas lignocelulósicas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, 37., 2014. Natal/RN.
12. FREITAS, M. R. – Avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos dos Lagares do Alentejo. Tese de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. 2007.
13. GOLDENBERG, J. *Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para geração de energia. Revista virtual de química*, v. 9, n. 1, nov., 2016.
14. INETI/ITE. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial e Instituto de Tecnologias Energéticas. *Tecnologias de Combustão – Cogeração*. Lisboa, 2002.
15. INNOCENTE, A. F. Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar: estudo de caso. 124f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2011.
16. JÚNIOR, Silvio Vaz; SOARES, Itânia Pinheiro. *Análise química da biomassa – Uma revisão das técnicas e aplicações*. Brasília, 2014.
17. KINNUNEN, Lauri,. “*Better energy, self-sufficiency, lower emissions*” in *Energy in Finland 2003*, Allpress Oy, Helsinki, 2003.
18. ODDONE, D.C. – Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2001.
19. SILVA, C. Solange L. e J. P. L. Mendonça. *Produção e distribuição centralizada de energia térmica e Cogeração. Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra*, 2003.
20. SIMS, Ralph; GIGLER, Jorg.. The brilliance of bionergy: Small projects using biomass in renewable energy world, James & James, Londres, Janeiro/Fevereiro 2002, pp. 56-63.