

Este documento destina-se estritamente aos membros do Comitê de Acompanhamento do Projeto Siderurgia Sustentável (BRA/14/G31) e de sua assessoria técnica.

A leitura, exame, retransmissão, divulgação, distribuição, cópia ou outro uso deste arquivo, ou ainda a tomada de qualquer ação baseada nas informações aqui contidas, por pessoas ou entidades que não sejam o(s) destinatário(s), constitui obtenção de dados por meio ilícito e configura ofensa ao Art.5º, inciso XII, da Constituição Federal.

Mapeamento, Mensuração e Avaliação de Opções Tecnológicas de Coprodutos de Carvão Vegetal.

Relatório Técnico referente à:

Produto 4: Definição do *layout* e localização para a praça de produção de carvão vegetal sustentável.

Produto 5: Análise de custo-benefício para a produção de carvão vegetal

Revisão 1

Augusto Valencia Rodriguez

Índice

LISTA DE TABELAS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS.....	6
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS.....	10
3. METODOLOGIA E RESULTADOS	11
3.1 DEFINIÇÃO DOS LAYOUTS E LOCALIZAÇÃO	12
3.1.1 PEQUENA ESCALA.....	13
3.1.2 GRANDE ESCALA.....	19
3.1.3 DEMAIS ELEMENTOS PARA OPERAÇÃO DAS PLANTAS	25
3.1.4 FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO	25
3.1.5 FATORES PARA INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS	27
3.2 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO.....	29
3.2.1 PEQUENA ESCALA.....	31
3.2.2 GRANDE ESCALA.....	36
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
Anexo 1: Layout para Produção em Pequena escala	44
Anexo 2: Layout para Produção em Grande Escala	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações operacionais do forno para pequena escala de produção.....	14
Tabela 2: Informações operacionais do forno para grande escala de produção.....	19
Tabela 3: Arranjos tecnológicos para avaliação de viabilidade técnica e econômica....	29
Tabela 4: Preços de produtos, coprodutos e correlatos.	30
Tabela 5: Produção, equipamentos necessários e investimentos para produção em pequena escala.....	31
Tabela 6: Custo operacional para produção de carvão em pequena escala.....	32
Tabela 7: Produção de carvão vegetal e coprodutos e receitas para produção em pequena escala.....	33
Tabela 8: Balanço das emissões evitadas para os cenários de pequena escala de produção.....	34
Tabela 9: Resultados do fluxo de caixa para os cenários de pequena escala de produção.....	34
Tabela 10: Variação dos valores praticados para remuneração da queima de gases pela energia térmica equivalente, para pequena escala de produção.....	35
Tabela 11: Produção, equipamentos necessários e investimentos para produção em grande escala.....	36
Tabela 12: Custo operacional para produção de carvão em grande escala	37
Tabela 13: Produção de carvão vegetal e bio-óleo e receitas para produção em grande escala.	38
Tabela 14: Balanço das emissões e emissões evitadas para os cenários de grande escala de produção.....	39
Tabela 15: Resultados do fluxo de caixa para os cenários de grande escala de produção.	39
Tabela 16: Variação dos valores praticados para remuneração do bio-óleo recuperado, para grande escala de produção.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conjunto de fornos circulares de superfície acoplados a queimador, para pequena escala de produção.....	13
Figura 2: Ciclos operacionais: fornos pequenos, lado A da planta.	15
Figura 3: Layout de uma planta de produção para pequena escala e posição hipotética das etapas no dia 15.....	18
Figura 4: Forno retangular em alvenaria para produção em grande escala.	19
Figura 5: Ciclo operacional: fornos retangulares para grande escala de produção.....	21
Figura 6: Layout de uma planta de produção para grande escala e posição hipotética das etapas no dia 15.....	24
Figura 7: Fluxograma de produção de carvão vegetal	26

LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS

Alcatrão	Substância betuminosa, espessa, escura e de forte odor, que se obtém da destilação (ou carbonização) da madeira.
BDI (%)	Bonificação de Despesas Indiretas. Refere-se ao percentual sobre os custos para cobrir impostos, lucros e eventuais (tais como despesas administrativas, impostos, seguros, manutenções corretivas, despesas com ações trabalhistas, etc)
Bio-óleo	Combustível renovável cuja matéria-prima é a biomassa, ou seja, substâncias de origem orgânica (vegetal, animal etc.)
CV	Carvão Vegetal
cv	Medida de potência – cavalo vapor
EP	Extrato Pirolenhoso - Extrato líquido obtido através da condensação da fumaça proveniente da carbonização da madeira.
FCP	Forno circular pequeno
FRG	Forno retangular grande
F.O.B.	Do ingles “ <i>Free on Board</i> ”. Refere-se ao valor de um produto considerando seu carregamento nos veículos de transporte, no ponto de produção, desconsiderando o transporte e o valor respectivo, relativo ao frete.
Gcal	Gigacaloria
L/C	Relação de transformação da lenha (madeira) em carvão vegetal.
Lícor pirolenhoso	Líquido originado da carbonização da madeira composto por mais de 600 substâncias (ácidos, álcoois, fenóis, etc.). Líquido cristalino com forte odor de fumaça; amarelo, marrom ou avermelhado; pH ácido, 2–3; densidade de 1,005 a 1,050 g/cm ³ ; máximo de alcatrão dissolvido aceitável – 3,0%, isento de metais pesados.

Marcha dos fornos	Evolução do processo de carbonização em função das taxas de avanço da temperatura em relação ao tempo.
m ³ m	Metro cúbico de madeira.
mdc	Metros cúbicos de carvão (a granel).
MO	Mão de obra.
MV	Matérias Voláteis.(%)
MWhe	Potência Elétrica (mega-watt-hora elétrico).
MWht	Potência Térmica (mega-watt-hora térmico).
Nm ³ gases	Normal metro cúbico de gases. Volume de gases nas CNTP (condições normais de temperatura e pressão).
PCI	Poder Calorífico Inferior em kcal (quilo caloria)/kg ou kJ (quilo Joule)/kg
RG	Rendimento Gravimétrico: Relação (em peso), entre o carvão produzido e a madeira consumida que lhe deu origem, normalmente em base seca.
RTCP1-2	Relatório Técnico referente à: Produto 1: Mapeamento das opções e rotas tecnológicas. Produto 2: Relatório Técnico sobre o aproveitamento dos coprodutos.
RTCP 3	Relatório Técnico referente à: Produto 3: Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de tecnologias de conversão em diversas escalas de produção.
<i>Spot</i>	Refere-se à venda de produto no mercado livre, ou seja, sem contrato de tempo e/ou volume pré-determinados.
st	Estéreo - Medida de volume aparente da madeira empilhada.
t	Tonelada.
TIR (% a.a)	Taxa Interna de Retorno. Quando o total das receitas é igual ao total dos custos
tCV	Tonelada de carvão vegetal. Para as informações apuradas

	em <u>mdc</u> foi utilizada uma conversão padrão de 4,5 mdc/tCV.
tCV/H.mês (Homem-mês)	Refere-se à quantidade produzida por uma pessoa em um mês.
UPC	Unidade de Produção de Carvão
<i>Valuation</i>	Critério de avaliação de projetos comparáveis entre si, que contempla os resultados da TIR e do VPL.
VPL (R\$)	Valor Presente Líquido. Resultado do projeto em estudo, recuperado ao valor atual, de acordo com a taxa de remuneração definida.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta as informações referentes aos produtos 4 e 5 de acordo com os Termos de Referência (ToR), relativos ao Processo IC 29824/2016, referente ao “Projeto BRA/14/G31 – Produção de Carvão Vegetal de Biomassa Renovável para a Indústria Siderúrgica no Brasil”.

Trata-se da indicação das informações sobre o *layout* e localização para a instalação de plantas de produção e carvão vegetal sustentável em duas escalas de produção, seja de pequena escala e de grande escala. Por sustentável, foi determinado o conceito de que a produção levará em conta, como diferencial, o aproveitamento de coprodutos provenientes de cada escala de produção específica. Foram considerados, além dos níveis de produção escolhidos, os investimentos necessários para a implantação dos modelos de produção específicos, bem como o detalhamento locacional e das instalações necessárias à operação das plantas.

Apresenta-se, também, uma análise de custo-benefício com base nos modelos de produção sugeridos, considerando os fluxos produtivos e as estimativas dos mercados para os coprodutos agregados. Foi considerada a remuneração pela redução evitada de emissões de gases de efeito estufa (contidos nas fumaças da pirólise), como fator de geração de receitas adicionais aos cenários determinados.

Como os fluxos de produção e os mercados-alvo ainda não estão maduros, apresenta-se os resultados na forma de uma análise de sensibilidade em relação à variação dos preços dos coprodutos gerados.

A base das informações para a elaboração do presente relatório está contida nos produtos anteriores da consultoria (RTCP1-2 e RTCP3). Estes indicaram as opções e rotas tecnológicas para o aproveitamento dos coprodutos da produção de carvão vegetal, suportando a estruturação dos cenários de produção em diversas escalas (com e sem aproveitamento de coprodutos).

2. OBJETIVOS

- Apresentar os *layouts* definidos para implantação e operação de plantas de produção e carvão vegetal em pequena escala e grande escala.
- Descrever os critérios para localização das plantas em relação às florestas de suprimento de madeira, distribuição dos fornos (modelos definidos no RTCP3), fluxograma dos processos produtivos (incluindo o aproveitamento de coprodutos), abordagem sobre os ciclos operacionais e informações técnicas básicas para compor a elaboração de projetos de engenharia.
- Apresentar modelo de análise de custo-benefício dos cenários estudados, em relação à operação tradicional (produção exclusiva de carvão vegetal), utilizando do critério de *valuation* (VPL e TIR). O modelo admite novas construções de cenários, de acordo com a evolução das tecnologias, permitindo estudos de sensibilidade a partir da variação de valores dos investimentos, custos operacionais, fatores de produção e indicadores de mercado (volumes, clientes e preços).
- Avaliar critérios de bonificação das emissões, a partir de um conceito proposto, denominado “Emissão Evitada”.

3. METODOLOGIA E RESULTADOS

A metodologia para elaboração deste trabalho considerou os seguintes tópicos para o seu desenvolvimento, para cada escala de produção (pequena e média):

- a) Escolha do modelo de forno (conforme RTCP 3).
- b) Ciclos de produção de carvão vegetal e de coprodutos.
- c) Capacidade de produção da planta (ajustada para a equalização do *layout* e ciclos de produção).
- d) Descrição do *layout* e fluxogramas dos processos de produção.
- e) Arranjos produtivos (cenários) com a descrição dos investimentos, custos operacionais, receitas, fluxos de caixa e *valuation*.
- f) Estudo de sensibilidade em função da variação de preços de mercado para os coprodutos e bonificação das receitas pela “Emissão Evitada”.

A base de informações usada para os modelos propostos a seguir é formada por estudos diversos em mais de 32 anos de atuação, com projetos desenvolvidos para vários clientes do setor de carvão vegetal. Por razões contratuais, as fontes de informação desses estudos são mantidas em sigilo. Esses estudos têm sido desenvolvidos no âmbito da empresa BIOMTEC Biomassas e Tecnologia Ltda, de propriedade do autor (consultor).

Acompanha o relatório, um conjunto com duas pranchas em formato A1 contendo todos os desenhos de plantas de distribuição dos equipamentos e infraestrutura, vistas, cortes e a simulação do fluxo dos processos e situações hipotéticas do *status* de operação da planta em dado momento.

As informações foram organizadas de forma separada (pequena e grande escala), pois não se pretende estabelecer comparações entre as escalas, e sim, sugerir alternativas e modelos de produção de carvão vegetal e coprodutos, para cada escala em si.

Em relação às tecnologias de aproveitamento de coprodutos agregadas a cada escala de produção foram definidas:

- a) Pequena escala: Produção de carvão vegetal com captação, transporte e queima dos gases de pirólise (fumaças), sem aproveitamento posterior. Tal aproveitamento ainda requer estudos e desenvolvimentos mais aprofundados do ponto de vista de tecnologias que sejam viáveis economicamente e possam ser transferidas aos pequenos produtores. Esse aproveitamento poderá ser através da secagem da própria

biomassa utilizada no processo de produção de carvão vegetal, ou na cogeração para produção de energia elétrica. Alguns avanços adicionais devem também contribuir para essa viabilidade, tais como: do ponto de vista de infraestrutura necessária, as instalações irão requerer a alimentação por redes de energia elétrica. Tanto para o consumo próprio em processos que requeiram o transporte dos gases para secagem, ou até mesmo, para a conexão que permita a recepção de excedentes de energia produzidos.

b) Grande escala: Produção de carvão vegetal com captação e recuperação dos gases de pirólise, através de um sistema de ciclonagem e condensação, com posterior decantação e armazenamento da fração líquida denominada bio-óleo.

Os resultados são apresentados sequencialmente ao desenvolvimento metodológico de cada tema abordado.

3.1 DEFINIÇÃO DOS LAYOUTS E LOCALIZAÇÃO

Para a definição dos *layouts* de produção devem-se seguir as seguintes etapas:

- g) Escolha do modelo de forno a ser operado.
- h) Verificação da duração das etapas do processo de produção e produtividade do forno.
- i) Cálculo do número de fornos necessários para atender à produção, ajustando o conjunto para um múltiplo ideal que se integre com a produção de coprodutos, recalculando a produção final, quando for o caso.
- j) Tipos de equipamentos periféricos que serão integrados ao processo produtivo (no caso, para produção de coprodutos).
- k) Cálculo do número de fornadas necessárias para atender à produção.
- l) Elaboração do mapa de ciclos operacionais na unidade.
- m) Cálculo do número de equipamentos interligados a um forno ou conjunto de fornos.
- n) Formato da praça em função da área disponível e condições do terreno (topografia, adequação dos projetos de terraplanagem, pavimentação e drenagem, localização das áreas de apoio e serviços), entrada de madeira e escoamento do carvão vegetal.

Para cada escala de produção, o detalhamento da sequência utilizada é registrado nas seções seguintes deste documento.

Todas as informações coletadas para elaboração deste estudo estão apresentadas em um arquivo eletrônico em Excel referenciado como: [Cenários VTEA-Produto 5.xlsx](#).

3.1.1 PEQUENA ESCALA

A figura 1 apresenta o modelo de operação definido para produção de carvão vegetal em pequena escala.

Figura 1: Conjunto de fornos circulares de superfície acoplados a queimador, para pequena escala de produção.



Fonte: Arquivo do autor.

Pode-se observar um grupo de fornos acoplados a um conjunto fornalha-chaminé através de dutos de superfície. Todo o material construtivo é composto de alvenarias de tijolos cerâmicos comuns, assentados com argamassas de argila. O conjunto de

queima é revestido por materiais refratários (mantas e tijolos) apropriados para suportar altas temperaturas provenientes da queima.

A tabela 1 apresenta as informações básicas do modelo escolhido para elaboração das etapas sequenciais de definição do layout.

Tabela 1: Informações operacionais do forno para pequena escala de produção.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	FCP VALOR
Modelo de fornos	Diâmetro/Largura x altura x comprimento	um	3,8X2,0
Produção	Capacidade de carga	m ³ m	13
	Rendimento transformação	m ³ m/mdc	1,25
	Carvão produzido (CP)	mdc/mês	31
Ciclo	Total	dias	10
	Carga/Descarga	dias	1
	Carbonização	dias	4
	Resfriamento	dias	5
	Ciclos mensais	um/mês	3

Fonte: Elaboração do autor.

Inicialmente, a produção projetada para essa escala era de 15.000 mdc anuais. Porém, ao projetar-se a concepção da planta, ajustando-se ao um conjunto múltiplo de fornos e a sua interligação ao projeto de transporte e queima de fumaças, a produção recalculada é de 18.000 mdc/ano.

São necessários, então, 48 fornos do modelo escolhido para alcançar essa produção projetada. Com as informações do ciclo operacional, determina-se então o mapa de produção da planta, como pode ser observado na figura 2¹.

¹ A unidade de produção é composta por 48 fornos. A Figura 2 apresenta o lado A da planta, com 24 fornos. O lado B é exatamente igual ao lado A.

Figura 2: Ciclos operacionais: fornos pequenos, lado A da planta.

DIA-FORNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	F/Q	
1	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
2	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
3	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
4	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
5	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
6	REF	REF	REF	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
7	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	9	
8	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
9	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
10	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
11	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
12	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
13	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
14	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
15	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
16	REF	REF	REF	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
17	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	9	
18	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
19	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
20	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
21	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
22	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
23	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	3	
24	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	
25	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
26	REF	REF	REF	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CCQ	CFI	CFI	CFI	CAD	CAD	CAD	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
27	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
28	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
29	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
30	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	9	
																									MÉDIA	7
Fornadas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	72	
Legenda:																										
	CAD																									
	CFI																									
	CCQ																									
	REF																									
	Fornadas																									
	F/Q																									
	MÉDIA																									

Fonte: Elaboração do autor

A elaboração do mapa de produção seguiu as seguintes etapas:

- o) Determinação do número de fornadas mensais necessárias para a produção projetada. Neste caso, para se alcançar um volume mensal de 1.500 mdc, considerando que os fornos para pequena escala alcançam uma produção por forno de 31 mdc/mês, é necessário dispor de 48 fornos e realizar 72 fornadas a cada 30 dias.
- p) Considerando 30 dias de operação da planta, tem-se então 3 fornadas iniciando a cada dia, seguindo-se a sequência de operação até completar o mês.
- q) O quadro de pessoal estimado para operação da planta é de 19 pessoas.
- r) O ciclo operacional é composto das seguintes etapas sucessivas e seus respectivos códigos:
 - Carga/descarga do forno – CAD
 - As operações são executadas de forma manual a partir da colocação da madeira na porta do forno. A retirada do carvão vegetal é realizada também de forma manual.
 - Carbonização fase inicial sem queima – CFI
 - Nesta fase (cerca de um dia), as fumaças ainda estão frias e saturadas de umidade. Portanto, a liberação desta se dá diretamente pelas chaminés dos fornos.
 - Carbonização permitindo a queima das fumaças – CCQ
 - Esta fase já contempla fumaças mais ricas em compostos combustíveis, sendo então realizada a interligação dos fornos contribuintes ao sistema dutos-fornalha-chaminé.
 - Resfriamento – REF
 - Ocorre ao final da carbonização, com a total vedação dos fornos e fechamento das interligações e conexões com a chaminé.
- s) Assim, ao final da montagem do quadro com a distribuição dos ciclos (ver Figura 2, acima), obtêm-se as seguintes informações:
 - Número de fornadas para cada forno e mensal: Fornadas, totalizando as 72 projetadas.
 - Número de fornos ligados ao queimador simultaneamente: F/Q, que representa a simultaneidade de interligação de fornos ao sistema de

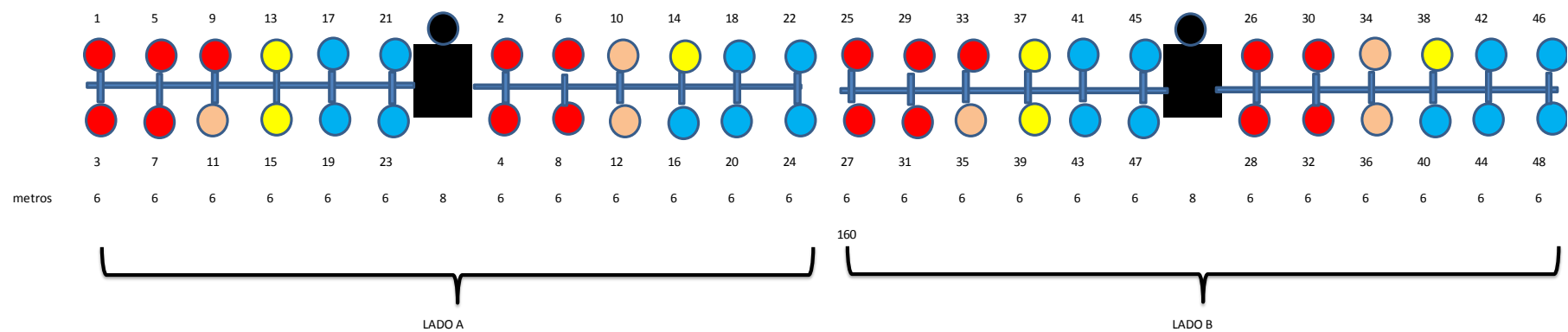
queima. Isso possibilita o dimensionamento do conjunto dutos-fornalha-chaminé, afim de que haja uma tiragem dos gases adequada e a condução do processo de carbonização sem interferências.

- t) O lado B da planta é exatamente igual ao lado A. Isso complementa a produção total mensal pretendida.

A figura 3, abaixo, apresenta o layout geral da planta e a ilustração de um dia hipotético de produção (no caso o dia 15), destacado na figura 2.

Pode-se observar o equilíbrio entre as etapas de produção, com destaque para o número de fornos interligados a cada sistema de queima de gases. Neste caso, 9 em cada lado da planta. A opção escolhida neste estudo foi da colocação das duplas de fornos em uma única linha. De acordo com as condições do terreno local, os lados A e B podem ser dispostos de forma paralela também, reduzindo a distância longitudinal à planta.

Figura 3: Layout de uma planta de produção para pequena escala e posição hipotética das etapas no dia 15.



Legenda:

- CAD Carga e descarga do forno
- CFI Carbonização fase inicial sem queima
- CCQ Carbonização permitindo a queima das fumaças
- REF Resfriamento
- Fornadas Número de fornadas para cada forno e mensal
- F/Q Número de fornos ligados ao queimador simultaneamente
- MÉDIA Média de fornos ligados ao queimador simultaneamente

Fonte: Elaboração do autor.

3.1.2 GRANDE ESCALA

A figura 4 apresenta o modelo de operação definido para produção de carvão vegetal em grande escala.

Figura 4: Forno retangular em alvenaria para produção em grande escala.



Fonte: Arquivo do autor.

A tabela 2 apresenta as informações básicas do modelo escolhido para elaboração das etapas sequenciais de definição do layout.

Tabela 2: Informações operacionais do forno para grande escala de produção.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	FRG VALOR
Modelo de fornos	Diâmetro/Largura x altura x comprimento	um	4X2X32
Produção	Capacidade de carga	m ³ m	230
	Rendimento transformação	m ³ m/mdc	1,15
	Carvão produzido (CP)	mdc/mês	420
Ciclo	Total	dias	14
	Carga/Descarga	dias	1
	Carbonização	dias	5
	Resfriamento	dias	8
	Ciclos mensais	um/mês	2,1

Fonte: Elaboração do autor.

A produção projetada inicialmente (relatada em RTCP-3), para essa escala de produção, era de 100.000 mdc anuais. Porém, ao projetar-se a concepção da planta, ajustando-se ao um conjunto múltiplo de fornos e a sua interligação ao projeto de recuperação de bio-óleo, a produção recalculada é de 120.000 mdc/ano.

São necessários, então, 24 fornos do modelo escolhido para alcançar essa produção projetada. Com as informações do ciclo operacional, determinou-se então o mapa de produção da planta, como pode ser observado na figura 5, a seguir.

Figura 5: Ciclo operacional: fornos retangulares para grande escala de produção

DIA-FORNO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	F/R	REC.FUNC.	
1	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	6	3
2	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	4	2
3	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	4	2
4	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	4	2
5	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	3
6	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
7	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
8	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
9	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
10	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
11	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
12	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
13	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
14	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
15	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	3
16	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	4	2
17	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	4	2
18	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	4	2
19	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	3
20	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
21	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
22	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
23	REF	REF	REF	REF	REF	REF	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CBO	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
24	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
25	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
26	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
27	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
28	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	8	4
29	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	6	3
30	CFI	CFI	CDA	CDA	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	4	2
																									MÉDIA	7	4
Fornadas	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	52	
Legenda:																											
	CDA																										
	CFI																										
	CBO																										
	REF																										
	Fornadas																										
	F/R																										
	REC.FUNC.																										
	MÉDIA																										

Fonte: Elaboração do autor.

A elaboração do mapa de produção obedeceu às mesmas etapas descritas para a produção de pequena escala. Assim, neste caso, têm-se as seguintes informações:

- u) Determinação do número de fornadas mensais necessárias para a produção projetada. Neste caso para o volume mensal de 10.000 mdc com uma produção por forno de 420 mdc/mês, serão necessárias 52 fornadas e 24 fornos.
- v) Considerando 30 dias de operação da planta, tem-se então 2 fornadas iniciando a cada dia, seguindo-se a sequência de operação até completar o mês.
- w) O quadro de pessoal estimado para operação da planta é de 40 pessoas.
- x) Estima-se a necessidade de 03 pás carregadeiras para a operação.
- y) O ciclo operacional é composto das seguintes etapas sucessivas e seus respectivos códigos:

- Carga/descarga do forno – CAD
 - As operações são executadas de forma totalmente mecanizada utilizando-se pás carregadeiras com implementos adaptados para carga da madeira e descarga do carvão vegetal.
- Carbonização fase inicial sem produção de bio-óleo - CFI
 - Nesta fase (cerca de um dia), as fumaças ainda estão frias e saturadas de umidade. Portanto, a recuperação de bio-óleo não é viável.
- Carbonização permitindo recuperação do bio-óleo - CBO
 - Esta fase já contempla fumaças mais ricas em bio-óleo recuperável, sendo feita a interligação de um recuperador a cada dupla de fornos.
- Resfriamento – REF
 - Ocorre ao final da carbonização, com a total vedação dos fornos e fechamento das interligações e conexões com a chaminé e com o recuperador de bio-óleo.

z) Assim, ao final da montagem do quadro com a distribuição dos ciclos (ver Figura 5, acima), obtêm-se as seguintes informações:

- Número de fornadas para cada forno e mensal: Fornadas, totalizando as 52 projetadas.

- Número de fornos ligados ao recuperador: F/R, que representa a simultaneidade de interligação de fornos ao sistema de recuperação.
- Número de recuperadores funcionando simultaneamente: REC.FUNC
Isso possibilita o dimensionamento do número máximo de recuperadores para atender à planta. Neste caso serão necessários 4 recuperadores.

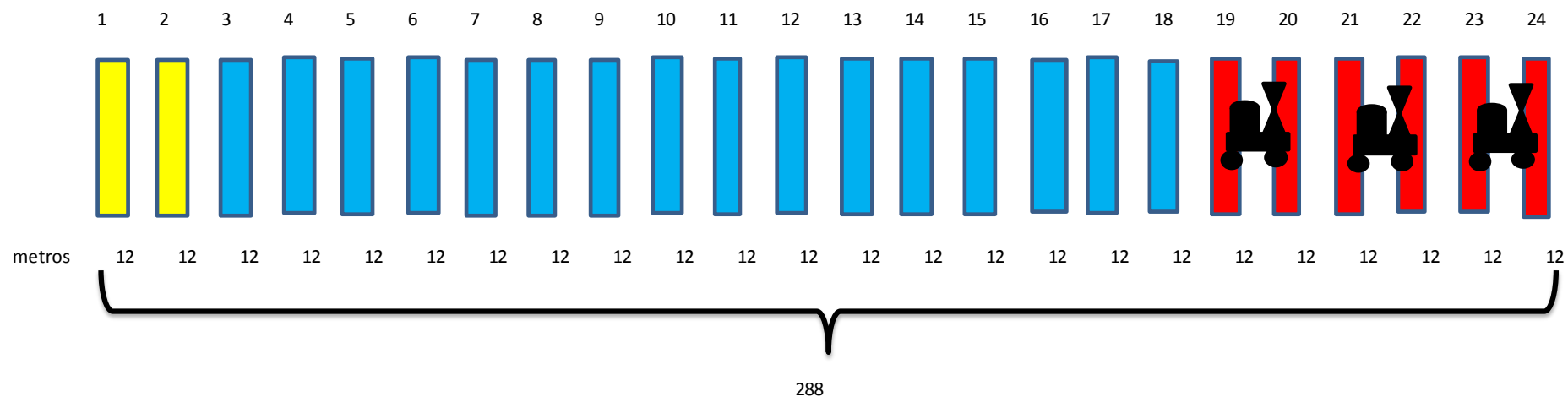
A figura 6, a seguir, apresenta o layout geral da planta e a ilustração de um dia hipotético de produção (no caso o dia 15), destacado na figura 5.

Pode-se observar o equilíbrio entre as etapas de produção, com destaque para o número de recuperadores interligados a cada dupla de fornos. Neste caso, estão em operação 3 recuperadores de bio-óleo. A opção escolhida neste estudo foi da colocação dos fornos em uma única linha. De acordo com as condições do terreno local, podem ser dispostos em dois grupos de 12 fornos, de forma paralela, reduzindo a distância longitudinal da planta.






A tecnologia para recuperação sugerida é a descrita por Castro et alii (1982), cujo modelo de melhor desempenho é aquele constituído pelo equipamento com triplo ciclone. As características principais desse equipamento são:

- Sistema de exaustão forçada do tipo fim de tubo (na saída), com recuperação dos gases por ciclonação e lavagem dos gases, através da aspersão do próprio licor pirolenhoso recuperado.
- Tanques para recepção do condensado e decantação parcial entre o alcatrão vegetal e o licor pirolenhoso.
- Potência instalada: exaustor de 7,5 cv e bomba de recirculação de 1,5 cv.
- Consumo de energia elétrica: 3 kWh/mdc.
- O conjunto é montado em uma carreta para transporte e a ligação deste aos fornos se dá por meio de dutos flexíveis de material resistente à temperatura e a acidez do meio gasoso.
- Atualmente, não existem equipamentos disponíveis para pronta entrega no mercado, mas a construção sob encomenda pode ser de fácil aquisição.

Figura 6: Layout de uma planta de produção para grande escala e posição hipotética das etapas no dia 15.



Legenda:

- | | |
|---|---|
|  | Carga e descarga do forno |
|  | Carbonização fase inicial sem produção de bioóleo |
|  | Carbonização permitindo recuperação do bioóleo |
|  | Resfriamento |
|  | Recuperador de bioóleo |

Fonte: Elaboração do autor.

3.1.3 DEMAIS ELEMENTOS PARA OPERAÇÃO DAS PLANTAS

Além dos equipamentos para produção de carvão vegetal e aproveitamento de coprodutos, bem como, toda a área industrial necessária para a adequação dos estoques de matéria-prima e produtos acabados (carvão, bio-óleo, etc.) e respectivo arruamento necessário para o deslocamento de pessoas e equipamentos, as plantas contam ainda com os seguintes elementos de infraestrutura:

- aa) Estacionamentos para veículos leves e pesados.
- bb) Entrada principal com prédio de recepção e controle.
- cc) Balança rodoviária (somente na opção de grande escala de produção).
- dd) Prédios abrigando escritório, vestiário, refeitório.
- ee) Utilidades: oficina mecânica, armazenagem para combustíveis.
- ff) Caixa d'água.
- gg) Acertador de gaiola (nivelamento da carga de carvão vegetal expedido e enlonamento da mesma)
- hh) Eletrificação (somente na opção de grande escala de produção).

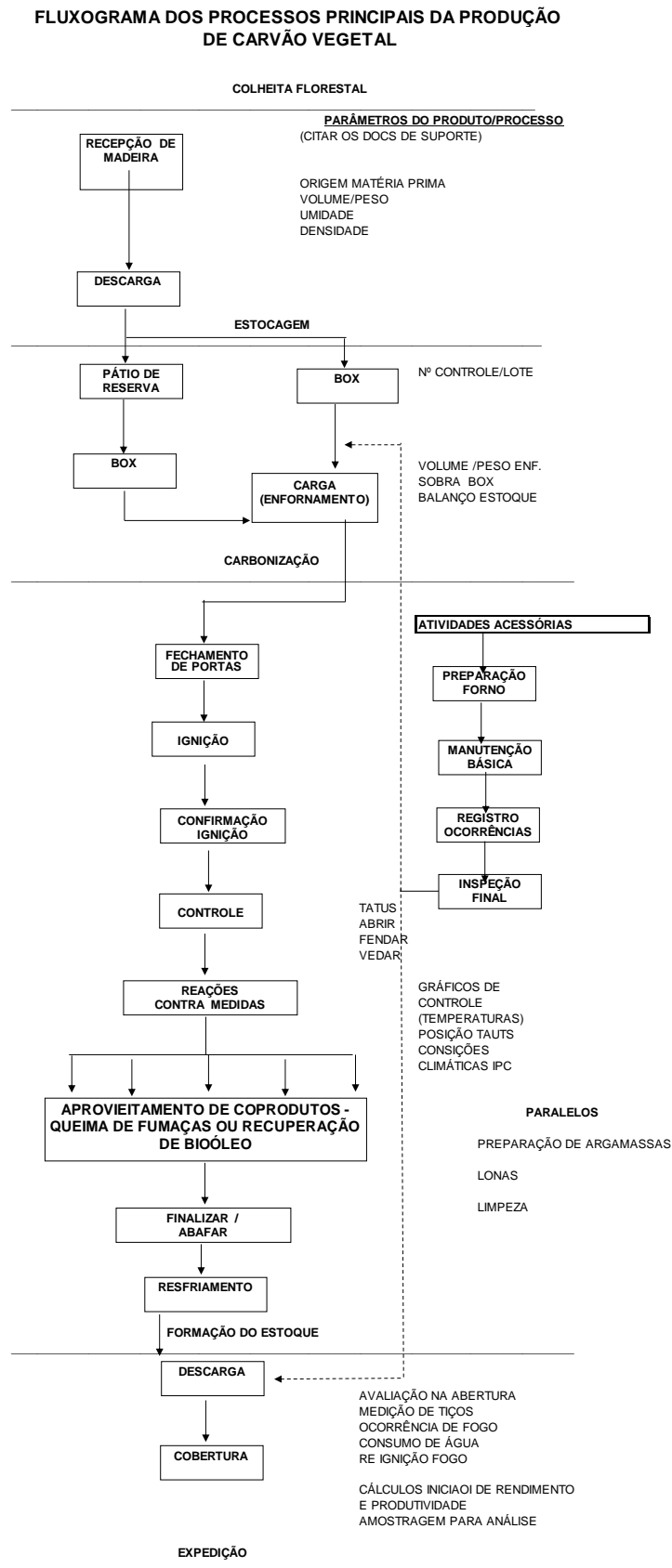
Todo o detalhamento consta dos desenhos que acompanham este relatório com as identificações:

- a) Produção em pequena escala: BIO-LO-PP-001 – também apresentado o Anexo 1.
- b) Produção em grande escala: BIO-LO-GP-001 – também apresentado no Anexo 2.

3.1.4 FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO

A figura 7 apresenta de forma esquemática o fluxo de produção de carvão vegetal para uma planta típica. Nele, pode ser observada a sequência de atividades em cada etapa, bem como, os parâmetros de controle que devem ser acompanhados e registrados para que se possa satisfazer a gestão operacional da planta. Cada empresa deverá adaptar seus sistemas de controle, de acordo com as necessidades específicas de seu negócio. Apresenta-se também. Uma lista de atividades acessórias necessária à boa operação da planta.

Figura 7: Fluxograma de produção de carvão vegetal



Fonte: Elaboração do autor.

3.1.5 FATORES PARA INDICAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS

Este item trata da descrição dos fatores que devem ser considerados para a escolha e alocação das plantas de produção, obedecendo às escalas de produção e à correspondente área florestal de origem da matéria-prima. Esta descrição está organizada numa sequência para que se possa entender um fluxo decisório contínuo para se atingir o objetivo.

A. Desenvolvimento do plano estratégico de suprimento:

- Deve ser considerada primeiramente a origem da oferta da madeira. Essa pode ser de origem própria ou adquirida a terceiros (fundos de investimento, produtores independentes ou empresas integradas).
- Efetuar levantamento criterioso em relação às características da área de suprimento (concentrada ou dispersa), produtividade da floresta, topografia, distância média de transporte de madeira (DMT), produtividade e custos das operações logísticas (colheita, estocagem e transporte).
- Formas de comercialização da madeira (floresta em pé, arrendamento de áreas, compra diretamente na planta) ou prestação de serviços.
- Elaboração do plano de suprimento considerando o volume, tempo, custos e riscos envolvidos.

B. Fatores locacionais:

- Direção predominante dos ventos: deve ser observada para que não haja lançamento de fumaças² de forma indevida para a vizinhança (comunidades, estradas, etc.). Um estudo preliminar deve ser realizado, considerando também, inversões térmicas ao longo do ano e a altitude (quanto maior, melhor).
- Disponibilidade local de utilidades (água, energia elétrica, comunicações).
- Localização de comunidades próximas para suprimento de serviços, mão de obra.
- Análise da malha viária para abastecimento de matéria-prima e escoamento da produção.

² Não é viável a queima de gases durante o primeiro estágio da pirólise, já que a fumaça ainda está fria e saturada de umidade.

- Prospectar áreas que ofereçam condições topográficas e de solo favoráveis à execução de terraplenagem, drenagem e arranjo da distribuição dos equipamentos (layout). Áreas com menor declividade e boa drenagem natural devem ser priorizadas.

C. Características das plantas industriais:

- O formato em linha deve ser avaliado, de acordo com a declividade natural do terreno, procurando estabelecer a menor ocupação possível da área, o que reduz distâncias internas com transportes e deslocamentos.
- A locação deverá ser executada considerando um eixo perpendicular à direção dos ventos dominantes, para que não haja sobreposição das fumaças no interior da planta.
- Em casos específicos com terrenos mais instáveis, pode-se projetar uma pavimentação diferenciada, de acordo com cada elemento de operação (praças de fornos, estoque de madeira, estoque de carvão, arruamento, etc.). Assim, reduzem-se os riscos com perda de produtividade ou danos ao terreno.

D. Fatores para avaliação de riscos operacionais:

- Idade da floresta: influencia na qualidade da matéria-prima em relação à densidade, diâmetro, tempo de secagem necessário, resíduos florestais e sanidade.
- Custos de transporte: devem ser conhecidos e o suprimento nivelado para evitar aumentos não desejados. Escolher os modais³ com melhor produtividade.
- Permuta de madeira: pode ser uma opção para reduzir custos e regular a produção.
- Concentração da produção: reduz custos fixos e viabiliza a adoção de equipamentos periféricos.
- Tipo de aquisição da matéria-prima e contratos de fornecimento: avaliar a possibilidade de contratos com maior duração (garantia e preços).

³ Tipo de veículo para transporte de madeira: toco, truck, carreta simples, semirreboque, bitrem, outros

E. Gerenciamento básico do projeto industrial:

- Definir o volume inicial de produção e as tecnologias que serão empregadas (fornos, periféricos, coprodutos, etc.)
- Desenvolver a engenharia básica do projeto: micro planejamento, localização da planta, cronograma físico-financeiro.
- Desenvolver os projetos executivos: terraplenagem, drenagem, civil, elétrico, hidráulico, etc. Efetuar as concorrências e contratações.
- Gerenciar a obra: desenvolver o plano de aquisições (serviços, materiais), gestão da execução e relatórios de desempenho.

3.2 ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO

A tabela 3 apresenta os arranjos que foram definidos e estudados no produto 3 (RTCP3) desta consultoria, de forma resumida para as duas escalas estudadas. Nela pode-se observar que os cenários agora avaliados são os cenários 4, para pequena escala de produção e 14, para grande escala de produção. Observa-se, também, a produção em cada escala e a utilização dos diversos equipamentos que compõe a produção de carvão vegetal e o aproveitamento dos coprodutos, bem como os equipamentos de suporte à produção.

Tabela 3: Arranjos tecnológicos para avaliação de viabilidade técnica e econômica

	ESCALA							
	PEQUENA				GRANDE			
PRODUÇÃO	18.000 mdc/ano				120.000 mdc/ano			
	CENÁRIO							
EQUIPAMENTO	1	2	3	4	13	14	15	16
FORNO	Circular pequeno				Retangular grande			
QUEIMADOR	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
CONDENSAÇÃO	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
PENEIRAMENTO	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
MECANIZAÇÃO	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
ENERGIA ELÉTRICA	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela referente aos preços dos produtos gerados e correlatos, relativos ao estudo, foi ampliada e atualizada em função dos cenários definidos para este estudo e estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Preços de produtos, coprodutos e correlatos.

PREÇOS				
Preço CV - spot	F.O.B	R\$/mdc	100,00	-9,1
Preço CV - contratos	F.O.B	R\$/mdc	120,00	9,1
Preço CV - médio	F.O.B	R\$/mdc	110,00	0,0
Preço Biooleo	F.O.B	R\$/t	420,00	
Preço finos	F.O.B	R\$/t	160,00	
Energia térmica equivalente	F.O.B	R\$/Gcal	15,00	
Gas natural	F.O.B	R\$/m ³	1,25	
Óleo BPF	F.O.B	R\$/t	1.400,00	
VALORES ENERGIA-EMISSIONES				
Carvão vegetal - 78%CF		Mcal/t	6.474	
Moinha # 9,52 mm -CF 85%		Mcal/t	5.644	
Bioóleo		Mcal/t	6.600	
Óleo BPF		Mcal/t	9.600	
Gás natural		Mcal/t	11.200	
Coque verde		Mcal/t	8.200	
Gases de pirólise (GP)		Mcal/t	600	
Emissão GP		t/mdc	1,068	
Consumo geração EE-GN		m ³ /kWh	0,30	

Fonte: Elaboração do autor.

A análise foi elaborada utilizando as seguintes fontes do estudo dos cenários:

- Dimensionamento dos equipamentos e investimentos.
- Custo operacional de produção de carvão vegetal e de coprodutos.
- Composição das receitas e resultados unitários em relação ao carvão vegetal produzido (já considerada a receita adicional com a remuneração da emissão evitada pelo aproveitamento de coprodutos).
- Fluxo de caixa simples e acumulado e *valuation* (VPL e TIR), para uma taxa de atratividade de 12%. Estes poderão ser consultados na planilha Excel referenciada anteriormente.
- Balanço das emissões do carvão vegetal e coprodutos.

A estruturação da análise e seus resultados seguem separadamente para cada escala de produção.

3.2.1 PEQUENA ESCALA

A tabela 5 apresenta a distribuição dos equipamentos e investimentos necessários para a produção de carvão vegetal e queima das fumaças, para produção anual de 18.000 mdc.

Tabela 5: Produção, equipamentos necessários e investimentos para produção em pequena escala.

ESCALA		PEQUENA ESCALA	
Produção		mdc/ano	18.000
EQUIPAMENTOS	Cenário	1	4
Fornos por unidade	um	48	48
Transporte de fumaças	m	0	192
Queima de fumaças	um/100 m	0	2
Condensação	um/25000 mdc	0	0
Peneriamento	um/100000	0	0
Mecanização	um/mês	0	0
INVESTIMENTOS	Cenário	1	4
Fornos	R\$ x 1.000	168	168
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	38
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	115
Condensação	R\$ x 1.000	-	-
Peneriamento	R\$ x 1.000	-	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	-	-
Terraplenagem	R\$ x 1.000	72	72
Infra estrutura	R\$ x 1.000	20	20
Total	R\$ x 1.000	260	414

Fonte: Elaboração do autor.

A concepção do arranjo produtivo considerou a interligação de 24 fornos a um queimador de gases (fumaças) por intermédio de dutos de alvenaria. Essa concepção já foi observada em projetos que a consultoria teve acesso e desenvolveu estudos de fluxos e marcha dos fornos. Para essa opção, considera-se a tiragem dos gases apenas com o empuxo dado pelas chaminés do sistema.

Os acréscimos nos investimentos para a realização da queima (cenário 4) representam cerca de 59% quando comprado ao cenário tradicional de produção (cenário 1). Não

foi considerado nenhum aproveitamento posterior dos gases combustos na saída dos queimadores.

A tabela 6, abaixo, apresenta os resultados de custo operacional para produção em pequena escala com (cenário 4) e sem queima de fumaças (cenário 1).

Tabela 6: Custo operacional para produção de carvão em pequena escala

ESCALA		PEQUENA ESCALA	
CUSTO OPERACIONAL	Cenário	1	4
Depreciação	R\$/mdc	3,22	5,92
Madeira	R\$/mdc	40,00	40,00
Colheita	R\$/mdc	22,50	22,50
Transporte	R\$/mdc	6,30	6,30
Mão de obra	R\$/mdc	18,75	18,75
Máquinas	R\$/mdc	0,00	0,00
Manutenção	R\$/mdc	0,58	0,92
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	4,82
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	2,00
Condensação	R\$/mdc	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00
Subtotal	R\$/mdc	92,35	102,21
BDI	R\$/mdc	4,62	5,11
Total	R\$/mdc	96,97	107,32
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	93,75	101,40

Fonte: Elaboração do autor.

O aumento de custos da ordem de 11% encontra-se nas rubricas que dizem respeito à introdução do sistema de transporte e queima de gases, sejam, depreciação dos equipamentos (6% do custo total), manutenção (1%), operação do sistema (2%), e a madeira para alimentar o queimador (5%). Esse item representa 47% do acréscimo no custo operacional e pode ser reduzido com a utilização de outras biomassas, tais como, resíduos da própria planta ou finos de carvão vegetal, caso se mostre viável a utilização desses – o que precisa ser testado e ajustado durante a operação na praça de carbonização.

A tabela 7, abaixo, apresenta a produção de carvão vegetal e coprodutos, bem como, as receitas, totais e unitárias, auferidas em cada cenário.

Para a valorização do cenário com queima de gases (fumaças), foi necessário definir um valor base, que fosse compatível com possíveis mercados futuros. Uma abordagem pode ser a que foi realizada por MOURA, 2015, a qual considera:

“Como o mercado de energia para geração térmica não possui um histórico de preços para a venda dos gases, determinou-se que o preço médio da venda fosse de R\$ 15 / Gcal, uma vez que o mercado que consome energia térmica considera R\$ 40 / Gcal um preço competitivo”.

Para esse valor foi criada a rubrica de “Emissão Evitada” que agrega receita ao fluxo de caixa pelo critério definido como de “Emissões Evitadas”.

Tabela 7: Produção de carvão vegetal e coprodutos e receitas para produção em pequena escala.

PRODUÇÃO	Cenário	1	4
Carvão	mdc/ano	18.000	18.000
Bioóleo	t/ano	-	-
Finos	t/ano	-	-
RECEITAS	Cenário	1	4
Carvão	R\$/ano	1.800.000	1.800.000
Bioóleo	R\$/ano	-	-
Finos	R\$/ano	-	-
Emissão evitada	R\$/ano		138.413
Total		1.800.000	1.938.413
Receita unitária	R\$/mdc	100,00	107,69
% cresc.		-	7,69
Receita-custo	R\$/mdc	3,03	0,36
Receita-custo (s/deprec	R\$/mdc	6,25	6,29

Fonte: Elaboração do autor.

A receita adicional para o cenário 4 foi de 8%, reduzindo drasticamente a diferença entre a receita e o custo de produção. Já para a diferença de receita e custos, sem a depreciação (investimentos), praticamente não há diferença.

A tabela 8, abaixo, apresenta o balanço das emissões de gases resultantes da adoção da tecnologia de produção de carvão vegetal com a queima de gases, que permite calcular a emissão evitada, definida pelo seu valor energético (Gcal), sendo valorada para fins de formação da receita de cada cenário.

Tabela 8: Balanço das emissões evitadas para os cenários de pequena escala de produção.

EMISSÕES	CENÁRIO	1	4
Fumaças	t/ano	19.224	19.224
Fumaças	Gcal/ano	11.534	11.534
Evitado			
Moinha	Gcal/ano	-	-
Condensados	Gcal/ano	-	-
	CENÁRIO	1	4
Emissão líquida	Gcal/ano	11.534	2.307
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,13
Redução/base	%	0,0	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

Os critérios utilizados para calcular as reduções pela queima dos gases são os reportados no RTCP 3. A eficiência dos sistemas de queima está relacionada com fatores relativos à matéria-prima, dos quais se destacam:

- i) secagem - quanto mais seca a madeira mais cedo se inicia o processo de queima dos gases e, portanto, mais eficiente o sistema se torna;
- ii) diâmetro – quanto menor o diâmetro, maior a velocidade das reações dentro dos fornos e maior a vazão de gases para o sistema, contribuindo com maior carga térmica no queimador. Fatores relacionados à condução do processo também influenciam a eficiência, tais como:
 - a. ciclo operacional ajustado – conforme pode ser observado no mapa de carbonização apresentado na figura 2. Ou seja, quanto maior o número de fornos na fase mais rica interligados ao sistema de queima, melhor;
 - b. momento correto de ignição do queimador (abastecimento com madeira e conexão com os fornos no sistema, no momento apropriado), por exemplo.

A tabela 9, a seguir, apresenta os resultados do fluxo de caixa para os cenários estudados.

Tabela 9: Resultados do fluxo de caixa para os cenários de pequena escala de produção.

Valuation	Cenário	1	4
VPL		207.729	74.010
TIR		32,1%	16,7%

Fonte: Elaboração do autor.

A receita adicional auferida com a remuneração das emissões evitadas, pela adoção da queima dos gases não foi suficiente para superar a tecnologia tradicional de produção de carvão vegetal exclusivamente.

Análise de sensibilidade:

A análise de sensibilidade procura demonstrar quais os valores deveriam ser praticados para que os resultados dos cenários avaliados, que consideram o aproveitamento dos coprodutos, alcancem:

- a) Um ponto de equilíbrio relativo aos cenários tradicionais (produção exclusiva de carvão vegetal).
- b) Uma taxa mínima de remuneração do capital estipulado para o estudo, com melhoria da atratividade dos investimentos (maior VPL e TIR).

O incremento dos valores (preços) pode ser atingido por melhorias de processos de produção e/ou pela própria maturação dos mercados em que os coprodutos estão inseridos.

A tabela 10, abaixo, apresenta os valores que compõe o estudo de sensibilidade em relação aos preços praticados para os coprodutos e seus respectivos pontos de equilíbrio em relação aos parâmetros de avaliação da viabilidade (VPL e TIR).

Tabela 10: Variação dos valores praticados para remuneração da queima de gases pela energia térmica equivalente, para pequena escala de produção.

VARIÁVEIS	Valor	Unidade	VPL (R\$)	TIR (% a.a)	% preço x estudo
Tecnologia	Queima de gases				
Coproducto	Energia térmica equivalente				
Original do estudo	15,00	R\$/Gcal	74.010	17%	0
Para igualar TIR cenário 1	20,50	R\$/Gcal	342.946	32%	37
Para igualar VPL cenário 1	17,73	R\$/Gcal	207.729	25%	18
TIR mínima do estudo	13,49	R\$/Gcal	67	12,0%	-10

Fonte: Elaboração do autor.

O sobrepreço das alternativas (ou subpreço), apresentado na última coluna da tabela 10, acima, indica quanto de esforço deve ser alcançado para que os resultados se apresentem comparativamente a cada objetivo que se queira atingir. Primeiramente, como já indicado na avaliação inicial de se adotar a queima das fumaças utilizando o

valor de referência inicial (R\$ 15,00/Gcal), observa-se uma considerável perda de valor para a atividade. Para obter-se a mesma TIR do cenário 1 (Produção exclusiva de carvão vegetal), o preço para a emissão evitada deveria ser 32% superior, ou seja, R\$ 20,50/Gcal, o que pode representar um aumento considerável. Por outro lado, se é objetivado alcançar o VPL do cenário 1, o aumento seria da ordem de 18% e a TIR ainda seria bem atrativa (25% a.a.). Para atingir a TIR mínima equivalente à taxa de atratividade definida, poderia ser considerada até a redução no preço-base, da ordem de 10%.

3.2.2 GRANDE ESCALA

A tabela 11, abaixo, apresenta a distribuição dos equipamentos e investimentos necessários para a produção de carvão vegetal e recuperação de bioóleo, para produção anual de 120.000 mdc.

Tabela 11: Produção, equipamentos necessários e investimentos para produção em grande escala.

ESCALA		GRANDE ESCALA	
Produção			120.000
	Cenário	13	14
EQUIPAMENTO	ITEM		
EQUIPAMENTOS	Cenário	13	14
Fornos por unidade	um	24	24
Transporte de fumaças	m	0	0
Queima de fumaças	um/100 m	0	0
Condensação	um/25000 mdc	0	4
Peneriamento	um/100000	0	0
Mecanização	um/mês	3	3
INVESTIMENTOS	Cenário	13	14
Fornos	R\$ x 1.000	8.333	8.333
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-
Condensação	R\$ x 1.000	-	600
Peneriamento	R\$ x 1.000	-	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	120	120
Terraplenagem	R\$ x 1.000	1.488	1.488
Infra estrutura	R\$ x 1.000	40	40
Total	R\$ x 1.000	9.981	10.581

Fonte: Elaboração do autor.

A adoção da recuperação de bio-óleo representa um acréscimo nos investimentos da ordem de 6%. Os investimentos representam a aquisição de 4 recuperadores e da instalação de um sistema de armazenagem para o produto condensado.

A tabela 12 apresenta os resultados de custo operacional para produção em grande escala com e sem recuperação de bio-óleo.

Tabela 12: Custo operacional para produção de carvão em grande escala

ESCALA		GRANDE ESCALA	
Produção			120.000
CUSTO OPERACIONAL	Cenário	13	14
Depreciação	R\$/mdc	4,39	4,89
Madeira	R\$/mdc	36,80	36,80
Colheita	R\$/mdc	20,70	20,70
Transporte	R\$/mdc	14,98	14,98
Mão de obra	R\$/mdc	8,00	8,00
Máquinas	R\$/mdc	9,00	9,00
Manutenção	R\$/mdc	3,33	3,53
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00
Condensação	R\$/mdc	0,00	9,60
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00
Subtotal	R\$/mdc	98,19	108,50
BDI	R\$/mdc	14,73	16,27
Total	R\$/mdc	112,92	124,77
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	108,53	119,88

Fonte: Elaboração do autor.

O acréscimo no custo operacional foi de 10%, representado por aumentos na depreciação (11%), manutenção (6%) e a condensação propriamente dita (mão de obra, energia elétrica, etc.). Os principais fatores que influenciam a operação da planta com a introdução da recuperação do bio-óleo, são:

- Correta condução dos processos de carbonização para obter-se o número de fornos em estágio de produção de gases com boa qualidade para condensação, conforme pode ser visto na figura 5 (seção 3.1.2 deste documento).

- Atentar para a vedação dos fornos durante a carbonização, evitando entradas falsas de ar, o que pode comprometer tanto o rendimento de recuperação, quanto a qualidade do bio-óleo.

A tabela 13, a seguir, apresenta a produção de carvão vegetal e recuperação de bio-óleo, bem como, as receitas, totais e unitárias, auferidas em cada cenário.

Tabela 13: Produção de carvão vegetal e bio-óleo e receitas para produção em grande escala.

ESCALA		GRANDE ESCALA	
PRODUÇÃO	Cenário	13	14
Carvão	mdc/ano	120.000	120.000
Bioóleo	t/ano	-	5.712
Finos	t/ano	-	-
RECEITAS	Cenário	13	14
Carvão	R\$/ano	14.400.000	14.400.000
Bioóleo	R\$/ano	-	2.399.040
Finos	R\$/ano	-	-
Emissão evitada	R\$/ano	-	565.488
Total		14.400.000	17.364.528
Receita unitária	R\$/mdc	120,00	144,70
% acresc.			20,59
Receita-custo	R\$/mdc	7,08	19,93
Receita-custo (s/deprec	R\$/mdc	11,47	24,82

Fonte: Elaboração do autor.

O acréscimo à receita total projetada foi da ordem de 20%, distribuída entre 16% para a comercialização do bio-óleo e 4% para a remuneração das emissões evitadas pela condensação. Assim, o índice de receita-custo (rentabilidade bruta), teve um crescimento de 116%, o que é bem significativo.

A tabela 14, a seguir, apresenta o balanço das emissões de gases resultantes da adoção das tecnologias de produção de carvão vegetal e recuperação de bio-óleo.

Tabela 14: Balanço das emissões e emissões evitadas para os cenários de grande escala de produção.

ESCALA		GRANDE ESCALA	
EMISSIONES	CENÁRIO	13	14
Fumaças	t/ano	128.160	128.160
Fumaças	Gcal/ano	76.896	76.896
Evitado			
Moinha	Gcal/ano	-	-
Condensados	Gcal/ano	-	37.699
	CENÁRIO	13	14
Emissão líquida	Gcal/ano	76.896	39.197
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,33
Redução/base	%	0,0	-49,0

Fonte: Elaboração do autor.

Em valores energéticos a condensação representa uma redução significativa, pois os gases ao condensarem produzem um produto com grande concentração de energia.

A tabela 15, abaixo, apresenta os resultados do fluxo de caixa para os cenários estudados.

Tabela 15: Resultados do fluxo de caixa para os cenários de grande escala de produção.

ESCALA		GRANDE ESCALA	
Valuation	Cenário	13	14
VPL		- 543.188	8.665.731
TIR		10,8%	27,4%

Fonte: Elaboração do autor.

A adoção da tecnologia de recuperação do bio-óleo, de acordo com as premissas adotadas para o estudo, superou significativamente os resultados para o cenário de produção exclusiva de carvão vegetal, que por si, não agregava valor ao negócio.

Trata-se, portanto, de uma tecnologia e de um mercado que vale à pena ser explorado.

Análise de sensibilidade:

A tabela 16, a seguir, apresenta os valores que compõe o estudo de sensibilidade em relação aos preços praticados para o bio-óleo e seus respectivos pontos de equilíbrio em relação aos parâmetros de avaliação da viabilidade (VPL e TIR).

Tabela 16: Variação dos valores praticados para remuneração do bio-óleo recuperado, para grande escala de produção.

VARIÁVEIS	Valor	Unidade	VPL (R\$)	TIR (% a.a)	% preço x estudo	%/BPF
Tecnologia	Recuperação de bioóleo					
Coproduto	Bioóleo					
Original do estudo	420,00	R\$/t	8.665.731	27,4%	0	30
TIR mínima do estudo	171,16	R\$/t	22.312	12,0%	-59	12
Equivalência com BPF	840,00	R\$/t	23.254.603	50,7%	100	60
Óleo BPF	1.400,00	R\$/t				

Fonte: Elaboração do autor.

Com pode ser observado pelos preços praticados para a análise de viabilidade, poderia haver até um subpreço para o bio-óleo (59%), que, ainda assim, a taxa de atratividade mínima seria alcançada. Por outro lado, considerando que a precificação do bio-óleo pode estar indexada à equivalência energética com um substituto de origem fóssil (neste caso o óleo BPF⁴), adotando-se uma relação de poder calórico da ordem de 60% do bio-óleo em relação ao BPF (%/BPF), a comercialização do bio-óleo se daria numa faixa de R\$ 840,00/t. bio-óleo, o que resultaria em um expressivo aumento de atratividade para o negócio. No caso da produção do bio-óleo, mesmo que não haja a remuneração pelo critério da “emissão evitada” ainda assim o projeto é atrativo, entregando um VPL de R\$ 5.227.000 e uma TIR de 21,6 % a.a.

⁴ Óleo BPF: Óleo combustível derivado do petróleo, com Baixo Ponto de Fluidez.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre a produção de carvão vegetal e o aproveitamento de coprodutos deve ser aprofundado, considerando sua integração com o desenvolvimento de projetos de melhoria (de processos e de engenharia). Assim, a adoção de uma melhoria de projeto (dimensionamento de equipamentos e sistemas, novos materiais, controles etc.), tem efeito nos resultados dos processos (na produtividade, na eficiência e na qualidade dos produtos). Isso deve ser incentivado e o conhecimento difundido e replicado a todo o setor. O aproveitamento de coprodutos deve também ser difundido como uma alternativa de redução das emissões de gases de efeito estufa, de forma que, de alguma maneira possa ser valorizado pelos empresários e a sociedade em geral.

Deve-se investir tempo e recursos suficientes para a elaboração de um bom planejamento de localização das plantas de produção, avaliando todas as possibilidades e envolvendo equipes multidisciplinares. Os parâmetros de análise sugeridos devem funcionar como um guia de orientação e outros devem ser agregados ao mesmo. O produto final deve ser difundido e tratado tal qual um Plano de Manejo Florestal, muito utilizado no setor florestal.

É necessário avançar no conhecimento técnico e mercadológico sobre o uso dos coprodutos em relação às demandas e substitutos que estes podem representar como alternativas econômicas e ambientais. A utilização da moinha de carvão como substituto de fontes combustíveis não renováveis (fósseis) deve ser incentivada, ao mesmo tempo em que se desenvolva sua cadeia de aproveitamento (através de um melhor beneficiamento nas plantas, por exemplo). Isso trará melhor qualidade ao coproduto e maior competitividade em termos de mercado (maior valor agregado), bonificando os custos finais de produção do carvão vegetal. A utilização da moinha em fornos a coque metalúrgico (ou em fornos elétricos a arco), na forma de injeção de carvão pulverizado pelas ventaneiras ou mesmo participando nos processos de pelotização e sinterização, trará ganhos ambientais pela substituição das matérias primas tradicionais, de origem fóssil. A quantificação no abatimento das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) deve ser incentivada e os resultados difundidos, como forma de viabilizar a remuneração dessas substituições.

Da mesma forma, avançar nos estudos de aproveitamento energético dos gases combustos em suas diversas formas (secagem da madeira, cogeração de energia elétrica, utilização de resíduos, etc.).

Difundir as práticas visando o fortalecimento da cadeia de produção, o aumento das escalas de produção, reduzindo custos com investimentos (melhores projetos) e operacionais (eficiência e produtividade), melhorando as margens e a redução das emissões.

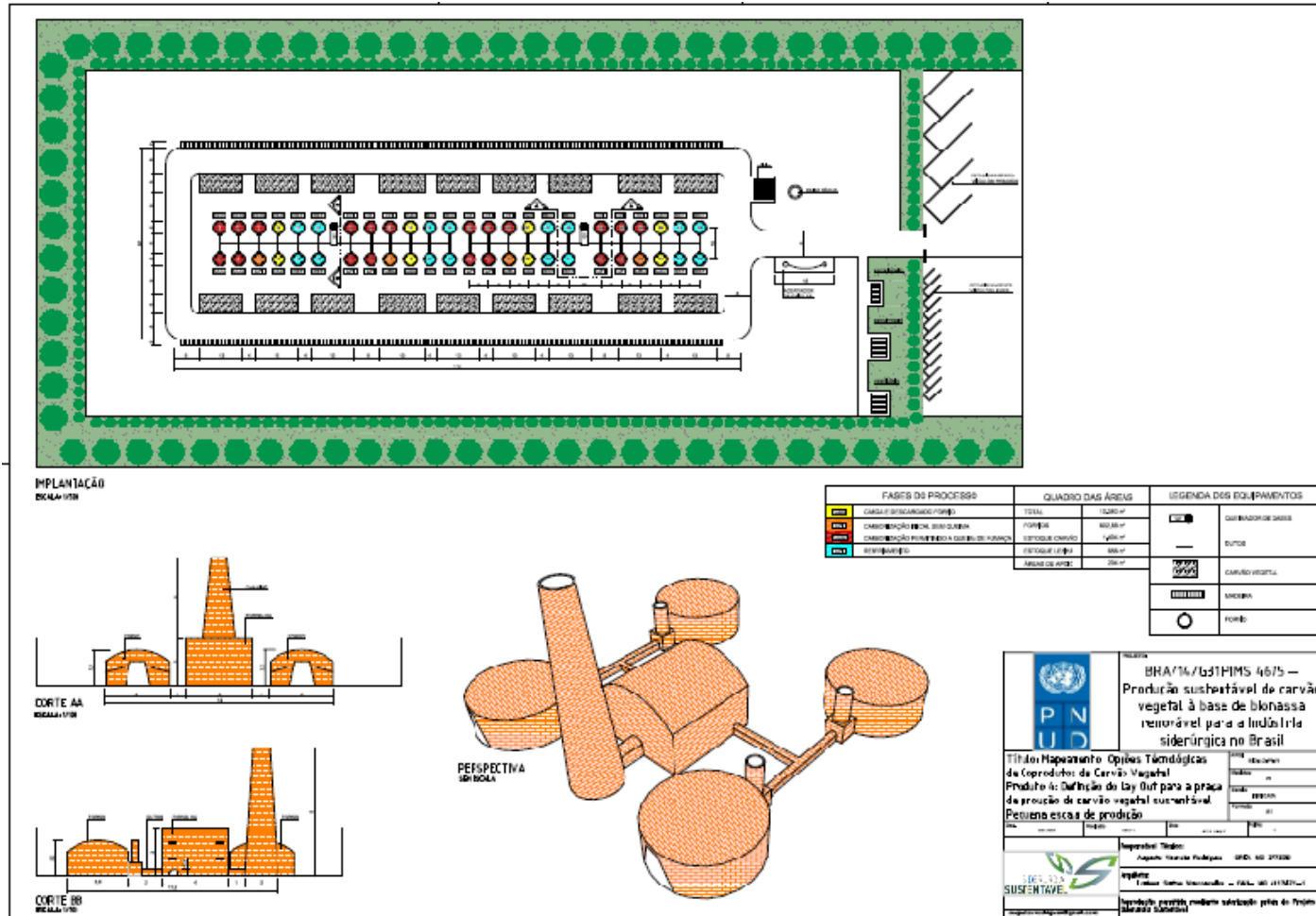
Belo Horizonte, dezembro de 2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

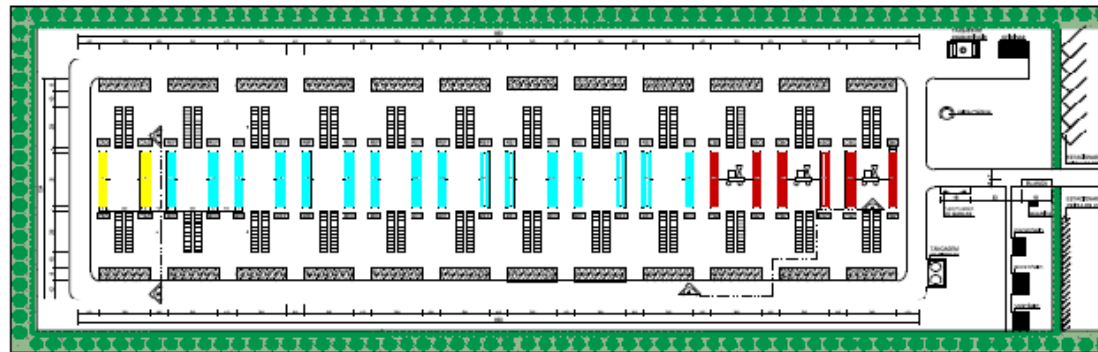
Castro, P.F; Petrocchi Correa, L.C; Silva Franco, W – Obtenção de alcatrão vegetal em forno de alvenaria e sua utilização como combustível. In: Congresso Anual da ABM, 37, Rio de Janeiro, 1982.

Moura, Daniel Carvalho de - Competitividade da utilização da lenha e do carvão vegetal na geração de energia e na produção de ferro gusa, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração – Estratégia Competitiva da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.2015. 96 f.

Anexo 1: Layout para Produção em Pequena escala



Anexo 2: Layout para Produção em Grande Escala

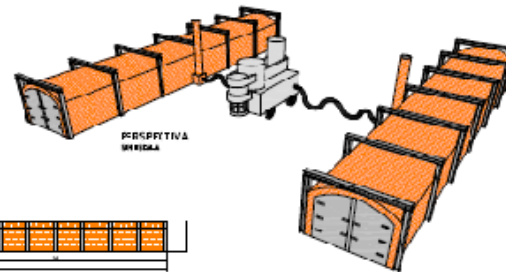


PLANO DE LAYOUT
ESCALA 1/100



CORTE AA
ESCALA 1/100

FASES DO PROCESSO		QUADRO DAS ÁREAS		LEGENDA DOS EQUIPAMENTOS	
ÁREA DE ARMAZENAMENTO	ÁREA DE SECAGEM DO CARVÃO	TOTAL	ÁREA ÚTIL		ALMOXARIFAGEM DE MATÉRIAS-PRIMAS
ÁREA DE SECAGEM DO CARVÃO	ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	FORNOS	ÁREA ÚTIL		TANQUES DE EXTERMINAR GASES
ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE SECAGEM	ÁREA ÚTIL		ÁREA DE SECAGEM
ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE SECAGEM	ÁREA ÚTIL		CONTEINERES
ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS	ÁREA DE SECAGEM	ÁREA ÚTIL		CONTÊINERES



CORTE BB
ESCALA 1/100

PNPD

BIA/14/G5THMS 467b – Produção sustentável de carvão vegetal à base de biomassa renovável para a indústria siderúrgica no Brasil

Título Proposta: Opções Tecnológicas de Cuidados de Carvão Vegetal
Produto: A Definição de Lay Out para a produção de carvão vegetal sustentável
Gravidade Final de produção

Projeto: BIA/14/G5THMS 467b
Data: 2014
Data: 2014
Data: 2014
Data: 2014

Responsável Técnico: **Agostinho Roberto de Sá - CRB-46 37753**

Coordenador: **Luiz Carlos Nascimento - CRB-46 411701-1**

SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

Projeto de produção sustentável siderúrgica para a indústria siderúrgica brasileira