



Modernização da produção de carvão vegetal

Subsídios para revisão do
Plano Siderurgia



Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil

Subsídios para revisão do
Plano Siderurgia



Brasília – DF
2015

ISBN 978-85-60755-91-2

República Federativa do Brasil

Presidenta

Dilma Rousseff

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Ministro

Armando Monteiro Neto

Secretário Executivo

Fernando de Magalhães Furlan

Secretário de Desenvolvimento da Produção

Carlos Augusto Grabois Gadelha

Diretor de Competitividade Industrial

Igor Nogueira Calvet

Coordenadora-Geral de Análise da Competitividade e Desenvolvimento Sustentável

Beatriz Martins Carneiro

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Presidente

Mariano Francisco Laplane

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Gerson Gomes

Edição/Sirlene Rodrigues

Diagramação e capa/Carla Dionata

Projeto Gráfico/Núcleo de Design Gráfico CGEE

Apoio técnico ao projeto/Marina Brasil

Catálogo na fonte

C389m

Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.

150 p.; il, 24 cm
ISBN 978-85-60755-91-2

1. Siderurgia. 2. Carbonização - Madeira. 3. Fumaça - pirólise. I. CGEE.
II. Título.

CDU – 661.666.5:662.711(81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), SCS Qd. 9, Torre C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate, CEP: 70308-200 - Brasília, DF, Telefone: (61) 3424.9600, www.cgee.org.br

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato do MDIC nº 49-2013/CGEE – Ação: 29.1.1- Subsídios para Revisão do Plano Siderurgia.

Todos os direitos reservados pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte. Sugestão de citação: CGEE, título, autoria, ano de publicação, CGEE: Brasília.



Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil

Subsídios para revisão do Plano Siderurgia

Supervisão

Mariano Francisco Laplane

Coordenador

Elyas Ferreira de Medeiros

Organizador

Túlio Jardim Raad

Consultores

Boaventura Mendonça d'Ávila Filho

José Batuíra de Assis

José Otávio Brito

Maria Emília Antunes Rezende

Nehemias Lima Lacerda

Sergio Wilibaldo Garcia Scherer

Vamberto Ferreira de Melo

Colaboradora

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro

Equipe Técnica do MDIC

Demétrio Florentino de Toledo Filho (Analista de Comércio Exterior)

João Pignataro Pereira (Engenheiro)

Sumário

Apresentação	7
Resumo executivo	9

CAPÍTULO 1

Situação atual da siderurgia a carvão vegetal e cenários para 2020	21
1.1 – Produção de ferro-gusa a carvão vegetal	21
1.2 – Floresta plantada para suprimento da produção de carvão vegetal	24
1.3 – Tecnologias atuais no Brasil para produção de carvão vegetal	40
1.5 – Custo da tecnologia para a produção do carvão vegetal	56
1.6 – Financiamentos disponíveis no mercado para modernização da produção do carvão vegetal	78

CAPÍTULO 2

Obstáculos à implantação de metas voluntárias de redução de emissões do “Plano Siderurgia”.	83
2.1 – Síntese do Plano de Siderurgia	83
2.2 – Redução das emissões de GEE – Obstáculos	88
2.3 – Desmatamento de floresta nativa – Obstáculos	95
2.4 – Competividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto das economias de baixo carbono – Obstáculos	96

CAPÍTULO 3

Iniciativas para promoção da sustentabilidade da produção de ferro-gusa a carvão vegetal	101
3.1 – Redução das emissões de GEE via melhoria da eficiência - RG	101
3.2 – Medidas para evitar desmatamento de floresta nativa e modernizar a produção de carvão vegetal	104
3.3 – Competividade brasileira da indústria de ferro e aço a carvão vegetal – Iniciativas do Estado da sociedade civil	106

CAPÍTULO 4

Recomendações para implantação do “Plano Siderurgia”	111
4.1 – Redução das emissões de GEE via melhoria da eficiência – RG e queima das fumaças	111
4.2 – Evitar desmatamento de floresta nativa	122
4.3 – Incrementar a competitividade brasileira da indústria do ferro e aço no contexto das economias de baixo carbono	128
Lista de figuras	145
Lista de gráficos	146
Lista de tabelas	147
Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação	149



Apresentação

A siderurgia brasileira é a única no mundo a conservar um uso significativo do carvão vegetal como agente termo redutor. No decênio de 2003 a 2012, a indústria siderúrgica brasileira produziu, em média anual, 32,5 milhões de toneladas de ferro-gusa, sendo 9,5 milhões de toneladas obtidos por intermédio do carvão vegetal como insumo termo redutor do minério de ferro em seus altos fornos. Isto significou uma participação de quase 1/3 (29%) sobre o total de produção de ferro gusa no período.

No contexto da crescente preocupação mundial com a mudança global do clima, essa característica peculiar da siderurgia brasileira torna-se um importante ativo do setor, pois viabiliza uma trajetória de desenvolvimento de baixo carbono que pode significar um diferencial de competitividade para os produtos siderúrgicos brasileiros. Entretanto, para materializar esses benefícios, é necessário promover uma transição para a sustentabilidade de alguns segmentos do setor, garantindo a origem sustentável da matéria-prima e modernizando o processo de carvoejamento, para aumentar a eficiência econômica e a qualidade ambiental do processo.

O Plano Setorial de Reduções de Emissões da Siderurgia a Carvão Vegetal, lançado pelo governo federal em 2010, visa não apenas a promover o cumprimento da meta de redução de emissões assumida voluntariamente no âmbito do Acordo de Copenhague, mas principalmente à modernização da produção do carvão vegetal necessária para consolidar a sustentabilidade da produção do ferro-gusa a carvão vegetal.

Para subsidiar a elaboração do Plano Siderurgia, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) contratou o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em 2009, para realizar estudo sobre o incremento do uso de carvão vegetal renovável na siderurgia brasileira. Esse estudo forneceu elementos fundamentais para a elaboração das estratégias de ação e quantificação dos objetivos do Plano, ao destacar os grandes desafios da siderurgia a carvão vegetal, configurados em 3 principais objetivos:

1. Promover a redução de emissões de Gás Efeito Estufa (GEE) com vistas a atender o compromisso assumido pelo governo brasileiro, em 2009, na 15ª Conferência das Partes Convenção (COP 15) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (8 a 10 milhões de t de CO₂eq até 2020);

2. Evitar o desmatamento de florestas nativas (no período 2003 a 2012, estima-se que florestas plantadas e nativas participaram respectivamente com 57% e 43% na produção de carvão vegetal); e
3. Incrementar a inovação e a competitividade no que concerne à modernização dos processos de produção de carvão vegetal, no contexto da economia de baixo carbono.

O aprofundamento da crise econômica internacional de 2008 e seus significativos impactos sobre o setor siderúrgico como um todo, e sobre os produtores independentes de ferro-gusa em particular, demandaram uma reavaliação dos objetivos quantitativos e das estratégias do Plano Siderurgia. Além disso, a própria evolução das negociações internacionais de clima, com expectativas de novos compromissos internacionais para o período posterior a 2020, demanda uma revisão do Plano Siderurgia.

O presente estudo é parte do processo de revisão do Plano Siderurgia e visa a avaliar os ajustes do setor de produção de ferro-gusa posteriores à crise econômica, bem como avaliar o desenvolvimento tecnológico no período e buscar traçar estratégias atualizadas para o fortalecimento da sustentabilidade do setor.

Este estudo é o resultado da contribuição de diversos atores (governo, setor privado, academia e entidades de classe) que participaram de sua elaboração, com propostas estruturadas em 8 Planos de Ação (PDA) que, por sua vez, constituem uma plataforma de medidas para serem implementadas nos próximos 6 anos.

O MDIC agradece a participação de todos os envolvidos na elaboração deste estudo, em particular ao CGEE e a sua equipe técnica pela frutífera parceria que mais uma vez contribui significativamente para a elaboração de políticas públicas robustas de desenvolvimento tecnológico e industrial.

Carlos Augusto Grabois Gadelha
Secretário de Desenvolvimento da Produção



Resumo executivo

A indústria siderúrgica brasileira produziu, em média, no período de 2003 a 2012, 32,5 milhões de toneladas anuais de ferro-gusa, sendo 9,5 milhões obtidos a partir do carvão vegetal como insumo para a termorredução do minério de ferro (média de 29% de participação em relação ao coque), representando um consumo médio anual de 6,9 milhões de toneladas.

Neste período, as florestas plantadas participaram com 57% e as florestas nativas com 43%. Conforme dados estatísticos publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf), associados com metodologias de projetos de crédito de carbono de grandes produtoras florestais do setor, chegou-se a uma estimativa nacional de 26% de eficiência de transformação (processo de carbonização) da madeira anidra (massa de madeira na base seca) em carvão vegetal. Isto significa que, para a produção de uma tonelada de carvão vegetal, foram necessárias 3,85 toneladas de madeira.

Nessa conversão, denominada como Rendimento Gravimétrico (RG), foram utilizados, em média, 26,5 milhões de toneladas de madeira por ano (15,1 Mt. de florestas plantadas e 11,4 Mt. de florestas nativas) para suprir o setor de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil.

Com relação às emissões dos gases do efeito estufa (GEE), sustentado por metodologia aprovada no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que calcula as emissões do gás metano durante o processo de carbonização da madeira, para eficiência de 26%, 78 kg de gás metano (CH₄) por tonelada de carvão vegetal são lançados na atmosfera pelos processos atuais de produção. Considerando que um quilo de CH₄ corresponde a 21 kg de dióxido de carbono (CO₂) em termos de GEE, estima-se, portanto, que na produção dos 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal, emitiu-se 11,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes por ano.

O panorama acima descrito motivou o lançamento, em 2010, do Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia a Carvão Vegetal (Plano Siderurgia) com três principais objetivos: promover a redução das emissões; evitar o desmatamento da floresta nativa; e incrementar a competitividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto da economia de baixo carbono.

O objetivo deste estudo é atualizar o Plano Siderurgia em atendimento ao Decreto no 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que determina a revisão dos planos setoriais a cada dois anos. Tendo sido iniciado em 2013, na presente revisão, verificou-se que os significativos impactos da crise econômica

de 2008/09 sobre a indústria siderúrgica e o setor de produção independente de ferro-gusa no Brasil obrigaram ao ajuste do Plano Siderurgia para o período até 2020. Dessa forma várias notas técnicas de diversos especialistas do setor siderúrgico foram elaboradas para subsidiar as novas projeções até 2020.

Verificou-se que o principal ponto de ligação entre o Plano Siderurgia 2010 e a revisão atual diz respeito à ação a ser adotada para a redução das emissões. No plano de 2010, essa ação visava eliminar o metano via queima dos gases. Entretanto, observou-se que essa ação ainda não é viável do ponto de vista tecnológico e econômico, embora seja possível uma mitigação através da melhoria do rendimento gravimétrico.

As principais oportunidades destacadas no estudo foram:

- Várias empresas do setor de produção de carvão vegetal já vêm obtendo resultados significativos de melhoria da eficiência RG, o que impacta de forma positiva tanto na redução dos custos, quanto na redução das emissões de gases GEE (em especial o gás metano). Com isso, fundamentado na implantação em larga escala das melhores práticas adotadas, projetou-se um aumento gradativo do RG nacional de 26%, em 2014, para 32%, em 2020. Isso irá representar uma redução de cerca de **14 milhões de CO₂ equivalente** e uma economia de quase um **bilhão de reais por ano** na indústria siderúrgica.
- Essa melhoria da conversão de madeira em carvão vegetal também irá impactar na redução da necessidade de uso de florestas nativas de 32% para 26%, mesmo projetando-se um aumento da produção de ferro-gusa das atuais 8,2 milhões para 11 milhões de toneladas em 2020.
- Outro fator relevante foi a apresentação de diversas inovações tecnológicas em desenvolvimento no setor, onde despontam processos que, uma vez validados em escalas industriais, poderão elevar a eficiência RG para valores ainda maiores (de 35% a 40%), melhorando ainda mais as projeções de ganhos acima citadas.
- Conforme demonstra o estudo, em torno de 70% da produção nacional de carvão vegetal é feita por pequenos produtores. Com isso, as políticas públicas deverão promover e priorizar incentivos que facilitem o acesso desse grande contingente às inovações, tanto de processo quanto de equipamentos de melhor eficiência energética.
- Uma tendência sugerida é pela formação de associações ou cooperativas de pequenos produtores que possam organizar polos industriais, visando a viabilizar o uso das novas tecnologias que se mostrarem viáveis do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental.



Síntese dos resultados do estudo

Na presente atualização do Plano Siderurgia, dois estudos foram elaborados sobre os cenários do setor siderúrgico brasileiro, obtidos com base em uma avaliação prospectiva do mercado internacional de ferro-gusa, no qual os produtores independentes do Brasil retomariam, gradativamente, os níveis de produção praticados de 2003 a 2008, alcançando uma média anual entre 2014 a 2020, em dois cenários: **Projeção 1** – considerando um crescimento **linear** anual de 5%; e **Projeção 2** – com um modelo de crescimento **não linear**, com média de 9,6% ao ano.

Partindo do valor mais conservador de crescimento do setor denominado agora de **Cenário de Projeto**, e aliado às iniciativas em curso pelos diversos atores da sociedade, visando ao alcance da sustentabilidade social, ambiental e econômica do setor, chegou-se aos seguintes resultados comparativos entre:

- O **Cenário de Projeto** – com ganhos de produtividade das florestas plantadas, e melhoria de eficiência na carbonização e redução de consumo de carvão vegetal nos altos fornos;
- O **Cenário Base** – estas melhorias deixam de ser computadas devido à ausência dos resultados do projeto:

Tabela A – Projeto de produção de ferro-gusa a carvão vegetal até 2020

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeção 1	8,2	8,6	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0

*em milhões de toneladas

Tabela B – Projeção da necessidade de suprimento de carvão vegetal até 2020

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	6,1	6,3	6,6	6,9	7,1	7,4	7,7
Base	6,1	6,4	6,7	7,0	7,4	7,7	8,1

*em milhões de toneladas (base seca)

Tabela C – Projeção da necessidade de madeira a ser carbonizada até 2020

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	22,4	23,0	23,6	23,4	23,3	23,7	24,0
Base	22,4	23,4	24,5	25,7	27,1	28,5	30,0

*em milhões de toneladas (base seca)

Tabela D – Estoque de madeira de florestas plantadas até 2020

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	30,2	32,1	34,5	35,0	35,1	35,3	35,6
Base	30,2	32,1	34,5	35,0	35,1	35,3	35,6

*em milhões de metros cúbicos (massa específica de 0,5 t./m³)

Tabela E – Projeção da necessidade de uso de madeira de florestas nativas até 2020

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	11,2	10,6	9,8	9,1	8,9	9,2	9,5
Base	11,2	11,3	11,2	12,6	14,6	16,6	18,7

*em milhões de metros cúbicos (massa específica de 0,65 t./m³)

Tabela F – Participação percentual de florestas plantadas x nativas na produção do carvão vegetal até 2020

Cenário	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	32%	30%	27%	25%	25%	25%	26%
Base	32%	31%	30%	31%	35%	38%	41%

Tabela G – Sequestro de CO₂ proveniente das florestas plantadas

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	-1,571	-1,673	-1,803	-1,827	-1,823	-1,827	-1,831
Base	-1,571	-1,673	-1,803	-1,827	-1,823	-1,827	-1,831

*em milhões de toneladas

**Tabela H – Emissões de CO₂ equivalente**

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	9,685	9,743	9,759	9,203	8,619	8,339	8,003
Base	9,685	10,058	10,403	10,880	11,438	12,056	12,705

*em milhões de toneladas

Tabela I – Emissões de CO₂ equivalente menos o sequestro de CO₂ proveniente das florestas plantadas

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Projeto	8,114	8,069	7,956	7,376	6,795	6,512	6,172
Base	8,114	8,384	8,600	9,053	9,615	10,229	10,874

*em milhões de toneladas

Tabela J – Redução potencial das emissões de CO₂ equivalente

Cenário*	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Anual	0,00	0,32	0,64	1,68	2,82	3,72	4,70
Acumulado	0,00	0,32	0,96	2,64	5,46	9,17	13,87

*em milhões de toneladas

As seguintes premissas foram utilizadas visando ao alcance das metas do cenário de projeto:

A – Melhoria da produtividade das florestas plantadas

- Nesse parâmetro, conforme dados estatísticos, 40% das florestas plantadas já atingiram de forma estável produtividade de 30 a 40 m³/ha.ano, enquanto que 60% se encontram no patamar médio de 25 metros cúbicos por hectare ao ano (m³/ha.ano).
- Para o período de 2014 a 2020 e um ciclo de colheita de sete anos, o presente estudo projetou uma melhoria gradual da produtividade desta parcela de 60% até o alcance de uma média conservadora de 30 m³/ha.ano, considerando-se que as melhores práticas de plantios de clones de alta produtividade têm sido aplicadas no mínimo há sete anos.

B – Melhoria da eficiência da conversão da madeira em carvão vegetal no processo de carbonização – RG

- As melhores práticas da produção de carvão vegetal no Brasil utilizam procedimentos para o controle de processo da carbonização que associam as características da matéria-prima às

condições de suprimento de energia do sistema (via medições de temperatura) e o resultado de rendimento e qualidade do carvão vegetal produzido.

- Várias empresas do setor vêm obtendo, de forma estável, entre 30% e 32% de rendimento gravimétrico. Entretanto, estimou-se que atualmente apenas 20% da produção nacional alcance estes valores;
- Para o período de 2014 a 2020, projetou-se uma melhoria gradativa da média do RG, saindo dos valores de base atual das usinas integradas (RG=30%) e demais produtores (RG=26%) para um patamar de média nacional de 32% em 2020.

C – Redução do consumo específico de carvão vegetal na produção do ferro-gusa

- Com a gradual melhoria de eficiência da conversão de madeira em carvão vegetal vem também associada a melhoria da qualidade do carvão vegetal produzido, uma vez que os procedimentos de gerenciamento do processo deverão necessariamente visar ao atendimento das especificações técnicas exigidas pelo mercado consumidor.
- Com isso, ocorre como consequência uma potencial redução dos consumos específicos de carvão vegetal na produção do ferro-gusa. A projeção do período de 2014 a 2020 também foi feita de forma gradual, com redução estimada em 5%, saindo da média nacional atual de consumo de 740 quilogramas (kg) para 700 kg de carvão vegetal por tonelada de ferro-gusa produzido.

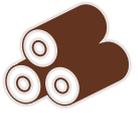
A consolidação dos ganhos delineados no presente estudo irá representar:

A – Redução do consumo de florestas nativas

- Com os ganhos combinados de aumento da produtividade das florestas plantadas, melhoria de eficiência da carbonização da madeira e da qualidade do carvão produzido, estimou-se que para o cenário de projeto existe um potencial de redução do consumo de florestas nativas de 32% para 26%, contra um aumento de 32% para 41% na sua ausência (linha de base);
- Em termos de déficit de plantio anual, no cenário de projeto projeta-se uma redução de 63 mil para 45 mil ha anuais, enquanto que na sua ausência ocorrerá um aumento de 63 mil para 106 mil ha anuais.

B – Redução dos gases do efeito estufa – GEE

- A redução de emissão de GEE, em especial o gás metano, via aumento gradual do rendimento gravimétrico de 26% para 32%, poderá chegar a **14 milhões de toneladas de CO₂eq** em 2020, superando as metas definidas no Plano Siderurgia, que previam alcançar entre 8 e 10 milhões de toneladas.



- As reduções de emissões via queima das fumaças da carbonização da madeira não puderam ser ainda consideradas nas projeções para o período até 2020 devido aos diversos obstáculos tecnológicos e financeiros atuais enfrentados pelo setor produtivo de carvão vegetal. O presente estudo apresentou soluções tecnológicas ainda em desenvolvimento que precisarão de um ciclo maior de tempo para serem implantadas em escala nacional.

C – Ganho potencial de competitividade do ferro-gusa a carvão vegetal

- Com os ganhos combinados de melhoria de eficiência da carbonização da madeira e da qualidade do carvão vegetal produzido, estimou-se uma redução em torno de 10% no custo de produção do ferro-gusa, o que, nas bases utilizadas no presente estudo, representa uma economia de **R\$ 1 bilhão por ano**, a partir de 2020, em valor presente, para o setor siderúrgico a carvão vegetal.

Como diretrizes para realização dos objetivos traçados pela revisão do Plano Siderurgia, foram estabelecidos oito Planos de Ação (PDA) que deverão ter a participação conjunta entre as empresas produtoras de carvão vegetal, integradas e independentes, governo, associações do setor siderúrgico e florestal, instituições financeiras e meio acadêmico, sintetizados como segue:

A – Evitar desmatamento de floresta nativa

- **PDA 01** – Mapeamento de estoque de florestas plantadas como possibilidade de uso para carvão vegetal; estudo de incentivo para o setor; formação de cooperativas ou associações regionais; identificação de potenciais de melhoria dos plantios para garantir melhores produtividades na colheita.
- **PDA 02** – Estudo para criação de incentivos fiscais para fomentar novos plantios.

B – Incrementar a competitividade brasileira da indústria do ferro e aço no contexto das economias de baixo carbono

- **PDA 03** – Criação de linhas de financiamento a baixo custo para implantação de balanças nas unidades de produção de carvão vegetal para cálculo do rendimento gravimétrico;
- **PDA 04** – Implantação de ferramentas de controle do processo de carbonização da madeira para aumento de eficiência;
- **PDA 05** – Implantação de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal visando melhoria de eficiência;
- **PDA 06** – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento atual de queimadores de fumaças da carbonização;

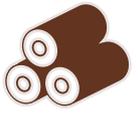
- **PDA 07** – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento de secadores de madeira;
- **PDA 08** – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para implantação de unidades industriais de tecnologias inovadoras do processo de carbonização – validação do custo benefício.

No presente estudo, quatro diferentes tecnologias de produção de carvão vegetal foram avaliadas em detalhes. O objetivo é enquadrá-las em um projeto de modernização da produção de carvão vegetal de médios e pequenos produtores, que hoje representam 70% da participação nacional (produções menores que 15.000 toneladas/ano). Seus principais parâmetros são descritos a seguir:

Tabela K – Tabela de premissas – Equipamentos carbonização

Parâmetro	Unidade	Tipo de forno			
		Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Capacidade de produção	t/forno/ ano	875	600	1000	3000
Investimento (capacidade instalada)	R\$/t.ano	238	532	334	700
Rendimento gravimétrico	Carvão vegetal	35%	35%	40%	40%
	Condensáveis	43%	43%	38%	38%
	Gases NC	22%	22%	22%	22%
Ciclo de produção	horas	312	24	72	3
Custo unitário do carvão (Opex)	R\$/t.cv	460	493	415	393

Nota: O forno Rima, que se assemelha às tecnologias estudadas acima, não participou da comparação devido principalmente ao fato de ser um projeto de produção em larga escala (capacidade de produção mínima é três vezes superior aos fornos descritos na tabela).



Considerações fundamentais:

- O forno tipo retangular de alvenaria foi incluído no estudo comparativo em sua versão modernizada pela inclusão de um queimador de gases e secador de madeira que, da mesma forma que as demais tecnologias, precisa ainda ser validada do ponto de vista técnico-econômico.
- O forno tipo Bricarbras foi considerado no estudo comparativo com a inclusão de melhores controles de carbonização associados com secadores de madeira. Dessa forma, estimou-se elevar o valor da eficiência RG de 30% para 35%, dentro da mesma condição do forno retangular de alvenaria acima descrito.
- A fim de parametrizar o estudo comparativo, buscando a viabilidade econômica, de modo que as quatro tecnologias pudessem alcançar a mesma rentabilidade (usou-se como premissa o valor de 15%), inclui-se a variável de “necessidade de comercialização de bio-óleo” (fumaças condensáveis), seja como combustível, ou outros produtos derivados. Com isso, o estudo procurou demonstrar o risco de cada investimento, em função da quantidade de bio-óleo a ser vendida para tornar o negócio rentável.



Capítulo 1



Capítulo 1

Situação atual da siderurgia a carvão vegetal e cenários para 2020

1.1 – Produção de ferro-gusa a carvão vegetal

A indústria siderúrgica iniciou-se no Brasil no século 19 e até quase meados do Século 20 o carvão vegetal foi a exclusiva fonte termorreduzora de seus altos fornos. Somente com o advento da operação das usinas siderúrgicas de grande porte, vale dizer, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), 1946, Cosipa e Usiminas (anos 60), Açominas e Tubarão (anos 80), passou-se a utilizar o coque, produzido, principalmente, a partir do carvão mineral importado, tendo em vista as exigências tecnológicas, em função da escala dos novos altos fornos. A siderurgia a carvão vegetal experimentou significativa expansão a partir da segunda metade da década de 1960, devido a fatores como a ampliação do mercado de exportação de ferro-gusa, incentivos governamentais para reflorestamento sustentável e expressivo aumento de custos de importação do coque e do carvão mineral.

Nas últimas décadas, a participação do carvão vegetal na produção do ferro-gusa no Brasil flutuou entre 25% e 35%, atendendo em parte às indústrias integradas e praticamente à totalidade das produtoras independentes. Isto representou uma média de consumo em torno de 6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal por ano na última década, para uma média de 9,5 milhões de toneladas de ferro-gusa produzido [consumo específico médio de 740 quilogramas de carvão vegetal por tonelada de ferro-gusa (kg cv/t.gusa)], Gráfico 1.

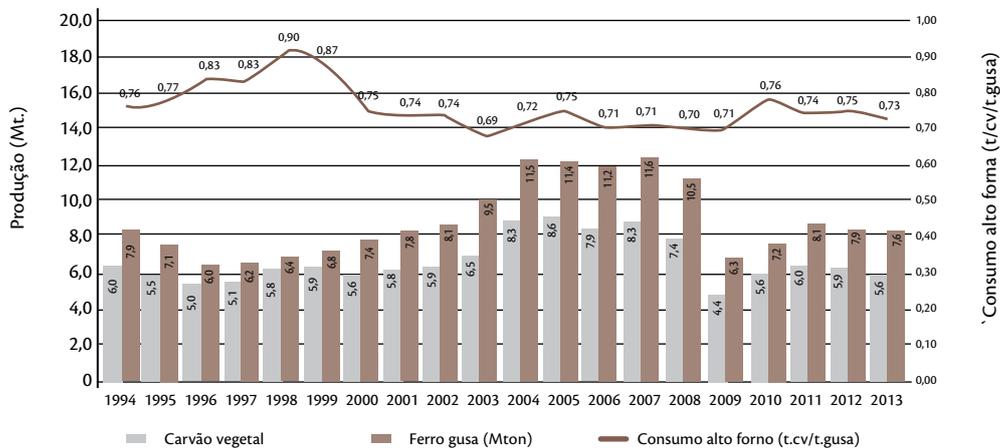


Gráfico 1 – Evolução da produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

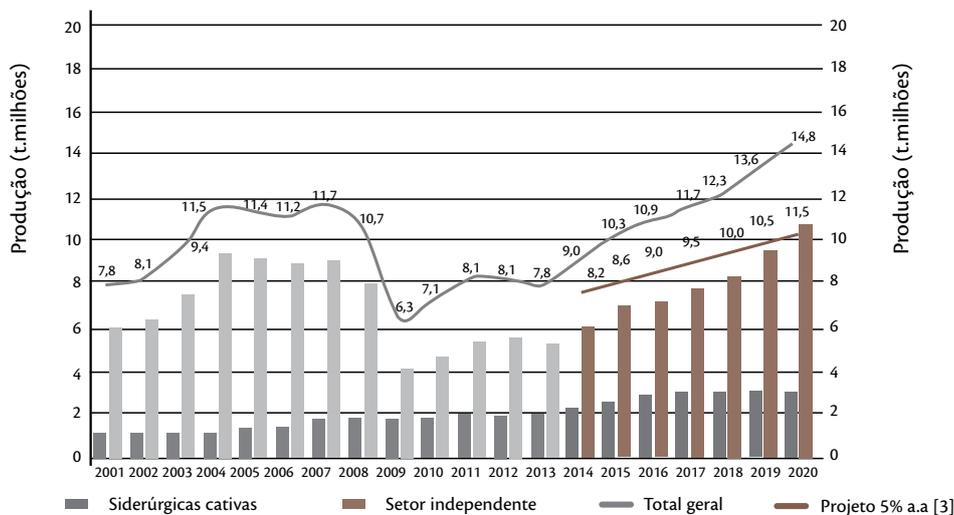


Gráfico 2 – Produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil

Fonte: (D'AVILA FILHO, 2014, SCHERER, 2014).

**Tabela 1 – Projetos para produção de ferro-gusa a carvão vegetal, em milhões de toneladas**

Anos	Siderúrgicas cativas	Setor independente			Total geral	Projeção
		Mercado interno	Exportação	Total		
2001	1,3	2,4	4,1	6,5	7,8	–
2002	1,3	2,4	4,4	6,8	8,1	–
2003	1,3	3,3	4,8	8,1	9,4	–
2004	1,4	3,9	6,2	10,1	11,5	–
2005	1,6	2,7	7,1	9,8	11,4	–
2006	1,7	3,2	6,3	9,5	11,2	–
2007	2,0	3,7	6,0	9,7	11,7	–
2008	2,1	2,3	6,3	8,6	10,7	–
2009	1,9	1,2	3,2	4,4	6,3	–
2010	2,1	2,7	2,3	5,0	7,1	–
2011	2,3	2,6	3,2	5,8	8,1	–
2012	2,2	2,9	3,0	5,9	8,1	–
2013	2,3	2,8	2,7	5,5	7,8	–
Projeção conforme estudos de mercado						
2014	2,5	3,0	3,5	6,5	9,0	8,2
2015	2,8	3,7	3,8	7,5	10,3	8,6
2016	3,2	3,7	4,0	7,7	10,9	9,0
2017	3,3	4,1	4,3	8,4	11,7	9,5
2018	3,3	4,5	4,5	9,0	12,3	10,0
2019	3,3	4,9	5,4	10,3	13,6	10,5
2020	3,3	5,2	6,3	11,5	14,8	11,0

Fonte: (D'AVILA FILHO, 2014; SCHERER, 2014).

Conforme estudos das projeções de produção de gusa a carvão vegetal para 2020, valores mais otimistas elevaram os 7,8 milhões de toneladas, em 2013, para 14,8 milhões de toneladas, em 2020 (D'AVILA FILHO, 2014), enquanto que para valores mais conservadores, onde utilizou-se um crescimento linear de 5% a.a., chegou-se a 11,0 milhões de toneladas para 2020 (SCHERER, 2014).

As metodologias de projeção utilizaram modelo mercadológico correlacionando crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) com as taxas de crescimento do setor siderúrgico (mercado interno e externo), novas unidades em implantação, disponibilidade do parque industrial atual, bem como uso e impacto da sucata na demanda de produção do aço.

1.2 – Floresta plantada para suprimento da produção de carvão vegetal

Considerando-se as duas projeções da produção de ferro-gusa de 2014 a 2020 (D'AVILA FILHO, 2014, SCHERER, 2014) e utilizando-se um consumo específico de carvão vegetal por tonelada de gusa de 740 kg/t., o cálculo equivalente para o suprimento de carvão vegetal alcançará, em 2020, os seguintes valores: mínimo de 8 milhões de toneladas e máximo de 11 milhões anuais.

Para o presente estudo, foi adotada a projeção mais conservadora de crescimento da produção de ferro-gusa, sendo definida como **projeção de projeto**. Portanto, para se quantificar a floresta necessária para abastecer a produção, que irá sair dos estimados 8,2 milhões de toneladas em 2014 para 11 milhões de toneladas de ferro-gusa em 2020, foram estabelecidas as análises descritas nos itens 1.2.1; 1.2.2; 1.2.3; e 1.2.4.

1.2.1 – Teoria da eficiência da conversão de madeira em carvão vegetal

Para dimensionar a necessidade de florestas plantadas e nativas (manejo sustentado, resíduos e expansão agrícola), é preciso entender a relação da eficiência de conversão de madeira em carvão vegetal, o chamado **RG (rendimento gravimétrico: kg de carvão/kg de madeira – base seca)**, e as diferentes qualidades químicas e físicas da madeira utilizada e do controle de temperatura do processo.

A madeira quando submetida à uma fonte de calor (energia térmica) passa pelos processos de secagem e carbonização dos seus principais componentes: hemicelulose, celulose e lignina. Devido às suas diferentes composições químicas e estruturais, esses componentes apresentam diferentes RG em função das temperaturas a que são submetidos, Gráfico 3:

À medida que a madeira vai se decompondo e gerando as fumaças da carbonização (gases e vapores), o carvão vai se formando pela concentração do carbono, que no seu valor elementar começa com 50% da madeira, volatiliza parte com o oxigênio e hidrogênio e, o que se fixa, alcança a



concentração demandada pelos altos fornos em torno de 75% ($\pm 2\%$), quando atinge temperaturas entre 350° e 380°C.

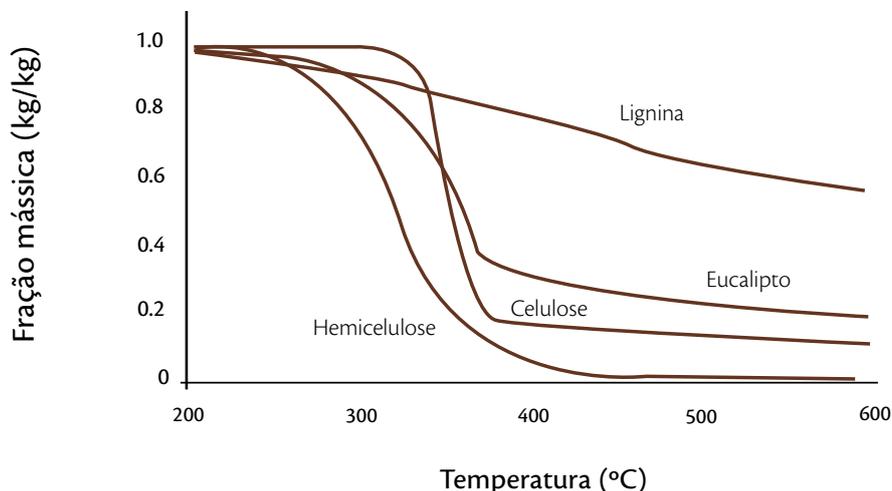


Gráfico 3 – Eficiência da carbonização da madeira – RG dos componentes (kg/kg)

Fonte: (RAAD, 2004).

Além da temperatura, o rendimento final depende das frações mássicas de cada componente: as hemiceluloses apresentam baixa eficiência (RG = 10 a 15%), a celulose média eficiência (RG = 25 a 30%) e a lignina alta eficiência (RG = 60 a 85%). A Tabela 2 apresenta o valor do rendimento possível, variando o percentual dos componentes em função da espécie de eucalipto, dos híbridos clonais e dos clones hoje em desenvolvimento pelas empresas florestais do Brasil:

Tabela 2 – Eficiência de conversão dos componentes da madeira em carvão vegetal

	Componentes			
	Fração mássica (kg/kg)	Espécie/Clone 1	Espécie/Clone 2	Espécie/Clone 3
Hemiceluloses	0,10	28%	26%	22%
Celulose	0,25	48%	45%	42%
Lignina	0,75	20%	25%	32%
Extrativos	0,25 a 0,75	4%	4%	4%
Rendimento Gravimétrico	–	32%	36%	40%

Fonte: (RAAD, 2004).

Como observado na Tabela 2, a espécie pode impactar de forma significativa no resultado final da produção do carvão vegetal: entre as espécies com baixo teor de lignina, como exemplo o *Eucalyptus grandis*, muito utilizado pelas indústrias de papel e celulose, e as espécies com alto teor de lignina, como os *Clones* provenientes de melhoramento genético desenvolvido pelas empresas florestais, o aumento da eficiência pode significar produzir 25% a mais de carvão vegetal com a mesma massa de madeira.

Além da espécie e da temperatura, outro fator importante para a obtenção da eficiência RG é o tipo de processo adotado para carbonizar a madeira em relação à energia para secagem e carbonização:

- Em fornos de alvenaria ou cilindros metálicos, onde parte das fumaças e parte da madeira enfiada é consumida em reações de combustão para fornecer energia necessária ao processo de carbonização, obtêm-se necessariamente valores de RG inferiores aos valores de RG teóricos (Tabela 2);
- Em fornos metálicos, onde a energia é 100% proveniente da queima das fumaças da carbonização (ex. retortas de carbonização contínua) ou 100% de energia elétrica (ex. fornos de micro-ondas), os valores de eficiência RG podem se aproximar dos valores de RG teóricos (Tabela 2).

1.2.2 – Mapeamento da eficiência RG atual e projeção para 2020

Rendimento Gravimétrico atual da produção de carvão vegetal no Brasil

Tradicionalmente, a indústria produtora de carvão vegetal no Brasil utiliza o indicador de eficiência volumétrica, ou seja, a conversão do volume de madeira enfiada em volume de carvão produzido. Infelizmente, este indicador apresenta um alto grau de incerteza. Para exemplificar:

- No exemplo, Tabela 3, dois fornos de volume igual a 100 m³ foram carregados com a mesma espécie de madeira, diferindo apenas no diâmetro médio enfiado. Sabe-se que quanto maior o diâmetro empilhado, menor os espaços vazios entre as toras. Como o volume é o mesmo, mas as densidades a granel são diferentes (peso da madeira empilhada), tem-se maior massa (38t x 33t).
- O processo de carbonização nas duas fornadas foi conduzido de modo que alcançassem o mesmo **rendimento gravimétrico (RG = 35%)**. Porém o **rendimento volumétrico** do segundo forno ficou 15% pior que o do primeiro forno (1,80 x 2,08 m³ madeira empilhada/ m³ carvão vegetal).

**Tabela 3** – Comparação de indicador de eficiência volumétrica x gravimétrica

Fornada	1	2
Volume Madeira (st)	100	100
Diâmetro Madeira (cm)	15	2
Peso da Madeira (t.)	38	33
Rendimento Gravimétrico (%)	35%	35%
Massa de Carvão (t.)	13,3	11,6
Densidade (t/m ³)	0,24	0,24
Volume de Carvão (m ³)	55,4	48,1
Rendimento Volumétrico (st/m ³)	1,80	2,08
Diferença = 15%	-	-

Fonte: (RAAD, 2004).

- Do ponto de vista gerencial, observando apenas o rendimento volumétrico, a empresa pode concluir que gastou mais madeira (em volume) de um processo para o outro, o que é indevido. Verifica-se que, quando ocorrem variações geométricas da madeira, esse indicador pode não representar a realidade do que foi o processo.
- Além do diâmetro, outros parâmetros influenciam no indicador volumétrico como, por exemplo, o comprimento; a conicidade e a tortuosidade das toras de madeira; a diferença entre a massa específica; a forma de empilhamento em pé ou deitada; e a carga, se mecanizada ou manual.
- Levantamentos de rendimentos da conversão da madeira em carvão vegetal feitos por siderúrgicas integradas e produtoras independentes, denominado rendimento gravimétrico de linha de base (madeira e carvão na base seca), apontaram para resultados na faixa entre 24% e 29%. Estes valores estão evidenciados em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) aprovados pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) das empresas Plantar e Queiroz Galvão e em relatórios disponibilizados por algumas empresas produtoras independentes de ferro-gusa (RESENDE, 2014).

Apesar de a grande maioria das empresas produtoras de carvão no Brasil não medirem o rendimento gravimétrico, dados de relatórios estatísticos florestais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2013, foram utilizados no presente estudo para o cálculo estimado do

rendimento gravimétrico atual. Esses dados de consumo de madeira e produção de carvão vegetal foram publicados pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (Abraf) em 2013.

Tabela 4 – Floresta plantada usada para produção de carvão vegetal no Brasil (milhões)

Ano	M m ³	Mt
2005	20,2	10,1
2006	20,9	10,4
2007	30,4	15,2
2008	31,8	15,9
2009	27,0	13,5
2010	27,6	13,8
2011	33,0	16,5
2012	40,8	20,4

Fonte: (IBGE, 2013).

Nota: Na conversão do volume de madeira em metro cúbico para massa em tonelada foi utilizada a densidade de 500 kg/m³ (RIBEIRO e FILHO, 1993).

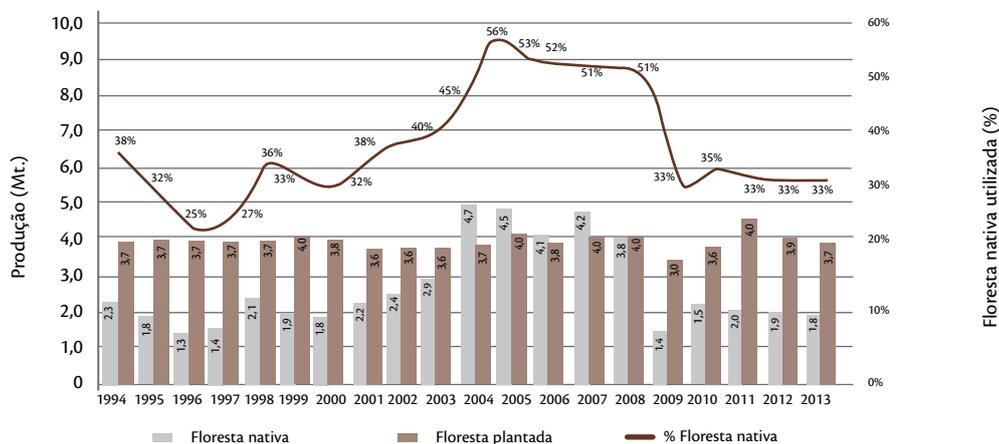


Gráfico 4 – Carvão vegetal produzido de madeira nativa x florestas plantadas

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



No período de 2005 a 2012, foram utilizados 232 milhões de metros cúbicos (IBGE, 2013) ou o equivalente a 116 milhões de toneladas de madeira proveniente de florestas plantadas para produzir 30 milhões de toneladas de carvão vegetal (ABRAF, 2013), o que corresponde a um RG médio neste período igual a 26%.

Para o cálculo do RG anual, o procedimento recomendável seria ter o balanço de estoque de madeira no início e no final de cada ano. Assim, utilizando-se o rendimento médio obtido igual a 26% nos anos do período avaliado, o carvão anual produzido e a respectiva madeira carbonizada obteve-se **teoricamente** uma aproximação das variações anuais dos estoques, como demonstrado na Tabela 5, onde a coluna 'Entrada' correspondente à madeira disponibilizada no ano, a coluna 'Saída' representa a madeira carbonizada e a coluna 'Saldo' é calculada pelo saldo do início do ano mais a diferença entre a entrada e a saída de madeira:

Tabela 5 – Fluxo de madeira de florestas plantadas x carvão produzido x RG

Ano	Entrada	Saída	Saldo estoque estimado*	Carvão produzido	Rendimento gravimétrico
2004	–	–	10,4	–	–
2005	4,7	10,1	4,9	4,0	26%
2006	6,3	10,4	0,8	3,8	26%
2007	14,9	15,2	0,5	4,0	26%
2008	17,7	15,9	2,4	3,6	26%
2009	15,5	13,5	4,4	3,0	26%
2010	13,5	13,8	4,1	3,6	26%
2011	17,6	16,5	5,2	4,0	26%

Fonte (RAAD e MELO, 2014)

Notas: No cálculo do RG média nacional, utilizou-se o carvão na base úmida.

* O estoque estimado é útil na presente análise para verificar a consistência de dados quanto à validade do balanço de massa e o RG correspondente.

O resultado de **RG = 26%**, obtido dos dados estatísticos publicados, está consistente com a mediana da faixa dos rendimentos gravimétricos obtidos segundo a metodologia do MDL, que variaram de 24% a 29%, (**RG da mediana = 26,5%**). Dessa forma, o valor de **RG = 26%** foi adotado no presente estudo como situação atual de eficiência de carbonização da madeira de floresta plantada no Brasil.

Projeção do Rendimento Gravimétrico da produção de carvão vegetal para 2020

Conforme demonstrado no item 1.2.2, a eficiência teórica ideal de carbonização para fornecimento de carvão vegetal na qualidade exigida pela siderurgia é dependente da composição química da madeira e pode variar entre 32% a 40%. O mapeamento dessa característica das florestas plantadas e dos plantios atuais, que são destinados à produção do carvão vegetal, deverá fazer parte de um projeto de desmembramento do “Plano Siderurgia”, visando à quantificação do real potencial de rendimento máximo possível a ser alcançado dentro do plano de modernização da produção de carvão vegetal no Brasil.

Portanto, de forma conservadora, o valor adotado para o teto de eficiência para 2020 foi o **RG = 32%** (menor eficiência teórica), devido às limitações da influência da espécie (RAAD, 2004) da madeira e também ao tipo de forno predominante no parque industrial (fornos de alvenaria circulares) [RESENDE, 2014], que, se comparado com o **RG base = 26%**, corresponde a um aumento de 23% do potencial de produção de carvão com a mesma base florestal atual.

Para as usinas integradas, o **RG base** divulgado pelas empresas variou entre 30% e 34% (RESENDE, 2014). Assim, adotou-se como ponto de partida o **RG de 30%** com evolução gradual para o valor médio de 32% em 2020, similar aos produtores independentes.

Para a evolução anual do **RG = 26%**, em 2014, para **RG = 32%**, em 2020, o modelo definido por uma curva sigmoide foi adotado (onde os dados variam com pequeno gradiente de crescimento no período inicial, seguido por taxa de crescimento contínuo linear e, por fim, novamente redução dessa taxa devido aos ganhos incrementais menores), tabelas 6 e 7:



Tabela 6 – Projeção do rendimento gravimétrico de 2014 a 2020 – produtores independentes

Descrição	Fase 1		Fase 2			Fase 3	
	Evolução gradual do RG: implantação e validação de planos de treinamento e melhoria de controle da carbonização.	Evolução acelerada do RG: clonagem em larga escala das melhores práticas aprovadas na Fase 1;			Incremento gradual do RG: fase de estabilização dos ganhos em larga escala e mudança de patamar.		
Período	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	26,0%	26,5%	27,0%	28,5%	30,0%	31,0%	32,0%

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Tabela 7 – Projeção do rendimento gravimétrico de 2014 a 2020 – usinas integradas

Descrição	Fase 1		Fase 2			Fase 3	
	Evolução gradual do RG: troca de melhores práticas entre as empresas via treinamentos de procedimentos	Evolução acelerada do RG: clonagem em larga escala das melhores práticas aprovadas na Fase 1;			Incremento gradual do RG: fase de estabilização dos ganhos em larga escala e mudança de patamar.		
Período	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	26,0%	26,5%	27,0%	28,5%	30,0%	31,0%	32,0%

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

1.2.3 – Mapeamento do estoque florestal atual

A cobertura de área do Brasil é de 8,5 milhões de quilômetros quadrados e, como pode ser visto no Gráfico 5, atualmente apenas 0,8% dessa área é ocupada por florestas plantadas, que tem a agricultura e pecuária como mandatárias do uso comercial da terra, superando os 30% da área.

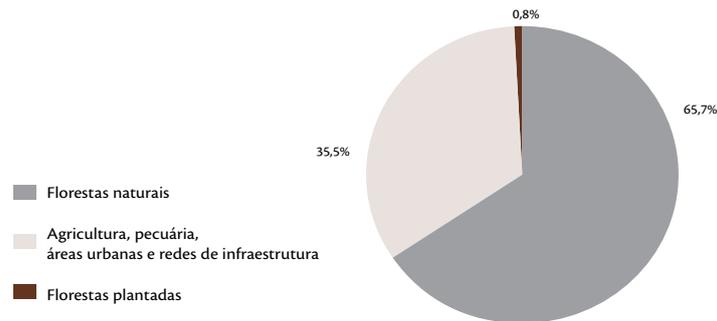


Gráfico 5 – Distribuição percentual da área de cobertura do Brasil

Fonte: (ABRAF, 2013).

As florestas plantadas de eucaliptos e pinus no Brasil para uso comercial datam do início do século 20, porém, o plantio em larga escala teve início a partir de 1949, com o eucalipto, pela Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, no município de Santa Bárbara (MG), e em 1959, com o pinus, no Estado de São Paulo, dentro de uma política de exploração racional de madeiras, visando à preservação das florestas nativas.

Os plantios em larga escala no Brasil foram impulsionados a partir da década de 60, devido ao programa de incentivo fiscal aos plantios florestais associados aos grandes investimentos das industriais de celulose e papel e das siderúrgicas que usavam o carvão vegetal como termorreduzidor.

Em 1990, a área estimada com florestas plantadas no País era de cerca de 6 milhões de hectares. Entretanto, durante a década de 1990, houve uma significativa redução, passando para 5,1 milhões de hectares em 2000. O principal motivo foi a conversão da terra para outros usos, como agricultura e pecuária, que, na época, apresentavam maior retorno econômico de curto prazo.



Foi a partir de 2005 que as florestas plantadas saíram de um quadro de quase estagnação e passaram a um histórico crescimento médio de 4%, saindo de 5,5 milhões de hectares (eucalipto, pinus e outras espécies), chegando em 2013 a cerca de 7,2 milhões de hectares, Gráfico 6.

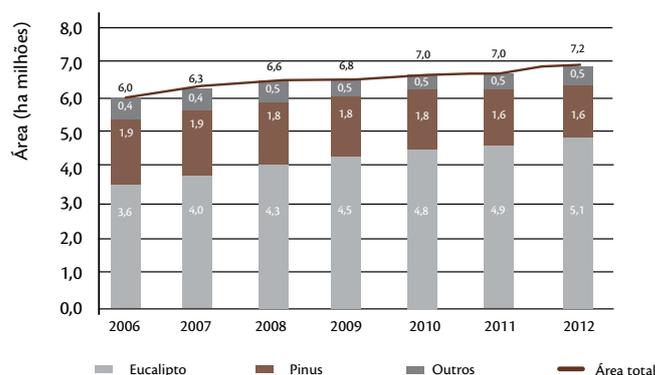


Gráfico 6 – Evolução da área de florestas plantadas no Brasil

Fonte: (ABRAF, 2013).

A Tabela 8 apresenta a distribuição do consumo da madeira proveniente de florestas plantadas em uso industrial, uso para combustível (lenha) e uso para produção de carvão vegetal. Também apresenta a evolução das áreas plantadas e as respectivas produtividades das empresas associadas à Abraf, que, em diversos casos, já alcançaram um patamar de 40 m³/ha.ano. Para as não associadas, o valor médio é de 25 m³/ha.ano e, neste grupo, está a maioria das empresas produtoras independentes de carvão vegetal e parte dos ativos florestais das siderúrgicas integradas.

Segundo o Instituto Aço Brasil (IABr), em diversas regiões de atuação do setor, as florestas plantadas se encontram em solo arenoso e de baixa pluviosidade anual, o que dificulta o alcance de produtividades obtidas pelos outros setores, como o da indústria de papel e celulose, que mantém plantios em regiões com melhores condições, tanto climáticas como de qualidade do solo. Dessa forma, foi adotado o valor conservador de 30 m³/ha.ano para a projeção da melhoria de produtividade em 2020.

Tabela 8 – Madeira consumida, área de florestas plantadas e respectivas produtividades

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	Volume (m ³ milhões)						
Madeira para uso industrial ⁽¹⁾	101	105	101	107	116	126	132
Madeira para combustível ⁽¹⁾	36	39	42	41	48	52	57
Madeira para carvão vegetal ⁽¹⁾	21	30	32	27	28	33	41
Madeira total consumida	158	175	175	175	191	211	229
	Área (ha milhões) Área (ha milhões)						
Plantio total	6,0	6,3	6,6	6,8	7,0	7,0	7,2
Empresas associadas Abraf ⁽²⁾	Área (ha milhões)						
	2,4	2,4	2,7	2,7	3,0	3,1	3,1
	Volume (m ³ milhões)						
	93	95	108	108	122	123	126
	Produtividade (m ³ /ha.ano)						
	39	40	40	40	41	40	41
	% participação						
40%	38%	41%	40%	43%	44%	43%	
Demais empresas ⁽²⁾	Área (ha milhões)						
	3,6	3,9	3,9	4,1	4,0	3,9	4,1
	Produtividade (m ³ /ha.ano)						
	18	21	17	16	17	23	25
	Participação (%)						
60%	62%	59%	60%	57%	56%	57%	

Fontes: (IBGE, 2013)⁽¹⁾ – (ABRAF, 2013)⁽²⁾.

Nota: As produtividades médias dos plantios das demais empresas (não associadas à Abraf) foram estimadas em função das suas respectivas áreas e da madeira total consumida, menos a madeira das empresas associadas à Abraf.



1.2.4 – Projeção das emissões GEE e necessidade de florestas para o setor de gusa a carvão vegetal entre 2014 e 2020

Os estudos que originaram o Plano Siderurgia em 2010, em consonância com o compromisso assumido pelo Brasil no Acordo de Copenhague, apresentaram uma projeção das emissões da indústria de ferro-gusa a carvão vegetal de 2010 a 2020. Neste estudo, foram feitas a revisão, atualização e continuidade do plano original, no que concerne às emissões do período de 2010 a 2013 (Tabela 9), além da definição das premissas de cálculo (Tabela 10) e as novas projeções até 2020 (Tabela 11).

Utilizando-se como parâmetro principal o rendimento médio nacional, descrito no item 1.2.2 (RG = 26%), as produções de carvão vegetal anuais e os respectivos consumos de floresta nativa e plantada, obteve-se a estimativa de emissões GEE no período de 2010 (ano de início do compromisso brasileiro de redução das emissões no setor de gusa a carvão vegetal) até 2013, Tabela 9:

Tabela 9 – Projeções das emissões GEE no período de 2010 a 2014 (em milhões de toneladas)

Descrição	2010	2011	2012	2013
Sequestro de CO ₂ das florestas plantadas	-1,432	-1,741	-2,211	-1,512
Emissões de CO ₂ eq da produção de carvão vegetal	9,745	10,336	9,805	9,640
Emissões líquidas de CO ₂ equivalente	8,313	8,595	7,594	8,128

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

A Tabela 10 sintetiza toda a projeção de emissões GEE em função das projeções de produção de ferro-gusa de 2014 a 2020, considerado como cenário de projeto:

- A projeção de crescimento linear de produção de ferro-gusa alcançando 11 milhões de toneladas em 2020;
- Os consumos e as quantidades de carvão vegetal necessários anualmente para suprimento de altos fornos e fornos elétricos (ferro-ligas) das empresas integradas e produtoras independentes;
- A quantidade de madeira necessária para o suprimento desse carvão vegetal, entre floresta plantada e floresta nativa.

Assim, para obter a projeção das emissões GEE e de florestas plantadas, necessárias para o suprimento do carvão vegetal referente ao cenário de projeto para produção de ferro-gusa de 2014 a 2020, as seguintes premissas foram consideradas:

Tabela 10 – Premissas de cálculo das projeções das emissões GEE e necessidade de florestas

Item	Descrição	Premissa de cálculo das projeções
1	Rendimento Gravimétrico	Definido conforme descrito no item 1.2.2: RG de 26% para 32% para produtores independentes e de 30% para 32% para indústrias integradas.
2	Produção de ferro-gusa	Utilizada a projeção mais conservadora obtida na Nota Técnica [Scherer, 2014] com crescimento anual linear de 5% a.a
3	Consumo dos altos fornos	Projeção de redução do consumo específico de 5% de forma gradual entre 2014 a 2020 devido à melhoria de qualidade do carvão vegetal produzido com controle de processo, saindo de 740 para 700 kg cv/t. gusa. Segundo o IABr, o valor do ganho neste item poderá ser impactado pela tendência generalizada de queda de qualidade do minério de ferro utilizado pela siderurgia brasileira neste período.
4	Produção necessária de carvão vegetal	Obtida pela produção projetada de ferro-gusa vezes o consumo específico de carvão vegetal (2) x (3)
5	Madeira p/ produção do carvão vegetal	Produção de carvão vegetal (4) dividida pelo rendimento gravimétrico correspondente (1)
6	Estoque de florestas plantadas	A - Na projeção do estoque das florestas plantadas das usinas integradas admitiu-se que o plano das empresas já contempla um planejamento de demanda para crescimento da produção de gusa, assim igualou-se o estoque à quantidade de madeira necessária (5) (densidade média de 500kg/m ³). B - Para as produtoras independentes o estoque base (2014) foi obtido pela diferença entre estoque médio de madeira para carvão vegetal (Tabela 8) entre 2006 e 2012 (=30 milhões m ³) e a projeção das usinas integradas. O aumento do estoque no período de 2015 a 2020 foi obtido pelo ganho gradual estimado de produtividade dos plantios (8)
7	Necessidade de Uso de Florestas Nativas	Obtida pela diferença entre a madeira necessária para produção do carvão vegetal (5) e o estoque de florestas plantadas (6)
8	Déficit de plantio	Conforme apresentado na Tabela 8, apesar das empresas de celulose e papel e madeira industrial já atingirem produtividade de 40 ha/m ³ .ano, não é o caso ainda de grande parte do setor de carvão vegetal, assim, de forma conservadora, admite-se uma melhoria entre 2014 a 2020 da produtividade de 25 para 30 ha/m ³ .ano. Como neste período de projeção do estudo todos os plantios já estarão em andamento, poderá haver a necessidade de investimento em adubações para atingimento das metas. Fato este que deverá gerar um desdobramento dentro das ações do Plano Siderurgia. A área necessária foi calculada pela divisão do uso de florestas nativas (7) pelas produtividades projetadas (8)



Item	Descrição	Premissa de cálculo das projeções
9	Sequestro de CO ₂ das florestas plantadas	As florestas plantadas absorvem CO ₂ no processo de crescimento, que enquanto estiverem sendo plantadas de forma contínua manterão um estoque de carbono que irá contribuir anualmente com um incremento de sequestro de CO ₂ conforme projetado na Tabela 11.
10	Emissões do projeto	O uso de floresta nativa contribui com emissões GEE na taxa estimada de 0,29 toneladas de CO ₂ eq./tonelada de carvão produzido, conforme relatado na Nota Técnica (Brito, 2014). A equação de MDL 0021 foi utilizada para estimar os valores, onde CO ₂ eq. = 21 CH ₄ .
11	Emissões de linha de base	Emissões calculadas utilizando-se os valores de projeção de linhas de base pela mesma metodologia de cálculo descrita em (10)
12	Redução das emissões	Com a melhoria da eficiência do processo e redução da necessidade de uso de floresta nativa, calculou-se as reduções de emissão de GEE correspondentes (11) – (10)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Cenário de projeto – Produção de 11 milhões de toneladas de ferro-gusa em 2020

Tabela 11 – Projeções das emissões GEE e necessidade de florestas para o período de 2014 a 2020

Rendimentos Gravimétrico	Usinas integradas	RG%	30%	30,2%	30,3%	30,8%	31,3%	31,7%	32%
	Produção independente		26%	26,5%	27,0%	28,5%	30,0%	31,0%	32%
Produção projetada de ferro-gusa	Usinas integradas	t. milhões	2,5	2,8	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3
	Produção independente		5,7	5,8	5,8	6,2	6,7	7,2	7,7
	Massa total		8,2	8,6	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
Altos fornos	Evolução do consumo específico	kg cv/tgusa	740	737	733	723	713	707	700

Produção necessária de carvão vegetal	Usinas integradas	t.milhões	1,9	2,1	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3
	Produção independente		4,2	4,3	4,3	4,5	4,7	5,1	5,4
	Total cenário projeto		6,1	6,3	6,6	6,9	7,1	7,4	7,7
	Total linha de base		6,1	6,4	6,7	7,0	7,4	7,7	8,1
Madeira necessária	Usinas integradas	t.milhões	6,2	6,8	7,7	7,7	7,5	7,4	7,2
	Produção independente		16,2	16,1	15,8	15,7	15,8	16,3	16,8
	Total cenário projeto		22,4	23,0	23,6	23,4	23,3	23,7	24,0
	Total linha de base		22,4	23,4	24,5	25,7	27,1	28,5	30,0
Estoque de florestas plantadas	Madeira usinas integradas	m ³ milhões	12,3	13,7	15,5	15,5	15,0	14,7	14,4
	Madeiras produção independente		17,9	18,4	19,0	19,5	20,1	20,6	21,2
	Madeira usinas integradas	t.milhões	6,2	6,8	7,7	7,7	7,5	7,4	7,2
	Madeiras produção independente		8,9	9,2	9,5	9,8	10,0	10,3	10,6
Necessidade de uso de florestas nativas	Nativas cenário projeto	m ³ milhões	11,2	10,6	9,8	9,1	8,9	9,2	9,5
	Nativas linha de base		11,2	11,3	11,2	12,6	14,6	16,6	18,7
	Nativas cenário projeto	t.milhões	7,3	6,9	6,3	5,9	5,8	6,0	6,2
	Nativas linha de base		7,3	7,4	7,3	8,2	9,5	10,8	12,2
	% de Nativas cenário projeto	% em massa	32%	30%	27%	25%	25%	25%	26%
	% de Nativas linha de base		32%	31%	30%	32%	35%	38%	41%



Déficit de plantio	Produtividade dos planos	ha/m ³ /ano	25,3	26,1	26,9	27,7	28,9	29,2	30,0
	Cenário de projeto	hax 1000	63	58	52	47	45	45	45
	Linha de base	hax 1000	63	64	63	71	83	94	106
Sequestro de CO ₂ das florestas plantadas		t.milhões	-1.571	-1.673	-1.803	-1.827	-1.823	-1.827	-1.831
Emissões do projeto	CO ₂ do uso de floresta nativa	t.milhões	0,578	0,560	0,523	0,509	0,517	0,549	0,582
	CH ₄ – gás metano		0,434	0,437	0,440	0,414	0,386	0,371	0,353
	Total líquido em CO ₂ eq. – sequestro		8,114	8,069	7,956	7,376	6,795	6,512	6,172
Emissões de linha de base	CO ₂ do uso de floresta nativa	t.milhões	0,578	0,597	0,599	0,707	0,852	0,992	1,145
	CH ₄ – gás metano		0,434	0,451	0,467	0,484	0,504	0,527	0,550
	Total líquido em CO ₂ eq. – sequestro		8,114	8,384	8,600	9,053	9,615	10,229	10,874
Redução das emissões	Anual em CO ₂ eq	t.milhões	0,00	0,32	0,64	1,68	2,82	3,72	4,70
	Acumulada em CO eq		0,00	0,32	0,96	2,64	5,26	9,17	13,87

Fonte (RAAD e MELO, 2014).

1.3 – Tecnologias atuais no Brasil para produção de carvão vegetal

1.3.1 – Fornos de alvenaria: situação atual e incrementos tecnológicos para 2020

Até o início da década passada, a produção de carvão vegetal no Brasil era feita predominantemente em fornos circulares de alvenaria de pequeno porte denominados fornos de superfície, com capacidades de processamento de madeira que variam de 7 m³ (fornos tipo rabo quente) a 70 m³ (fornos circulares de sete metros de diâmetro) de volume sólido, ou de 4 a 40 toneladas de madeira base seca (b.s.), Figura 1.



Figura 1 – Fornos de alvenaria de pequeno porte para produção de carvão vegetal

Fonte (RAAD, 2014)

O grande problema desses fornos é a alta dependência de mão de obra para operações manuais de carga de madeira e descarga do carvão. Com ciclo total de carbonização variando entre sete dias (rabo quente) e 12 dias (circular) e baixos rendimentos de conversão de madeira em carvão (de 24% a 29% de rendimento gravimétrico), esses fornos têm capacidade individual de produção que varia de 50 toneladas (rabo quente) a 350 toneladas (circular) de carvão vegetal por ano.

A partir de 1980, grandes empresas integradas de produção de ferro-gusa, *Vallourec* (antes *Mannesmann Florestal*), *ArcelorMittal* (antes *Belgo Mineira*), *Aperam* (antes *Acesita*) e *Gerdau* iniciaram um processo de construção de grandes fornos retangulares de alvenaria com o objetivo de mecanizar ao máximo suas operações florestais, desde a colheita (Sistema *Feller Buncher*, *Skider* e *Garra Traçadora*), o enchimento dos fornos (feitos com grua) até a descarga do carvão (feito com



pá carregadeira). Um dos grandes benefícios foi aumentar de forma significativa a produtividade dos fornos e melhorar as condições de trabalho dos operadores, Figura 2.



Figura 2 – Fornos de alvenaria de grande porte para produção de carvão vegetal

Fonte (RAAD, 2014)

Na última década, diversas empresas integradas de várias regiões do Brasil, com destaque para os estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Maranhão, fizeram uma substituição em larga escala dos fornos circulares pequenos por grandes fornos retangulares, com capacidades de processamento de madeira que variam de 150 m³, FR190 (fornos retangulares de 13 metros de comprimento e 4 metros de largura) a 450 m³, RAC700 (fornos retangulares de 26 metros de comprimento e oito metros de largura) de volume sólido, ou de 80 a 250 toneladas de madeira (base seca).

Com ciclo total de produção variando entre 13 dias (FR190) e 18 dias (RAC700), quando equipados com tecnologias de controle de temperatura e ou *softwares* de gerenciamento do processo de carbonização, apresentam ganhos de rendimento na conversão de madeira em carvão (saindo de 26% para 32% a 35% de rendimento gravimétrico). Com isso, esses fornos podem alcançar capacidades individuais de produção que variam de 750 (FR190) até 2000 (RAC700) toneladas de carvão vegetal por ano.

Como pode ser observado na Tabela 12, a quantidade de emissões de fumaças (gases e vapores) na carbonização da madeira é diretamente associada ao rendimento em carvão vegetal produzido, ou seja, quanto menor o rendimento, maior serão as emissões. Vejam que, considerando-se como referência base o processamento de uma tonelada de madeira seca e obtendo-se um rendimento de 26%, ao invés de 35%, ocorre um aumento de 100% da quantidade do gás metano emitido para o meio ambiente.

Os fornos de alvenaria retangulares vêm substituindo gradativamente os fornos circulares, mesmo nas empresas produtoras de ferro-gusa não integradas, principalmente pela necessidade de otimização da mão de obra que será cada vez mais escassa para serviços manuais como carga de madeira e descarga de carvão.

Tabela 12 – Distribuição teórica dos produtos da carbonização de 1 tonelada de madeira base seca

Rendimento Gravimétrico (RG)	26%	35% (*)
Carvão vegetal (kg)	260	350
Líquido pirolenhoso (kg)	340	300
Alcatrão vegetal (kg)	150	130
Gases – CO ₂ , CO, H ₂ e CnHn (kg)	230	210
CH ₄ (Gás metano) (*) (kg)	20	10

Fonte: (RAAD^(*), 2004; UNFCCC^(**), 2006)

Nota: em função do excesso de ar que entra nos fornos de alvenaria, parte do alcatrão vegetal produzido no processo é queimado, podendo ser apenas parcialmente recuperado via condensação externa (RESENDE, 2014).

$$\text{Emissão CH}_4 = 217,12 - 534,76 \times \text{RG} \text{ (kg CH}_4\text{/t.carvão)} \quad [12]$$

1.3.2 - Retorta de carbonização contínua

A Retorta de carbonização contínua de madeira consiste em um forno cilíndrico metálico (parte de aço inoxidável e parte de aço carbono) disposto verticalmente, equipado com sistema de queima de gases, sendo o seu funcionamento descrito de forma sintética como segue:

- Madeira cortada em peças de 20 a 40 cm de comprimento são abastecidas no topo do forno e descem por gravidade até a base, em contracorrente com os gases queimados da própria pirólise;
- A energia para a transformação da madeira em carvão vegetal vem, portanto, da combustão parcial da fumaça produzida continuamente durante o processo, sem a presença de oxigênio, o que permite alcançar altos rendimentos gravimétricos;
- Todas as etapas da secagem e carbonização são monitoradas via programa supervisorio de



comando central. Recebendo sinais de sistemas eletromecânicos, permite controlar a qualidade química do produto ao variar as vazões mássicas dos gases quentes associadas às temperaturas e aos perfis térmicos pré-estabelecidos em função da especificação exigida pelo cliente.

As retortas contínuas podem ser consideradas como sendo o mais eficiente sistema de carbonização de madeira em operação no mundo, com rendimentos que podem chegar a 38% para um carbono de 75% (RAAD, 2004). Em funcionamento há mais de 50 anos em países da Europa e Oceania, tinha inicialmente a função principal de produzir alcatrão vegetal para uso na produção de energia e abastecimento da indústria de carboquímicos (RESENDE, 2014; RAAD e MELO, 2014).

Porém, a retorta contínua perdeu a competitividade para os produtos derivados de petróleo e reduziu sua participação no mercado no final do século passado. Atualmente, esta tecnologia é utilizada basicamente para produção de carvão vegetal para uso doméstico (churrasco) e conta com poucas unidades em funcionamento (França e Polônia) e uma na Austrália para uso na produção de ferro-ligas (RAAD e MELO, 2014).

No Brasil, duas grandes empresas investiram na retorta contínua: A ArcelorMittal (antiga Belgo Mineira) operou uma planta na cidade de Turmalina (MG), de 1987 a 1993, e a *Vallourec Florestal* (antiga V&M Florestal) opera uma planta desde 2008 na cidade de Paraopeba (MG). Devido ao sigilo industrial, dados técnicos ou financeiros não puderam ser divulgados pela empresa. Atualmente, algumas barreiras impedem que essa tecnologia seja adotada em larga escala no Brasil, como segue (RAAD e MELO, 2014):

- O investimento inicial em uma planta de retorta contínua é superior aos fornos retangulares de alvenaria. Em vista das soluções tecnológicas em operação por longos anos, o aspecto econômico deverá ser resolvido por programas de financiamento com incentivos para o setor.
- Para obter um tempo de retorno de investimento competitivo de mercado, necessita de plantas de alta escala de produção para reduzir o custo operacional, principalmente o de mão de obra.
- Na análise do custo benefício, para viabilidade do investimento, os ganhos do rendimento gravimétrico deverão ser somados aos eventuais ganhos de consumo específico de carvão vegetal no alto forno, devido à melhor qualidade.
- Esse fator relevante ainda não foi evidenciado e estatisticamente validado, devido principalmente à complexidade da interação das diversas variáveis de processo na produção do ferro-gusa como: qualidade do minério, composição da carga metálica, perfis térmicos de redução, tipo e tamanho do alto forno, entre outras.
- Na Europa, os fornos são equipados com sistemas e cogeração de energia térmica,

produzindo energia elétrica (via caldeira e turbina a vapor) e pré-secando a madeira antes do enforamento na retorta. Entretanto, no Brasil, o custo de centrais termoelétricas de baixa potência (< 1 MW) ainda é muito elevado (da ordem de R\$5.000/kW), principalmente por apresentarem baixo rendimento elétrico (< 15%), o que aumenta a barreira de viabilidade econômica dessa tecnologia.

1.3.3 – Tecnologia de fornos container Rima (FCR)

A Empresa Rima Industrial S/A (MG), produtora de ferros silício e manganês, vem investindo, desde 2001, em pesquisa e desenvolvimento de fornos cilíndricos metálicos de carbonização, batizados de Fornos Container Rima (FCR).

A primeira versão do forno FCR teve início em 2001. Com capacidade de processamento de 5 m³ por fornada, apresentava produtividade baixa de 5 kg/h e rendimento gravimétrico (RG) variando entre 25 e 28%. A segunda versão operou em 2005 e triplicou a produtividade, alcançando 15 kg/h e melhorando o RG para a faixa de 28 a 31%. A terceira versão atingiu 30 kg/h e RG de 33%. Com estudos de otimização e modelamento matemático do processo, melhoria da engenharia do piloto, a quarta versão do FCR passou para a capacidade industrial de 40 m³ e uma produtividade de 700 kg/h e RG = 35%, Figura 3.

O forno FCR é constituído de cilindro metálico que, atualmente, carboniza cavacos de madeira. Pás carregadeiras abastecem um silo que conduz a carga para os cilindros, Figura 4. A carbonização ocorre por exaustão forçada.



Figura 3 – Forno container empresa Rima – FCR

Fonte: (Rima, 2014).

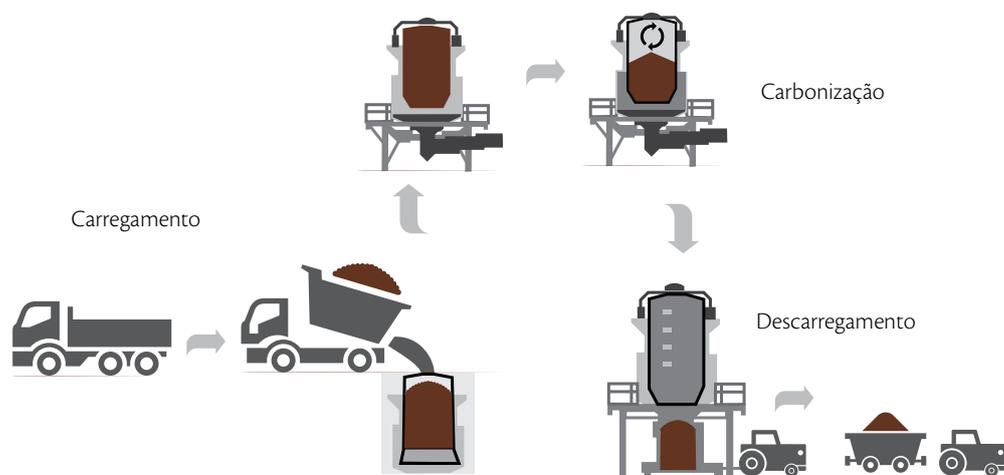


Figura 4 – Fluxo de Processo do Forno Rima – FCR

Fonte (RIMA, 2014).

A energia necessária para o processo é obtida da queima das fumaças no interior do forno. Como o processo ocorre com elevada taxa de aquecimento, há a predominância da gaseificação que queima com mais facilidade que a madeira sólida. O modelo atual com capacidade para 40 m³ de madeira apresenta alta produtividade, chegando a 700 kg/h. Como comparação, os maiores fornos de alvenaria atuais em operação produzem 200 kg/h.

A empresa Rima pretende expandir o projeto para um conjunto de seis fornos, conforme mostrado na Figura 4, visando a queimar as fumaças (gases e vapores) e gerar 10 MWh de energia elétrica. Para este empreendimento, a empresa estima um investimento de R\$55 milhões de reais e produção anual de 75 mil toneladas (atualmente a demanda da empresa é de 140 mil toneladas anuais). Com o ganho de escala, o custo operacional de produção, segundo estimativas fornecidas pela empresa, chegará a R\$353/t. Com a receita de venda da energia elétrica, terá 2,3 anos de retorno de investimento e um potencial de rentabilidade em torno de 30%, com o carvão de mercado sendo comercializado a R\$550/t FOB² (não incluso, eventual venda de crédito de carbono caso haja mercado).

² Da sigla em Inglês: *Free on Board* (FOB). No caso desta publicação, significa que o valor do frete de transporte do carvão vegetal, da unidade produtora até o destino final, é de responsabilidade do comprador.

1.3.4 – Fornos Bricarbras

Os fornos Bricarbras são constituídos de cilindros metálicos que se movem pela unidade de produção via pontes rolantes. Como fonte de energia, esse sistema utiliza para pré-secagem a queima de fumaças provenientes da carbonização em fornalhas de alvenaria e a queima parcial da madeira no interior dos fornos para a secagem final e carbonização. O carregamento da madeira é manual e a descarga do carvão é mecanizada.

Em síntese, nesse processo, os fornos cilíndricos metálicos são colocados sobre câmaras de combustão de madeira para reduzir as perdas térmicas. De forma sincronizada, a carbonização é conduzida em um módulo de oito cilindros e as fumaças são direcionadas para a fornalha de queima.

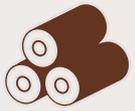
Equipados com controle de temperatura, alcançam rendimentos similares aos fornos de alvenaria também com sistemas de monitoramento (RG=33%). Após período de aperfeiçoamento da engenharia dos materiais construtivos, a empresa confirmou os bons resultados com as grelhas da área de combustão, antes um gargalo, e que já operam há mais de dois anos. As principais barreiras pendentes desta tecnologia são (RESENDE, 2014):

- o alto custo de investimento (R\$532/t.ano);
- a carga ainda manual da madeira;
- o valor unitário do custo operacional do carvão detalhado no estudo mostrou que ele ainda está superior aos valores obtidos para os fornos retangulares e devido ao maior investimento, deverá comercializar subprodutos como os condensáveis (alcatrão e pirolenhoso) para se tornar competitivo.

A empresa Bricarbras foi fundada em 2004 e, desde 2005, investe na fabricação de fornos para a produção de carvão vegetal. Ela chegou a ter duas unidades pilotos em escala industrial em sua fábrica, na cidade de Jaguariaíva (PR).

A primeira unidade comercial dos fornos Bricarbras foi instalada em 2006, em Minas Gerais. A unidade serviu de centro de pesquisa para o cliente e trabalhou desde a injeção de ar até implantação de seis sigmas na carbonização.

Em 2010 e 2011, foram unidades em São Paulo e Portugal, sendo a primeira para uso siderúrgico e a segunda para carvão vegetal para churrasco. A unidade siderúrgica apresentou deformação de materiais, porém, a unidade de Portugal opera sem problemas relevantes.



A terceira unidade está em operação desde 05 de março de 2012, no interior de São Paulo, possui as últimas tecnologias implantadas no equipamento de carbonização e opera sem deformação de material e com RG na ordem de 30%.



Figura 5 – Sistema de carregamento de madeira do forno Bricarbras

Fonte: (RAAD e MELO, 2014a).



Figura 6 – Sistema de carbonização e resfriamento do forno Bricarbras

Fonte: (RAAD, 2014a).



Figura 7 – Sistema de descarga do carvão vegetal do forno Bricarbras

Fonte: (RAAD e MELO, 2014a).

1.3.4 - Tecnologia *Drying, Pyrolysis, Cooling* (DPC)

A tecnologia de carbonização de madeira denominada DPC vem sendo desenvolvida ao longo dos últimos 15 anos e operou em larga escala em unidade de produção na Siderúrgica Ibérica, em fazendas situadas no Estado do Pará. Segundo a empresa *DPC Thermal Processing*, detentora dessa tecnologia, devido à crise econômica de 2008, houve redução drástica da produção do ferro-gusa, com conseqüente fechamento dessa unidade.

- O processo DPC consiste em fornos retangulares metálicos equipados com uma ou duas caçambas em estrutura de chapa de aço carbono (capacidade em torno de 24 metros cúbicos de madeira por caçamba), que recebem gases obtidos da queima das fumaças da carbonização da madeira através de queimador projetado especificamente para essa tecnologia.
- A produção do carvão vegetal ocorre em três estágios distintos: primeiro ocorre a torrefação da madeira, quando a umidade inicial é reduzida para níveis abaixo de 10% e seus componentes são parcialmente volatilizados (decomposição de aproximadamente 7% da massa seca original). Após o término da secagem, ocorre a pirólise e, por fim, o resfriamento total do carvão, permitindo a abertura do forno.
- Como essa tecnologia também utiliza como fonte de energia os gases provenientes da pirólise da madeira, ela permite alcançar altos índices de rendimento gravimétrico e um carvão de qualidade química bem mais homogênea que os processos em fornos de alvenaria e combustão parcial interna.



Como barreiras para implantação dessa tecnologia no Brasil tem-se (RAAD e MELO, 2014 e DPC, 2014):

- Falta de uma planta operando em larga escala ou mesmo em uma escala mínima que possa oferecer um custo benefício competitivo com o mercado atual de produção de carvão. Segundo informado pela empresa DPC, o valor atual do investimento para uma unidade básica de oito fornos, com capacidade produtiva de 4.800 toneladas de carvão vegetal por ano, está em torno de R\$1,8 milhões, ou R\$375/t de carvão ano. Com ganho de escala em uma planta de 12 fornos com dupla caçamba, o que eleva para 12mil toneladas por ano, este valor ficará em torno de quatro milhões, ou próximo de R\$ 330/t;
- Com valor de investimento menor que os fornos convencionais de alvenaria de grande porte, equipados com sistema de queima de gases (R\$450/t.cv), o sistema DPC também apresenta custos operacionais menores que, somados ao melhor rendimento gravimétrico, tornam a tecnologia mais competitiva. Entretanto, o DPC perde no quesito de consolidação tecnológica no mercado, onde o forno retangular vem operando há mais de 20 anos;
- Com isso, a empresa não tem conseguido fechar parcerias com a indústria siderúrgica que possibilitem validar esses benefícios e consequentemente viabilizar o projeto do ponto de vista técnico-econômico. A principal justificativa relatada é a insegurança por parte da indústria quanto à implantação de um projeto ainda no estágio de desenvolvimento.
- Desde 2011, uma unidade DPC de pequena escala vem operando na empresa Ecogrill, situada na cidade de Mauá da Serra, Estado do Paraná, produzindo carvão para uso doméstico (churrasco). O conjunto é composto atualmente por quatro fornos abastecidos por queimador de fumaças que secam a madeira com umidade em torno de 40% para 5%, carbonizando e resfriando em seguida em ciclos que variam entre 72 e 90 horas, dependendo das características da madeira. A empresa estuda a possibilidade de expandir a unidade para oito fornos, conforme projeto original.



Figura 8 – Processo de carbonização da madeira

Fonte: (DPC, 2014).



Figura 9 – Processo de carbonização da madeira

Fonte: (DPC, 2014).

1.3.5 - Tecnologia Ondatec (fornos de carbonização por micro-ondas)

A tecnologia de carbonização de madeira denominada Ondatec vem sendo desenvolvida ao longo dos últimos dez anos e, de forma sintética, consiste em (RAAD e MELO, 2014):

- Um forno horizontal metálico, equipado com esteira rolante e que utiliza micro-ondas como fonte de energia proveniente de sistema *magnetron* dispostos em diversas unidades distribuídas ao longo do topo do forno;
- A madeira entra na base do forno em forma de toletes de 20 cm e segue ao longo da extensão da esteira em ambiente estanque, sem presença de oxigênio, sempre recebendo energia dos *magnetrons* até que se transforme totalmente em carvão vegetal;
- Toda a unidade é controlada por sistema supervisor, equipada com programa de monitoramento e simulação do processo de carbonização. O algoritmo de programação define os procedimentos operacionais para a obtenção da qualidade química pré-estabelecida do produto final por meio da regulagem dinâmica da velocidade da esteira e potência recebida ao longo do ciclo.



Figura 10 – Processamento de madeira para forno Ondatec

Fonte: (Ondatec, 2014).



Figura 11 – Processo de carbonização da madeira via micro-ondas

Fonte: (Ondatec, 2014)



Figura 12 – Queima de gases do processo Ondatec

Fonte: (Ondatec, 2014).

Após desenvolver diversas versões do equipamento para validação da engenharia e do processo, chegou-se, em 2011, a um modelo industrial que funcionou durante os próximos dois anos produzindo carvão vegetal para uso doméstico na cidade de Tietê (SP).

A unidade em operação foi projetada para produzir de forma contínua, a uma taxa média de 1,5 m³/h (ou 350 kg/h) de carvão vegetal. Considerando-se uma disponibilidade mecânica da ordem de 80%, uma esteira/forno corresponde a uma capacidade de produção de 2,5 mil toneladas por ano. Equipada com secador de madeira, essa capacidade pode ser elevada para três mil toneladas por ano.

No final de 2013, o forno foi transferido novamente para a sua sede, na cidade de Uberaba (MG), para desenvolver, em parceria com a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e a Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop), um sistema inovador de geração de energia elétrica via queima das fumaças condensáveis e dos gases não condensáveis da carbonização em motores de combustão interna, devidamente adaptados para este fim. Como a planta de produção é dependente de energia elétrica para seu funcionamento, essa solução vem para viabilizar seu custo benefício a fim de ser implantada em escala industrial.

Como barreiras para implantação dessa tecnologia no Brasil, tem-se (RAAD e MELO, 2014):

- Falta de uma planta operando em larga escala ou mesmo em uma escala mínima que possa oferecer um custo benefício competitivo com o mercado atual de produção de carvão.
- A atual dependência de fonte de energia externa para suprir os *magnetrons* geradores de micro-ondas eleva o custo unitário da tonelada do carvão vegetal em quase R\$200,00 para custear a energia elétrica da rede.
- A falta de um mercado consumidor de bio-óleo proveniente da condensação das fumaças da pirólise (ácido pirolenhoso e alcatrão), que pudesse agregar valor a esse produto como combustível, tornando a planta competitiva em relação aos processos convencionais de produção de carvão em fornos de alvenaria.

1.4 – Análise qualitativa de tecnologias de produção de carvão vegetal

As tecnologias apresentadas para modernização da produção de carvão vegetal que poderão se enquadrar em módulos de capacidade, visando a atender a uma gama maior de produtores (dos pequenos aos grandes), foram avaliadas do ponto de vista qualitativo (RAAD, 2004). A metodologia de análise consistiu em apresentar as principais vantagens e desvantagens dos fornos em relação à produção do carvão vegetal e os seguintes quesitos: qualidade química e física exigida pelo setor



siderúrgico, a eficiência da conversão da madeira em carvão vegetal (rendimento gravimétrico) e a produtividade.

Tabela 13 – Análise qualitativa de fornos retangulares de alvenaria

Item de avaliação	Vantagens	Desvantagens
Homogeneidade do carvão vegetal (menor dispersão da qualidade química - carbono fixo)	Carboniza sob baixas taxas de aquecimento, que contribuem na homogeneidade das camadas médias e superiores do leito de madeira.	Apesar da homogeneidade nas regiões das camadas centrais e superiores do forno, a necessidade de queima parcial interna da madeira produz regiões das camadas inferiores com elevada heterogeneidade do carvão, além da presença de regiões de baixa energia produzindo o chamado atijo com baixo teor de carbono fixo.
Resistência mecânica (minimizar taxa de geração de finos)	A possibilidade de carbonizar as camadas médias e superiores do leito de madeira a baixas temperaturas (em torno de 300oC) devido às baixas taxas de aquecimento, contribui para melhorar a resistência, reduzindo o impacto da combustão interna da madeira usada para energia nas camadas inferiores.	Os altos gradientes de temperatura, causados pela combustão parcial interna, aliados à umidade da madeira, danificam suas fibras, impactando no aumento da friabilidade do carvão vegetal principalmente nas camadas inferiores do leito de madeira.
Rendimento gravimétrico líquido	Se for controlado com sistemas de monitoramento de temperatura podem apresentar rendimentos gravimétricos próximos a 35% (para qualidade química apropriada da madeira e também em função do carbono fixo <=75%)	Devido à utilização de queima parcial da madeira para energia e de perdas pela não estanqueidade dos fornos (trincas e vazamentos), não consegue atingir o rendimento gravimétrico líquido próximo ao ideal teórico.
Produtividade dos fornos	Com alto grau de mecanização tanto na carga quanto na descarga e também pela larga escala atual de construção com fornos que variam de 100 a 450 de madeira essa tecnologia reduziu de forma significativa a dependência de mão de obra, com melhoria expressiva das condições de trabalho em comparação com os fornos circulares hoje presentes em mais de 80% da produção nacional.	Se equipado com queimador de gases apresentará alta dependência de sincronismo para garantir o suprimento adequado de um mixe de fumaças (poder calorífico mínimo). Apresenta o ciclo mais longo entre as tecnologias estudadas (13 a 18 dias). Utiliza o próprio forno para resfriamento do carvão, o que corresponde em torno de 70% do ciclo.

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Tabela 14 – Análise qualitativa da tecnologia Bricarbras

Item	Vantagens	Desvantagens
Homogeneidade do carvão vegetal (menor dispersão da qualidade química - carbono fixo)	As dimensões volumétricas reduzidas do forno em comparação com os fornos retangulares favorecem maior homogeneidade nas camadas médias e superiores do leito de madeira.	Porém, da mesma forma que o forno Retangular, a necessidade de queima parcial interna do forno produz regiões nas camadas inferiores com elevada heterogeneidade do carvão vegetal.
Resistência mecânica (minimizar taxa de geração de finos)	As dimensões volumétricas reduzidas do forno em comparação com os fornos retangulares favorecem uma maior granulometria nas camadas médias e superiores.	Os altos gradientes de temperatura, causados pela combustão parcial interna, aliados à umidade da madeira, danificam suas fibras, impactando no aumento da friabilidade do carvão vegetal principalmente nas camadas inferiores.
Rendimento gravimétrico líquido	Se for controlado com sistemas de monitoramento de temperatura podem apresentar rendimentos gravimétricos próximos a 35% (para qualidade química apropriada da madeira e também em função do carbono fixo < =75%)	Devido à utilização de queima parcial da madeira para energia não consegue atingir o rendimento gravimétrico líquido próximo ao ideal teórico.
Produtividade dos fornos	O principal ganho de produtividade está associado com o resfriamento acelerado dos cilindros metálicos que são colocados em um local aberto (melhor troca térmica com o ambiente), fora do forno de alvenaria que isola o sistema durante a carbonização.	Por ser equipado com queimador de gases apresenta maior dependência de sincronismo para garantir o suprimento adequado de um mixe de fumaças (poder calorífico mínimo). A carga de madeira é manual, o que reduz a produtividade da mão de obra por tonelada de carvão produzido

Fonte (RAAD e MELO, 2014)

Tabela 15 – Análise qualitativa da tecnologia DPC

Item	Vantagens	Desvantagens
Homogeneidade do carvão vegetal (menor dispersão da qualidade química - carbono fixo)	Por apresentar um processo que separa as fases de secagem e carbonização, aliadas à passagem forçada de gases quentes pelo leito de madeira, assegura a homogeneidade do carvão produzido	A dependência do sincronismo para garantir um fornecimento estável dos gases para secagem e carbonização e assim garantir a homogeneidade do carvão vegetal pode exigir um consumo não programado de madeira no gaseificador.
Resistência mecânica (minimizar taxa de geração de finos)	Novamente, por apresentar um processo que separa as fases de secagem e carbonização, favorece melhor resistência mecânica das fibras da madeira a serem carbonizadas.	O fluxo forçado de gases durante o processo de carbonização contribui para reduzir a granulometria do carvão vegetal, apesar de não significar aumento da friabilidade.



Item	Vantagens	Desvantagens
Rendimento gravimétrico líquido	Utilizando como fonte de energia 100% de gases queimados, pode atingir rendimentos próximos aos valores ideais teóricos.	Problemas de sincronismo podem forçar o uso não programado de madeira no gaseificador, o que irá impactar no rendimento final.
Produtividade dos fornos	Apresenta alta produtividade principalmente pela separação de fases e da utilização dos fluxos de gases produzidos no processo para acelerar as reações carbonização e também a troca de calor no processo de resfriamento. Totalmente mecanizado, tem um moderno sistema de abastecimento de madeira e descarga de carvão.	Por ser totalmente dependente dos fluxos de gases nas diversas fases do processo, apresenta maior risco de impacto na sua disponibilidade mecânica devido às manutenções corretivas dos equipamentos móveis (ventiladores e exaustores)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Tabela 16 – Análise qualitativa da tecnologia Ondatec

Item	Vantagens	Desvantagens
Homogeneidade do carvão vegetal (menor dispersão da qualidade química - carbono fixo)	Por apresentar um processo que separa as fases de secagem e carbonização, aliados ao uso de energia elétrica transmitida por micro-ondas, favorece a obtenção de carvão vegetal de alta homogeneidade em todo o volume produzido	Apresenta forte dependência de equipamentos de alta qualidade e estabilidade como os magnetrons, responsáveis pelo fornecimento da energia em forma de micro-ondas. Queimas dos transformadores de forma excessiva e fornecimento de energias com alta variabilidade contribuem para formação de carvão vegetal de qualidade heterogênea
Resistência mecânica (minimizar taxa de geração de finos)	Novamente, por apresentar um processo que separa as fases de secagem e carbonização, favorece uma melhor resistência mecânica das fibras da madeira a ser carbonizada.	Idem item anterior
Rendimento gravimétrico líquido	Utilizando como fonte de energia 100% de gases queimados para a secagem e 100% energia elétrica para carbonização, pode atingir rendimentos próximos aos valores ideais teóricos.	Problemas de sincronismo durante o processo externo de secagem podem forçar o uso não programado de madeira no gaseificador do secador, o que irá impactar no rendimento final.
Produtividade dos fornos	Apresenta alta produtividade, pois além de ser um processo contínuo de produção, separa as fases de secagem, carbonização e resfriamento.	Apresenta forte dependência de equipamentos de alta qualidade e estabilidade como os magnetrons, responsáveis pelo fornecimento da energia em forma de micro-ondas, queimas dos transformadores de forma excessiva contribuem para a redução da produtividade.

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

1.5 – Custo da tecnologia para a produção do carvão vegetal

1.5.1 – Premissas técnicas do estudo econômico (RAAD e MELO, 2014a)

A – Quanto ao equipamento:

- Obter rendimento gravimétrico mínimo de 33% (madeira e carvão em base seca);
- Reduzir o máximo de emissões possíveis via queima dos gases de pirólise;
- Poder ser implantado em escala mínima de produção para atender grandes empresas e também pequenos produtores;
- A escala mínima de produção adotada foi de 1.000 toneladas de carvão por mês (12.000 toneladas por ano);
- Nota: Importante ressaltar que a escala de produção mínima dos equipamentos deverá ser adaptada à realidade de cada região, seja empresa ou fomento florestal, e como consequência deverão ser feitos os devidos ajustes dos fatores econômicos, como custos operacionais (ex: escala de mão de obra), valores e prazo de retorno dos investimentos.

B – Quanto à matéria prima (floresta plantada)

- A produtividade do clone de eucalipto foi de 210 m³ sólidos por hectare, com idade de sete anos e massa específica de 500 kg/m³;
- No estudo, foi utilizado como dado de entrada a mesma quantidade de madeira em toneladas base seca para cada tecnologia estudada. Assim, para RG ideal máximo de 40% e produção de carvão de 12.000 t/ano, tem-se 30.000 t/ano de madeira, correspondentes a 60.000 m³ de volume sólido;

C – Quanto ao processo de carbonização

- As tecnologias deverão estar equipadas com sistema de gerenciamento e controle do processo de carbonização, com medição de temperaturas de processo visando a maximizar a eficiência de conversão da madeira em carvão vegetal;
- As tecnologias deverão ser capazes de queimar o máximo possível dos gases da carbonização, visando a reduzir significativamente as emissões tipo Gases do Efeito Estufa (GEE) em relação aos processos convencionais hoje em operação no Brasil;
- O carvão vegetal produzido deverá atender às especificações de qualidade exigida pelos altos fornos, visando a otimizar o consumo específico no processo de produção do ferro-gusa. Com um carvão mais homogêneo e de qualidade estável, estima-se uma redução mínima de 5% na relação: tonelada de carvão por tonelada de ferro-gusa.



Obedecendo-se às premissas definidas no presente item, quatro tecnologias foram avaliadas no presente estudo:

- Forno retangular de alvenaria, equipado com queimador de fumaças. Considerou-se uma unidade mínima padrão com capacidade de processamento de 5.000 m³ de madeira sólida por ano;
- Forno Bricarbras, equipado com queimador de fumaças. Considerou-se uma unidade mínima padrão (forno circular metálico) com capacidade de processamento de 3.500 m³ de madeira sólida por ano;
- Forno da tecnologia DPC, considerou-se uma unidade mínima padrão (forno retangular metálico) com capacidade de processamento de 5.000 m³ de madeira sólida por ano;
- Forno da tecnologia Ondatec, considerou-se uma unidade padrão (esteira de 30 metros de comprimento por 1,3 de largura) com capacidade de processamento de 15.000 m³ de madeira sólida por ano;

1.5.2 – Composição dos custos unitários de produção do carvão vegetal por tecnologia (RAAD e MELO, 2014a)

- Para composição dos custos unitários do carvão vegetal desde o plantio até o transporte para a usina siderúrgica, foram utilizadas as seguintes premissas: Custos operacionais fornecidos pelas empresas detentoras das tecnologias de carbonização somados aos custos da composição da madeira (plantio, colheita, desdobra e transporte para a unidade de produção) disponibilizados no mercado;
- Taxa de retorno de investimento de 8% ao ano, conforme definido pelo programa de financiamento denominado Fundo Clima do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (ver item 1.6), sendo os valores dos investimentos fornecidos pelas empresas detentoras das tecnologias.

A – Composição de custos da matéria prima – Clone de eucalipto

Conforme definido no item 1.5.1 B – *Quanto à matéria prima (floresta plantada)*, para produção de 60.000 m³ de madeira por ano, serão necessários dois mil hectares de floresta, com plantio de clone de eucalipto. O custo unitário do metro cúbico sólido de madeira obtido no estudo foi de R\$30,00, Tabela 17:

Tabela 17 – Custos da madeira em pé

Cálculo de viabilidade de investimento				Floresta Plantada		Produção anual		Área plantada	
				60000	m³/ano	210	500	286	2.000
Floresta de Eucalipto: Clone				m³/ha	kg/m³	ha/ano	ha(7anos)		
Nome do projeto: MDIC									
Investimento total: KR\$									
				Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimento - parte viável									
Investimento - parte não viável									
Total				0	0	0	0	0	0
Operação padrão	Und	Qtde	R\$/unit	Primeira rotação					
Custo de madeira	R\$/m³	60.000	30						
para VPL= 0				0	0	0	0	0	0
	R\$/st		20						
Operação									
Aluguel da terra	ha	2.000	90	-26	-77	-103	-129	-154	
Plantio	ha	286	2.292	-655	-655	-655	-655	-655	-655
Manutenção ano 1	ha	286	636	-182	-182	-182	-182	-182	-182
Manutenção ano 2	ha	286	162	-46	-46	-46	-46	-46	-46
Manutenção ano 3	ha	286	162		-46	-46	-46	-46	-46
Manutenção ano 4	ha	286	162			-46	-46	-46	-46
Manutenção ano 5	ha	286	162				-46	-46	-46
Manutenção ano 6	ha	286	162						
Manutenção ano 7	ha	286	705						
Ganhos associados à tecnologia adotada			R\$	-655	-862	-934	-1.006	-1.078	-1.150
Fluxo de caixa antes das taxas			R\$	-655	-862	-934	-1.006	-1.078	-1.150
Fator de retorno anual - BNDES Fundo Clima (30)			8%	1.000	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681
Desconto de fluxo			R\$	-655	-798	-801	-799	-792	-783
Desconto de fluxo acumulado			R\$	-655	-1.453	-2.254	-3.053	-3.846	-4.628
Indicadores financeiros									
Valor presente líquido				0	(KR\$)	(tem que ser positivo)			
Payback				20,0	(anos)	(risco de investimento)			

Fonte: (RAAD e MELO, 2014^a, Mota, 2013, Vilela, 2014).



Data: 03/08/2014

Estudo do CGEE para o MDIC

	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Fluxo de desembolso e entradas da primeira rotação															
Fluxo de desembolso e entradas da segunda rotação															
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.632	1.632	1.632t	1.632	1.632	1.632	1.632	1.632
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-180
	-655	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	-182	0	0	0	0	0	0
	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	0	0	0	0	0
	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	0	0	0	0
	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	0	0	0
	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	0	0
	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	0
		-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201	-201
	-1.222	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	838	1.019	1.066	1.112	1.158	1.204	1.251
	-1.222	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	1.019	838	1.019	1.066	1.112	1.158	1.204	1.251
	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	0,429	0,397	0,368	0,340	0,315	0,292	0,270	0,250	0,232	0,215
	-770	595	551	510	472	437	405	375	285	321	311	300	290	279	268
	5.398	-4.804	-4.253	-3.744	-3.272	-2.835	-2.430	-2.055	-1.770	-1.449	-1.138	-837	-547	-268	0

B – Composição de custos da logística – Colheita e transporte

As tabelas 18 e 19 apresentam a composição de investimentos e custos operacionais para colheita, arraste, desdobra e transporte dos 60.000 m³ anuais de madeira, em um sistema 100% mecanizado.

Tabela 18 – Investimentos dos equipamentos de colheita e transporte

Parâmetro	Unidade	Processo			
		Colheita	Arraste	Desdobra	Transporte
Produção (volume de madeira processada)	m ³ /ano	60.000	60.000	60.000	60.000
Capacidade de produção	m ³ /turno/ ano	90.000	90.000	90.000	90.000
Conjunto de máquinas	unidades	1	1	1	1
Investimentos	Escavadeira	530			
	Feller direcional	190			
	Skidder		670		
	Escavadeira			803,5	
	Slasher			70	
	Cavalo mecânico				320
	Bitrem/ implementos				194,25
	Guindastes/ gruas				384
	Total		720	670	873,5

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

**Tabela 19** – Custos operacionais de colheita e transporte para produção de carvão vegetal

Parâmetro	Unidade	Processo				
		Colheita	Arraste	Desdobra	Transporte	
Fixos	MDO (salários+encargos+ alimentação e esportes)	R\$/ano	75.061	72.119	74.101	125.634
	Infraestrutura		38.323	36.821	37.833	64.144
Variáveis	Insumos (combustível +lubrificantes)	R\$/m ³	1,98	1,81	2,08	1,50
	Manutenção		0,60	0,56	0,73	0,23
Custo operacional	Total		268.032	251.208	280.692	296.726
		R\$/m ³	4,47	4,19	4,68	4,95

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

A Tabela 20 apresenta os resultados do custo unitário para a colheita e o transporte mecanizado do projeto em estudo igual a R\$ 27,60/m³:

Tabela 20 – Custo da logística de colheita e transporte da madeira para produção de carvão vegetal

Cálculo de viabilidade de investimento				Produção Logística	
Logística 100% Macanizada Nome do projeto: MDIC Investimento total: 3.162 KR\$				60000	m³/ano
				Ano 0	Ano 1
Investimento – parte ativável				-3.162	
Investimento – parte não ativável				0	
Total				-3.162	0
Mercado		Qtde	R\$/unit		
Custo de Colheita e Transporte VPL= 0		R\$/m³	60.000	27,60	1.656
Operação Custos					
- colheita		m³/ano	60.000	4,47	-268
- arraste		m³/ano	60.000	4,19	-251
- desdobra		m³/ano	60.000	4,68	-281
- transporte		m³/ano	60.000	4,95	-297
					0
		Total		18,28	
Ganhos adicionais					
0%				0	0
Ganhos associados à tecnologia adotada			R\$	0	560
Fluxo de Caixa antes das taxas			R\$	-3.162	560
Fator de Retorno anual do Investidor			12%	1,000	0,893
Desconto de Fluxo			R\$	-3.162	500
Desconto de Fluxo Acumulado			R\$	-3.162	-2.662
Indicadores financeiros					
Valor presente líquido				0	(KR\$) (tem que ser positivo)
Payback				10,0	(anos) (risco de investimento)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



Data: 13/05/2014

Estudo do CGEE para o MDIC

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656
	-268	-268	-268	-268	-268	-268	-268	-268	-268
	-251	-251	-251	-251	-251	-251	-251	-251	-251
	-281	-281	-281	-281	-281	-281	-281	-281	-281
	-297	-297	-297	-297	-297	-297	-297	-297	-297
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	560	560	560	560	560	560	560	560	560
	560	560	560	560	560	560	560	560	560
	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507	0,452	0,404	0,361	0,322
	446	398	356	318	284	253	226	202	180
	-2.216	-1.818	-1.462	-1.145	-861	-608	-382	-180	0

C – Composição de custos totais de carbonização da madeira

A Tabela 21 apresenta os quantitativos e a caracterização da matéria-prima e do carvão vegetal, de gases condensáveis e não condensáveis para as tecnologias em estudo:

Tabela 21 – Propriedade da madeira para produção de carvão vegetal

Parâmetro	Unidade	Tipo de forno			
		Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Massa de madeira (bs)	t/ano	30.000	30.000	30.000	30.000
Densidade madeira (bs)	kg/m ³	500	500	500	500
Volume de madeira	m ³	60.000	60.000	60.000	60.000
Poder calorífico	Madeira	5,6	5,6	5,6	5,6
	Condensáveis	6,0	6,0	6,0	6,0
	Gases NC	1,6	1,6	1,6	1,6
	Carvão vegetal	7,50	7,50	7,50	7,50
Energética térmica disponível por tonelada de madeira pirolisada	Condensáveis	2,58	2,58	2,58	2,58
	Gases NC	0,35	0,35	0,35	0,35
	Carvão vegetal	2,62	2,62	2,62	2,62
Energia para produção do carvão vegetal	Secagem	1,11	1,11	1,11	1,11
	Carbonização	0,48	0,48	0,48	0,48

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



A Tabela 22 apresenta a composição de mão de obra e os respectivos custos para as tecnologias avaliadas:

Tabela 22 – Custo da mão de obra da fase de carbonização das tecnologias estudadas

Função	Salário mensal	Encargos (65,2%)	Benefícios *	Custo unitário	Retangular		Bricarbrás		Forno DPC		Forno Ondatec	
					Qt	R\$	Qt	R\$	Qt	R\$	Qt	R\$
Gerência	5.000	3.256	780	9.039	1	9.039	1	9.039	1	9.039	1	9.039
Supervisor de operação	2.500	1.629	680	4.809	4	19.237	4	19.237	4	19.237	4	19.237
Operador de carbonização	1.500	978	640	3.118	4	12.470	4	12.470	4	12.470	4	12.470
Operador de carbonização	1.000	652	620	2.272	8	18.174	8	18.174	8	18.174	8	18.174
Operador de máquina	2.000	1.303	660	3.963	4	15.854	4	15.854	4	15.854	4	15.854
Técnico de manutenção	2.000	1.303	660	3.963	1	3.963	1	3.963	1	3.963	1	3.963

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

As tabelas 23 e 24 apresentam a composição de investimento e os custos operacionais para carbonização das respectivas tecnologias avaliadas.

As energias dispendidas tanto para os fornos retangulares quanto para os fornos da Bricarbrás são exclusivamente para uso do sistema queimador de gases e secador de madeira.

Utilizando-se os valores dos investimentos na fase de carbonização e os custos operacionais, tabelas 23 e 24, elaborou-se os respectivos fluxos de caixa das tecnologias apresentadas para obtenção do tempo de retorno de investimento e do valor presente líquido (VPL) da rentabilidade do empreendimento, tabelas 25 a 28.

Tabela 23 – Investimentos nos equipamentos da fase de carbonização

Parâmetro		Unidade	Tipo de forno			
			Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Capacidade produção		t/forno/ ano	875	600	1000	3000
Quantidade de fornos		unidades	12	18	12	4
Investimento	Forno	kR\$/forno	175	285	230	1500
	Infraestrutura	kR\$/UPC	100	300	300	300
	Queimador/ Secador		1.000	1.000	1.000	1.000
	Condensador		300	300	0	600
	Turbogerador		0	0	0	1.500
Rendimento gravimétrico	%		35%	35%	40%	40%
	Condensáveis		43%	43%	38%	38%
	Gases NC		22%	22%	22%	22%
Produção de carvão			10.500	10.500	12.000	12.000
Formação de condensáveis		t/ano	12.900	12.900	11.400	11.400
Formação de gases			6.600	6.600	6.600	6.600
Energia disponível para cogeração	Térmica	MWh/ano	62.409	51.223	63.375	60.980
	Elétrica		Não aplicável			15.245
Energia elétrica consumida pelo equipamento			900	900	1.800	1.200

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

**Tabela 24 – Custos operacionais da fase de carbonização**

Fase de produção	Unidade	Custo/unidade	Tipo de forno - valores em kR\$			
			Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Madeira		30,22	1.813	1.813	1.813	1.813
Colheita	R\$/m ³	20,14	1.208	1.208	1.208	1.208
Transporte		7,47	448	448	448	448
Carbonização	MDO	Custo fixo kR\$	874	1.092	765	765
	Manutenção	% investimento	105	198	122	282
	Energia	R\$250/MWh	225	225	450	60
	Insumo	5% custo fixo	60	76	67	55
	Overhead	8% custo fixo	96	121	107	89
Custo operacional - Opex		Total - kR\$	4.830	5.181	4.980	4.720
		R\$/t CV	460	493	415	393

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

A fim de se obter uma parametrização das tecnologias, de tal forma que pudessem ser comparadas entre si do ponto de vista de competitividade e risco de sucesso, utilizou-se as seguintes premissas:

- Valor de venda do carvão vegetal R\$550,00/t. FOB;
- Valor Presente Líquido (VPL) que proporcionasse uma rentabilidade de 15% do empreendimento (ou R\$82,50 por tonelada de carvão vegetal produzido) igualmente para todas as tecnologias. Esse valor é correspondente à somatória dos ganhos do projeto no período de avaliação igual a 10 anos, já descontados os valores dos investimentos e a remuneração dos juros do capital empregado;
- O *payback* ou tempo de retorno de investimento é obtido em função de cada investimento associado com os ganhos anuais do empreendimento. Seu resultado significa o tempo em que todo o capital empregado e a sua respectiva taxa de juros sejam remunerados integralmente para os investidores do negócio;
- O fator variável de simulação utilizado no estudo para a obtenção dessa igualdade de 15% de rentabilidade foi definido pela receita potencial de comercialização do subproduto da carbonização, o bio-óleo condensado – alcatrão vegetal e pirolenhoso. Os resultados são apresentados na Tabela 29.

D – Composição de custos totais de carbonização da madeira – Tecnologia fornos retangulares com queima de gases

Tabela 25 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos retangulares de alvenaria

Cálculo de viabilidade de investimento				Produção		
				10.500	t/ano	
Estudo MDIC / CGEE				Ano 0	Ano 1	
Investimento total: 3.500 KR\$						
Investimento – parte ativável				-3.500		
Investimento – parte não ativável					0	
Outros - Reconstrução Parcial de Fornos						
Total				-3.500	0	
Mercado		Qtde	R\$/unit			
Carvão Venda FOB	R\$/ton	10.500	550		5775	
Operação Custos						
- madeira em pé	m³	60.000	30		-1.813	
- colheita	m³	60.000	20		-1.208	
- transporte	m³	60.000	7		-448	
- carbonização	vb	1.360.276			-1.360	
Total OPEX			460			
Ganhos adicionais						
0% - venda bioóleo	t	1.481	435		644	
0,075 - crédito carbono	t	9.923	22,5		223	
Ganhos associados à tecnologia adotada				R\$	0	1.813
Fluxo de Caixa antes das taxas				R\$	-3.500	1.813
Juros BNDS - Fundo Clima				8%	1,000	0,926
Desconto de Fluxo				R\$	-3.500	1,678
Desconto de Fluxo Acumulado				R\$	-3.500	-1.822
Indicadores financeiros						
Valor presente líquido					8,663	(KR\$) (tem que ser positivo)
Payback					2,2	(anos) (risco de investimento)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



Data: 04/08/2015

Fornos de alvenaria retangulares

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				0						
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	
	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	
	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	
	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	
	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	-1.360	
	644	644	644	644	644	644	644	644	644	
	223	223	223	223	223	223	223	223	223	
	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	
	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	1.813	
	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	
	1.554	1.439	1.332	1.234	1.142	1.058	979	907	840	
	-268	1.171	2.503	3.737	4.879	5.937	6.916	7.823	8.663	
	VPL Unitário					R\$/t.cv	Rentabilidade			
						82,50	% 15%			

E – Composição de custos totais da carbonização da madeira – Tecnologia fornos Bricarbras

Tabela 26 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos Bricarbras

Cálculo de viabilidade de investimento				Produção	
Estudo MDIC / CGEE				10500	t/ano
Investimento total: 6.588 KR\$				Ano 0	Ano 1
Investimento – parte ativável				-6.588	
Investimento – parte não ativável					0
Outros - Reconstrução Parcial de Fornos					
Total				-6.588	0
Mercado		Qtde	R\$/unit		
Carvão Venda FOB	R\$/ton	10.500	550		5775
Operação Custos					
- madeira em pé	m ³	60.000	30		-1.813
- colheita	m ³	60.000	20		-1.208
- transporte	m ³	60.000	7		-448
- carbonização	vb	1.711.376			-1.711
Total OPEX			493		
Ganhos adicionais					
0% - venda bioóleo	t	3.345	435		1.455
0,075 - crédito carbono	t	9.923	22,5		223
Ganhos associados à tecnologia adotada				R\$	0
Fluxo de Caixa antes das taxas				R\$	-6.588
Juros BNDS - Fundo Clima				8%	1,000
Desconto de Fluxo				R\$	-6.588
Desconto de Fluxo Acumulado				R\$	-6.588
Indicadores financeiros					
Valor presente líquido				8,660	(KR\$) (tem que ser positivo)
Payback				3,4	(anos) (risco de investimento)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014a).



Data: 18/08/2014

Fornos Bricarbrás

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				0						
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	5.775	
	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	
	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	
	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	
	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	-1.711	
	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	1.455	
	223	223	223	223	223	223	223	223	223	
	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	
	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	2.272	
	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	
	1.948	1.804	1.670	1.547	1.432	1.326	1.228	1.137	1.053	
	-2.535	-731	939	2.486	3.918	5.243	6.471	7.608	8.660	
	VPL Unitário				R\$/t.cv 82,50			Rentabilidade % 15%		

F – Composição de custos totais da carbonização da madeira – Tecnologia fornos DPC

Tabela 27 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos DPC

Cálculo de viabilidade de investimento				Produção	
Estudo MDIC / CGEE				12.000	t/ano
Investimento total: 4.060 KR\$				Ano 0	Ano 1
Investimento – parte ativável				-4.060	
Investimento – parte não ativável					0
Outros - Reconstrução Parcial de Fornos					
Total				-4.060	0
Mercado		Qtde	R\$/unit		
Carvão Venda FOB	R\$/ton	12.000	550		6.600
Operação Custos					
- madeira em pé	m ³	60.000	30		-1.813
- colheita	m ³	60.000	20		-1.208
- transporte	m ³	60.000	7		-448
- carbonização	vb	1.510.293			-1.510
Total OPEX			493		
Ganhos adicionais					
0% '- venda bioóleo	t	276	435		120
0,075 - crédito carbono	t	15.120	22,5		340
Ganhos associados à tecnologia adotada				R\$	0
Fluxo de Caixa antes das taxas				R\$	-4.060
Juros BNDS - Fundo Clima				8%	1,000
Desconto de Fluxo				R\$	1,926
Desconto de Fluxo Acumulado				R\$	-2,134
Indicadores financeiros					
Valor presente líquido					9,900 (KR\$) (tem que ser positivo)
Payback					2,2 (anos) (risco de investimento)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



Data: 18/08/2014

Fornos DPC

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	
	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	
	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	
	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	
	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	-1.510	
	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
	340	340	340	340	340	340	340	340	340	
	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	
	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080	
	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	
	1.784	1.651	1.529	1.416	1.311	1.214	1.124	1.041	964	
	-350	1.301	2.831	4.246	5.557	6.771	7.895	8.936	9.900	
	VPL Unitário					R\$/t.cv 82,50	Rentabilidade % 15%			

G – Composição de custos totais da carbonização da madeira – Tecnologia fornos Ondatec

Tabela 28 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos Ondatec

Cálculo de viabilidade de investimento				Produção		
Estudo MDIC / CGEE				12.000	t/ano	
Investimento total: 9.400 KR\$				Ano 0	Ano 1	
Investimento – parte ativável				-9.400		
Investimento – parte não ativável					0	
Outros - Reconstrução Parcial de Fornos						
Total				-9.400	0	
Mercado		Qtde	R\$/unit			
Carvão Venda FOB	R\$/ton	12.000	550		6.600	
Operação Custos						
- madeira em pé	m ³	60.000	30		-1.813	
- colheita	m ³	60.000	20		-1.208	
- transporte	m ³	60.000	7		-448	
- carbonização	vb	1.250.619			-1.251	
Total OPEX			393			
Ganhos adicionais						
0% '- venda bioóleo	t	1.509	435		656	
0,075 - crédito carbono	t	15.120	22,5		340	
Ganhos associados à tecnologia adotada				R\$	0	2.876
Fluxo de Caixa antes das taxas				R\$	-9.400	2.876
Juros BNDS - Fundo Clima				8%	1,000	0,926
Desconto de Fluxo				R\$	-9.400	2.663
Desconto de Fluxo Acumulado				R\$	-9.400	-6.737
Indicadores financeiros						
Valor presente líquido					9,900	(KR\$) (tem que ser positivo)
Payback					3,9	(anos) (risco de investimento)

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



Data: 18/08/2014

Fornos Ondatec

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600	
	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	-1.813	
	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	-1.208	
	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	-448	
	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	-1.251	
	656	656	656	656	656	656	656	656	656	
	340	340	340	340	340	340	340	340	340	
	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	
	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	2.876	
	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463	
	2.466	2.283	2.114	1.958	1.813	1.678	1.554	1.439	1.332	
	-4.271	-1.988	127	2.084	3.897	5.575	7.129	8.568	9.900	
	VPL Unitário					R\$/t.cv 82,50	Rentabilidade % 15%			

H – Resumo dos custos unitários das tecnologias avaliadas

Resumo dos custos de produção de carvão vegetal para as tecnologias estudadas

Fase de produção	Valor unitário	Unidade	Tipo de forno			
			Retangular	Bircarbrás	DPC	Ondatec
Receita carvão	R\$ 550,00	Milhões R\$/ano	5,775	5,775	6,600	6,600
Receita bio-óleo	R\$ 435,00		0,644	1,455	0,120	0,656
Receita crédito carbono	R\$ 22,50		0,223	0,223	0,340	0,340
Faturamento anual	Total		6,642	7,453	7,060	7,596
VPL	Período= 10 anos	Milhões R\$/ano	8,66	8,66	8,66	8,66
Valor presente líquido	Ganho unitário	R\$/t.cv	82,5	82,5	82,5	82,5
Rentabilidade		%	15%	15%	15%	15%
Tempo retorno investimento		anos	2,19	3,44	2,21	3,94
Recuperação de condensáveis		t/ano	1.481	3.345	276	1509
% em massa de recuperação de condensáveis em relação à massa de madeira carbonizada		%	4,9%	11,2%	0,9%	5,0%

Fonte (RAAD e MELO, 2014)

A Tabela 29 apresenta os resultados de viabilidade econômica entre as tecnologias avaliadas. Ressaltando mais uma vez que o presente estudo tem por objetivo subsidiar as decisões de modernização do setor de produção de carvão vegetal com fundamentações técnico-econômicas fornecidas pelas empresas detentoras das respectivas patentes, fabricantes e/ou usuários, sendo necessária e obrigatória a validação dos investimentos e parâmetros em um eventual plano de negócios para fins de aprovação de implantação de qualquer que seja a tecnologia adotada. Assim, os seguintes pontos são relevantes:



- Como a parametrização da análise utilizou a necessidade de venda de subproduto da carbonização (condensáveis) como variável de simulação para que todas as tecnologias tivessem uma rentabilidade de 15% do negócio, os parâmetros de comparação entre as tecnologias são destacados na Tabela 30:

Tabela 29 – Resumo dos resultados da comparação de viabilidade econômica das tecnologias

Item de comparação	Retangular	Bricarbrás	DPC	Ondatec
Valor presente líquido (maior é melhor)	2º	2º	1º	1º
Tempo de retorno de investimentos (menor é melhor)	1º	3º	2º	4º
Necessidade de venda de bio-óleo (menor, menos riscos)	2º	4º	1º	3º

Fonte (RAAD e MELO, 2014)

Como pode ser observado na Tabela 30:

- As tecnologias DPC e Ondatec apresentaram um VPL cerca de 14% superior às tecnologias de forno retangular e Bricarbras.
- O tempo de retorno do investimento dos Fornos Retangulares e da DPC corresponde a quase que a metade do tempo da Ondatec, o que os favorece por indicar menor risco nesse quesito;
- Quanto à necessidade de venda de bio-óleo, a Bricarbras se mostrou de maior risco e a DPC de menor risco, sendo este quesito de grande relevância no estudo, uma vez que o mercado de bio-óleo ainda é atualmente considerado um potencial a ser desenvolvido.

De qualquer forma, a pode-se concluir que não foi apresentado fator relevante que apontasse para a inviabilidade econômica das tecnologias estudadas, o que abre espaço para a aplicação dessas inovações a fim de avançarem em novos patamares de industrialização como segue:

- O forno de alvenaria retangular é uma tecnologia consolidada há muitos anos. O que ele precisa agora, do ponto de vista de inovação, é partir para a validação técnica dos sistemas de queima das fumaças, com melhor aproveitamento energético do sistema via secadores de madeira.

- A Bricarbras é uma tecnologia que ainda precisa otimizar melhor os seus custos para aplicação na produção de carvão vegetal para ferro-gusa (no caso de ferro-ligas, consegue ter maior viabilidade devido às exigências de qualidades específicas do biorredutor). Na comparação feita, apresenta uma significativa necessidade de venda de bio-óleo para se tornar competitiva em relação às demais. De qualquer forma, a empresa já comercializou algumas unidades, inclusive para fora do País, sendo depois dos fornos de alvenaria a empresa que mais tem unidades instaladas em operação, e vem trabalhando para aperfeiçoar e otimizar seu projeto construtivo de engenharia.
- A DPC foi a tecnologia que mostrou menor dependência de venda de bio-óleo, o que, do ponto de vista econômico, reduz no cenário atual o risco de viabilidade de sua implantação.
- A Ondatec também se colocou em lugar de destaque pelo bom VPL em relação aos fornos retangulares, tendo os dois a mesma dependência da venda de bio-óleo. O risco econômico de maior relevância dessa tecnologia continua sendo sua dependência pela geração de energia para sua autossustentabilidade. O projeto de pesquisa em andamento com a Cemig será fundamental para reduzir essas incertezas.

1.6 – Financiamentos disponíveis no mercado para modernização da produção do carvão vegetal

Vários são os programas e as linhas de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) direcionados à atividade florestal, como: Programa para a Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura – Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC); Apoio a Investimentos em Meio Ambiente (BNDES Meio Ambiente); Apoio ao Reflorestamento, Recuperação e Uso Sustentável das Florestas (BNDES Florestal); Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf Investimento); e Programa Fundo Clima – Carvão Vegetal (Fundo Clima).

Além dos programas do BNDES, também estão disponíveis os programas de financiamento dos fundos constitucionais, voltados à promoção do desenvolvimento econômico-social e à redução das desigualdades regionais, direcionados à atividade florestal: Programa de Financiamento à Conservação e Controle do Meio Ambiente – do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE Verde); Programa de Preservação da Natureza – do Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO Pronatureza); Apoio a Empreendimentos Sustentáveis e à Recuperação de Áreas Degradadas (FNO Biodiversidade) e o Apoio ao Desenvolvimento Sustentável

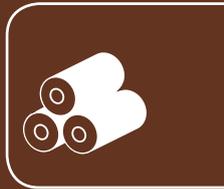


da Amazônia (FNO Amazônia Sustentável), ambos Fundo Constitucional de Financiamento do Norte. De todos os programas disponíveis, o Fundo Clima é considerado o mais específico para os projetos de modernização da produção do carvão vegetal.

Tabela 30 – Programa de financiamento Fundo Clima (BNDES)

Objetivo geral/finalidade	Apoiar investimentos voltados para a melhoria de eficiência e sustentabilidade da produção de carvão vegetal
Itens financiáveis	Sistemas de carvoejamento, abrangendo de fornos com rendimentos gravimétrico acima de 35%
	Sistemas auxiliares de melhoria de eficiência energética
	Sistemas de recuperação, tratamento e aproveitamento
Beneficiários	Empresas com sede e administração no país
Valor de financiamento	Acima de R\$ 10 milhões
Taxa de juros	5% a.a Remuneração básicas do BNDES: 0,9% a.a Taxa de Risco: até 4% a.a Taxa de intermediação financeira: 0,5% a.a Micro, pequenas e médias empresas estão isentas desta taxa. Remuneração da instituição financeira credenciada: até 3% a.a, sendo negociada entre a instituição e o cliente.
Prazo de financiamento e carência	Até 15 anos, incluído período de carência, que terminará em até seis meses após a data de entrada em operação comercial do empreendimento, não ultrapassando cinco anos.
Órgão financiador	BNDES ou instituição financeira credenciada

Fonte: (BNDES).



Capítulo 2



Capítulo 2

Obstáculos à implantação de metas voluntárias de redução de emissões do “Plano Siderurgia”.

2.1 – Síntese do Plano de Siderurgia

O plano setorial de redução de emissões da siderurgia foi fundamentado em discussões técnicas e econômicas sobre o aumento da competitividade da indústria siderúrgica de forma sustentável, realizadas em fóruns patrocinados pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) a partir de 2008 e que tiveram como consequência a formação da base, entre outras ações impactantes da redução de emissões de CO₂, para a aprovação da lei 12.187, de 29 de novembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Os principais objetivos desse plano setorial são: promover a redução das emissões de CO₂; evitar o desmatamento de floresta nativa e incrementar a competitividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto da economia de baixo carbono. Três cenários foram projetados para balizamento quantitativo do alcance das metas traçadas:

A Tabela 32 e Gráfico 7 retratam esses cenários projetados pelo estudo: cenário de base (BAU), sem intervenção política, baseado na extrapolação linear das tendências históricas de crescimento de emissões; cenário de intervenção 1, com ações para substituir madeira de floresta nativa por floresta plantada; cenário de intervenção 2, com ações para controle das emissões de metano no processo de carbonização; e cenário de intervenção 3, que combina as ações para expansão das florestas plantadas com ações para melhoria do processo de carbonização.

Tabela 32 – Cenários para redução de emissões de CO₂ na siderurgia a carvão vegetal (MtCO₂ eq)

Cenário de Base BAU	Cenário de intervenção 1	Cenário de intervenção 2	Cenário de intervenção 3
15,97	13,32	5,60	2,94

Fonte: (MMA, 2014).

O cenário de intervenção 3 foi eleito como cenário alvo e, combinado com as restrições impostas pelos requisitos de Mensuração, Reportabilidade e Verificabilidade (MRV) das reduções de emissões, adotou-se como meta estimativa mais conservadora o intervalo de oito a 10 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes, consignada no Acordo de Copenhague.

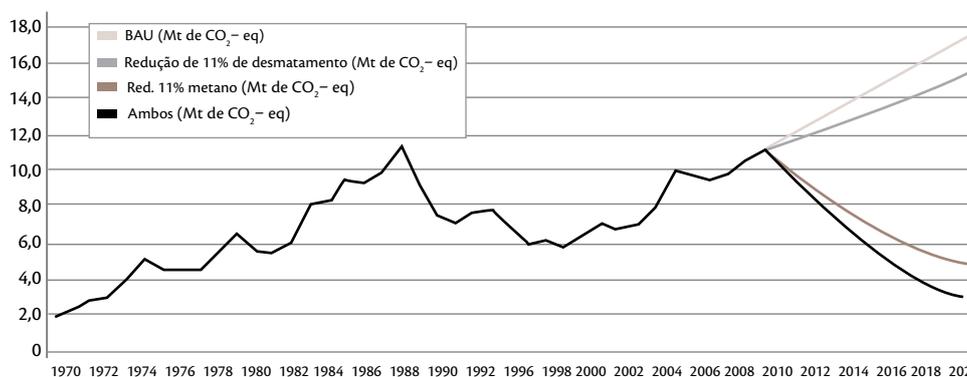


Gráfico 7 – Projeção de emissões – Plano Setorial de Redução de Emissões na Siderurgia

Fonte: (MMA, 2014).

2.1.1 - Objetivo 1 – Promover a redução das emissões de CO₂

Estudos das emissões do processo de carbonização da madeira demonstraram o potencial de redução das emissões de metano no caso do aumento de rendimento gravimétrico na conversão de madeira em carvão vegetal, (RAAD e MELO, 2014). Utilizando-se a equação advinda da metodologia aprovada para créditos de carbono MDL AM0041 (UNFCCC, 2006), equação (1), pode-se pontuar (BRITO, 2014):

$$\text{Emissão CH}_4 = 217,12 - 534,76 \times \text{RG} \text{ (kg CH}_4 \text{ /t.carvão)}$$



- Ao passar do **RG de 26%**, como linha média de base nacional, para um **RG de 35%**, via controles mais eficientes e modernos do processo de produção do carvão vegetal nas tecnologias atuais de fornos de alvenaria, e pela possibilidade de implantação de novas tecnologias de produção destacadas no presente estudo, obtém-se uma mudança no patamar de emissões de metano de **78 kg CH₄ / t. carvão** para **30 kg CH₄ / t. carvão**, um delta de redução de **48 kg CH₄ / t. carvão**.

Considerando-se uma produção anual de 6,9 milhões de toneladas, a redução potencial seria de cerca de **sete milhões de CO₂ equivalentes**. O controle de processo via medição de temperaturas destacado no presente estudo como mitigador das emissões, de fornos pequenos (tipo rabo quente) até fornos retangulares de grande porte, pode ser o caminho mais eficiente, no momento, para a busca dessa meta neste curto período de projeção para 2020. Entende-se que o governo pode ser um ator importante nesse desafio junto com as empresas que já se destacam no mercado como *benchmark* dessas tecnologias.

- No caso da substituição dos sistemas convencionais de produção de carvão vegetal por novas tecnologias que permitam a queima dos gases, o potencial passará a ser de **11,3 milhões de CO₂ equivalentes**. Porém, a obtenção dessa meta de redução de emissões em larga escala encontra barreiras em curto prazo, uma vez que as tecnologias disponíveis ainda estão em processo de desenvolvimento.

2.1.2 - Objetivo 2 – Evitar desmatamento de mata nativa

- Conforme demonstrado no item 1.2.3, mantendo-se a linha de base de rendimento gravimétrico no patamar de 26% para os produtores independentes e de 30% para as siderúrgicas integradas, sem melhoria do incremento de produtividade florestal e menores consumos nos altos fornos, em função da melhor qualidade do carvão vegetal, estima-se a necessidade, para substituição de mata nativa, em 2020, de um adicional de **106 mil hectares** de cultivo anual de florestas plantadas para atender à produção anual de **11 milhões** de toneladas de ferro-gusa.
- Entretanto, na avaliação do **Objetivo 1**, mostrou-se que boa parte das metas de redução pode ser alcançada em larga escala, se houver uma mudança de patamar do rendimento gravimétrico da carbonização, que, dentro do estado da arte do procedimento operacional de carbonização atual, vem sendo alcançado por várias empresas do setor.
- Essa conjuntura, em si, converte para o cenário de intervenção 3, com ganhos combinados entre os cenários de intervenção 1 e 2. Com isso, as mensurações globais das médias de rendimento gravimétrico, devidamente padronizadas por sistemas de medição auditáveis, via Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ou academias, universidades,

poderão subsidiar o planejamento estratégico quantitativo de implantação de novos estoques florestais.

- Em adição, para maior assertividade de planos estratégicos futuros de aumento de estoque florestal, e seguindo o exemplo do IABr, por meio do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal lançado em 2012, que já informa a evolução dos plantios de seus associados, a participação do setor via Indústria Brasileira de Árvores (IBA), Associação Mineira de Silvicultura (AMS) e Associação Sul-Mato-Grossense de Produtores e Consumidores de Florestas Plantadas (Reflore) deverá, em comum acordo com seus associados, promover relatórios estatísticos que permitam vislumbrar os investimentos de longo prazo, prevendo o aumento do consumo de carvão vegetal do setor, gerando maior estabilidade e sustentabilidade na busca pela redução da dependência de floresta nativa. Observação: não estão inclusas aqui as florestas oriundas de nativa legal, como cavacos de madeira de serrarias e do setor moveleiro, bem como as áreas de desmatamento para atividades regulamentadas do agronegócio.

2.1.3 - Objetivo 3 – Incrementar a competitividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto da economia de baixo carbono

O carvão vegetal representa em média e dependendo da região em que foi produzido de 40% a 50% do custo de produção do ferro-gusa (BRITO, 2014, MENDO, 2009). Dessa forma, redução no custo do carvão associada a uma melhor qualidade como termorredutor tem forte impacto na competitividade dos produtos siderúrgicos brasileiros.

No presente estudo, foi evidenciado o quanto a melhoria do Rendimento Gravimétrico (RG) na conversão da madeira em carvão vegetal impacta na melhoria do meio ambiente, em termos de redução das emissões, com foco para o gás metano. Como não poderia ser diferente, esse aumento do RG tem relação inquestionável na redução do custo unitário do carvão vegetal em toda a cadeia de produção, conforme exemplo demonstrado a seguir (BRITO, 2014):

- Supondo um custo padrão do carvão vegetal igual a R\$ 500/t. para uma planta de produção de carvão vegetal processando mil toneladas de madeira por mês (b.s.), ao custo unitário de R\$ 100,00/t. da floresta até a carga do forno e um RG = 26%, simulou-se o resultado do custo quando o RG = 35%, e tendo um custo operacional adicional na fase de carbonização, com melhores processos de transformação, em torno de 20% do custo fixo de produção (fase de carbonização da madeira). Obteve-se, no exemplo, uma redução em torno de 22% do custo total final, Tabela 33:



Tabela 33 – Impacto do rendimento gravimétrico (RG) nos custos unitários do carvão vegetal

Item	Unidade	Valores	
		Base	Ideal
Madeira carbonizada (b.s.)	t.mad/mês	1000	1000
Carvão produzido	t.cv/mês	260	350
Rendimento gravimétrico	%	26%	35%
Custo da madeira dentro do forno	R\$	100.000	100.000
Custo da fase carbonização	R\$	30.000	36.000
Custo total	R\$	130.000	136.000
Custo do carvão	R\$/t.cv	500	389
Ganho na redução do custo do carvão	%	22,3%	

Fonte (BRITO, 2014).

Para o exemplo de uma siderúrgica produzindo 100 mil toneladas por ano, o impacto dessa redução devido ao melhor RG no custo final do ferro-gusa seria de 10% e, incluindo os ganhos de qualidade do carvão vegetal com uma redução estimada em 10% do consumo específico (t.cv/t.gusa), a redução chegaria a 13%, Tabela 34.

Tabela 34 – Ganhos do rendimento gravimétrico e qualidade

Item	Unidade	Base	Ganhos	
			RG	RG+Qualidade
Produção de ferro-gusa	t.gusa/ano	100.000	100.000	100.000
Consumo específico de carvão (c/perdas)	kg cv/t.gusa	740	740	670
Carvão total consumido (c/perdas)	t./ano	74.000	74.000	67.000
Custo de carvão	R\$/t.	500	389	389
Custo de Frete até a usina	R\$/t.	80	80	80
Custo de produção do gusa fora o carvão	Milhões R\$/ano	42,9	42,9	42,9
<i>Custo do carvão vegetal no gusa</i>	Milhões R\$/ano	42,9	34,7	31,4
	%	50%	45%	42%
Venda de finos (20% do cv a R\$150/t.)	Milhões R\$/ano	-2,22	-2,22	-2,01
Custo total do ferro-gusa	Milhões R\$/ano	83,3	75,4	72,3
Ganho na redução do custo do gusa	%	Base	10%	13%

Fonte (BRITO, 2014).

2.2 – Redução das emissões de GEE – Obstáculos

2.2.1 – Ausência de conscientização do impacto negativo na eficiência de carbonização devido à falta de controle do processo

Para entender o impacto do rendimento da conversão da madeira em carvão vegetal RG nas emissões das fumaças, bem como na composição formada pelos gases condensáveis e não condensáveis (com destaque para o gás metano), é preciso compreender a relação de decomposição térmica que



ocorre durante a pirólise no interior da madeira e os distintos comportamentos cinéticos de seus principais componentes: hemicelulose, celulose e lignina, Gráfico 8.

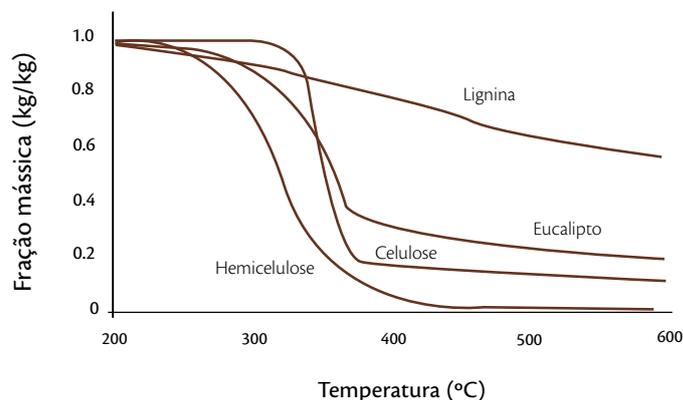


Gráfico 8 – Decomposição térmica dos componentes da madeira

Fonte: (RAAD, 2004).

No Gráfico 8, temos, na ordenada, a fração mássica normalizada de cada componente da madeira (kg de massa residual da pirólise/kg de massa inicial do componente) e, na abscissa, a temperatura de carbonização do processo. As principais considerações a serem destacadas são:

- a) Quanto maior a temperatura de carbonização, menor o resíduo sólido (carvão vegetal) do respectivo componente (RAAD, 2004)
 - A hemicelulose, com baixo teor de carbono elementar ($\approx 37\%$), apresenta a menor resistência à decomposição térmica, gerando resíduos sólidos desprezíveis a altas temperaturas (acima de 350°C), praticamente se transformando totalmente em fumaças;
 - A celulose, com médio teor de carbono elementar ($\approx 44\%$), apresenta maior resistência à decomposição térmica do que a hemicelulose, gerando resíduos sólidos em torno de 15% a 20% de sua massa inicial a altas temperaturas;
 - A lignina, com alto teor de carbono elementar ($\approx 67\%$), apresenta alta resistência à decomposição térmica e gera resíduos sólidos em torno de 60% a 70% de sua massa inicial;
- b) A fração mássica das fumaças condensáveis e não condensáveis é distinta para cada componente da madeira
 - A hemicelulose, com teor de hidrogênio similar aos da celulose e lignina ($\approx 6\%$), mas com

baixo teor de carbono elementar ($\approx 37\%$) e alto teor de oxigênio ($\approx 57\%$), decompõe-se termicamente com maior predominância na formação de fumaças condensáveis, principalmente o líquido pirolenhoso, apresentando normalmente 80% de água na sua composição (BRIDGWATER, 1991);

- A celulose, com médio teor tanto de carbono elementar ($\approx 44\%$) como de oxigênio ($\approx 49\%$), apresenta na sua decomposição térmica relações mássicas e fumaças condensáveis e não condensáveis muito dependentes da temperatura máxima de carbonização, associadas a sua taxa de aquecimento, onde ocorre maior predominância para as fumaças condensáveis para taxas elevadas (pirólise rápida em retortas metálicas) e o inverso para temperaturas e taxas de aquecimento moderadas (BRIDGWATER, 1991, ROCHA, 2002);
- A lignina, com alto teor de carbono elementar ($\approx 67\%$) e baixo teor de oxigênio ($\approx 32\%$) quando comparada com as holoceluloses, é o componente da madeira que mais contribui para a formação do gás metano e o que menos produz fumaças condensáveis (COSTA, 2012).

c) As características físicas da madeira impactam no processo de carbonização

- Outro fator importante que deve ser levado em consideração nos processos de carbonização, além da composição química da madeira, é a sua característica física, mais especificamente o seu diâmetro. Esse parâmetro tem significativa influência no tempo de residência da pirólise quando se busca um carvão vegetal com composição química homogênea. Sob uma mesma condição térmica de pirólise, o tempo de processo aumenta de forma exponencial, quanto maior for o diâmetro enforado, Gráfico 9.

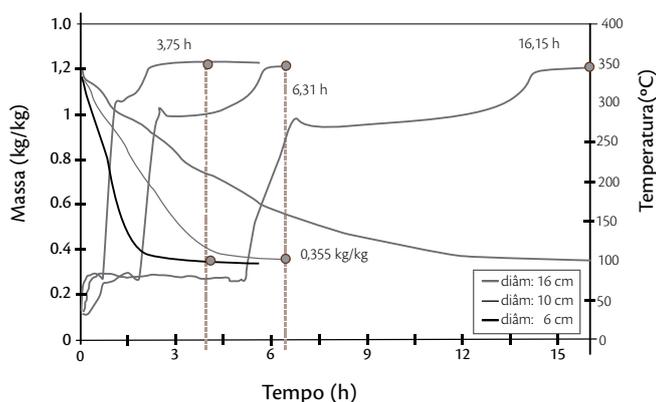


Gráfico 9 – Influência do diâmetro da madeira na carbonização

Fonte: (RAAD, 2004).



- O grande problema é que, na maioria das empresas que produzem carvão em fornos de alvenaria, o ciclo é normalmente mantido o mesmo, independente do diâmetro, o que implica aumentar a temperatura de carbonização para acelerar o processo e compensar a influência dos diâmetros maiores, com conseqüente redução de rendimento gravimétrico e maior emissão de fumaças (RAAD, 2004).

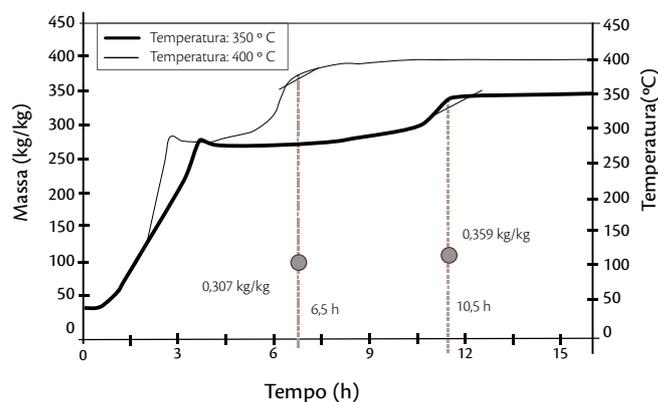


Gráfico 10 – Influência da temperatura no RG do processo de carbonização

Fonte: (RAAD, 2004).

- O Gráfico 10 apresenta a comparação entre um processo de carbonização a 350°C e a 400°C (as curvas do gráfico representam a temperatura no centro da peça de madeira sob pirólise, onde o carvão vegetal estará na qualidade desejada quando esta atingir valores próximos da temperatura externa à peça). Pelo resultado dos rendimentos gravimétricos obtidos, $RG = 30,7\% \times 35,9\%$, a diferença a maior de 50°C no processo representou uma perda em torno de 15% de produção, com a mesma quantidade de madeira (RAAD, 2004).

2.2.2 – Ausência de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal com foco na melhoria de eficiência

Conforme informações disponibilizadas por diversas empresas produtoras de carvão vegetal em referência à mão de obra utilizada na fase de carbonização da madeira (a partir da madeira colocada no pátio das unidades de produção), a produtividade para fornos circulares pequenos situa-se em torno de 180 toneladas de carvão vegetal produzidos por homem por ano (180 t.cv/H.a.), válidos para os produtores independentes de gusa, e em torno de 540 t.cv/H.a. para produção em fornos retangulares de grandes dimensões (de 250 a 400 metros cúbicos de capacidade nominal), já bastante difundido nas siderúrgicas integradas.

A fim de dimensionar o contingente de mão de obra a ser treinado nos conceitos teóricos e práticos do processo de carbonização, visando a aumentar o RG, adotou-se as seguintes premissas:

- Produção anual de **6,9 milhões de toneladas de carvão vegetal** nos últimos 10 anos (RAAD e MELO, 2014);
- Participação das produtoras de carvão vegetal: **30%** siderúrgicas integradas e **70%** das produtoras independentes (valores estimados), (BRITO, 2014);
- Produtividades da mão de obra: **540 t.cv/H.a** das siderúrgicas integradas e **180 t.cv/H.a** das produtoras independentes (RESENDE, 2014);
- Equipe de liderança: 20% da mão de obra **efetivamente treinada** e que deverá ser a multiplicadora do conhecimento em suas respectivas unidades de produção (gerência e supervisores de operação) (RAAD e MELO, 2014).

Tabela 35 – Projeção da mão de obra de liderança na produção de carvão vegetal

Descrição	Unidade	Quantidade
Produção total de carvão vegetal	M ^t ./ano	6,9
Produção de carvão vegetal siderúrgicas integradas	M ^t ./ano	2,0
Produção de carvão vegetal produtores independentes	M ^t ./ano	4,9
Mão de obra siderúrgicas integradas	Efetivo	3700
Mão de obra produtores independentes	Efetivo	27200
Equipe de liderança siderúrgicas integradas	Liderança	740
Equipe de Liderança Produtores Independentes	Liderança	5440

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Pela simulação apresentada na Tabela 35, um programa de treinamento sobre as melhores práticas do processo de carbonização envolveria cerca de 6 mil pessoas, nas diversas regiões produtoras de carvão vegetal no Brasil.

2.2.3 – Gargalos tecnológicos para validação da queima de fumaças (vapores e gases de GEE) produzidas na carbonização

Do ponto de vista técnico, a busca para reduzir os impactos das fumaças da carbonização na indústria brasileira vem de longa data.



Entre 1980 e 1990, a ArcelorMittal (antes Belgo Mineira) implantou e operou uma retorta de carbonização contínua (já desativada), onde todos os fumos da pirólise eram queimados (inclusive todo metano), parte da energia de combustão era utilizada na secagem e carbonização da madeira e parte para a geração de energia elétrica em sistemas de caldeira e turbina a vapor. Da mesma forma, a Vallourec (antes V&M Florestal) implantou, a partir de 2008, em uma de suas unidades de produção, uma retorta com conceito similar, até hoje em operação industrial.

Se, do ponto de vista técnico, o problema das emissões é equacionado nas retortas contínuas, o seu alto investimento ainda é uma barreira para a maioria dos produtores de carvão vegetal no Brasil.

Uma solução desenvolvida pela Vallourec para a redução das emissões foi a da recuperação das fumaças condensáveis, por meio de equipamentos periféricos acoplados aos fornos de alvenaria e posterior queima do alcatrão: ou em termoeletricas (Parceira Vallourec/Cemig) ou em queimadores próprios utilizados para suprir energia de secagem da madeira, parceria Vallourec e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT-SP), (RAAD e MELO, 2014).

Para entender as dificuldades tecnológicas da queima das fumaças provenientes de fornos retangulares que vêm impedindo a aplicação em larga escala dessa solução de mitigação das emissões, foi feita a seguinte análise do comportamento da pirólise e dos gases condensáveis e não condensáveis emitidos:

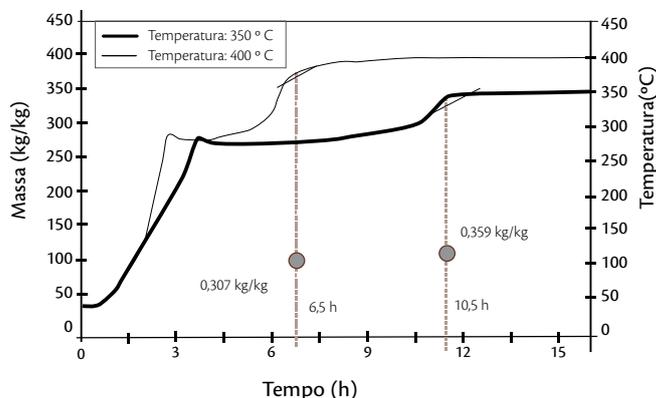


Gráfico 11 – Emissão de gases não condensáveis durante a pirólise de madeira

(RAAD e MELO, 2014b; COSTA, 2012).

- O processo de carbonização em fornos de alvenaria ocorre por varredura do leito de madeira, iniciando-se nas extremidades (porta e fundo), sendo conduzido por entradas controladas de ar de combustão para fornecimento de energia necessária à secagem e pirólise até seu término na região da chaminé.
- Como a secagem ocorre de forma predominante nas primeiras 20 horas do ciclo, há muita formação de vapor de água e baixa produção de gases combustíveis.
- Após a secagem, ocorre um aumento gradativo da temperatura do leito. Ao passar dos 200°C, tem início o processo de decomposição térmica dos componentes da madeira (hemicelulose, celulose e lignina) e, até 280°C, ocorre a formação de fumaças condensáveis como o pirolenhoso.

Após 280°C, os gases não condensáveis e combustíveis como o CO, CH₄ e H₂ vão se intensificando e aumentando o poder calorífico das fumaças de exaustão do forno, permitindo sua queima. Porém, após as 50 horas, o fluxo de fumaça começa a cair, em função da finalização da pirólise, com consequente redução do seu poder calorífico e da capacidade de queima.

A solução em prática hoje por algumas empresas para o problema do empobrecimento das fumaças da carbonização é a de adicionar biomassa nas câmaras de combustão dos queimadores e manter o poder calorífico estável.

Daí surge a necessidade de se acoplar ao queimador um conjunto mínimo de fornos, trabalhando de forma sincronizada, a fim de suprir o queimador de uma mistura de combustível gasoso apto para uma queima contínua, sem a necessidade de adição extra de biomassa sólida nas câmaras de combustão.

Outro gargalo importante é o problema do excesso de ar que entra nos fornos de alvenaria, que ao proporcionar a queima interna de parte das fumaças, pode reduzir significativamente o poder calorífico das fumaças de exaustão do forno, impossibilitando a queima dos mesmos em queimadores externos, (RESENDE, 2014).

Resolvido o problema tecnológico de queima das fumaças (gases e vapores), surge outro gargalo de processo: quase todos os parques industriais de produção de carvão vegetal existentes no Brasil são construídos com os fornos dispostos de forma paralela, formando várias fileiras em linha reta. Assim, ao se instalar um queimador central, para atender, por exemplo, a um conjunto de 12 fornos, as tubulações de condução dos gases terão distâncias bem distintas uma das outras, o que dificulta o sincronismo exigido para uma queima estável das fumaças.



2.3 – Desmatamento de floresta nativa – Obstáculos

Elevado déficit de floresta plantada para os próximos anos até 2020

Conforme descrito no Capítulo 1, item 1.2.3, o déficit de floresta plantada para carvão vegetal registrado em 2014 pode chegar, em 2020, a 106 mil hectares, para uma projeção mais conservadora de produção de ferro-gusa (11 milhões de toneladas). Isso significa ter que depender do uso de 40% de florestas nativas para suprir o carvão vegetal total necessário como termorreductor.

Pelas projeções feitas no item 1.2.3, a principal força motriz para reduzir o uso de floresta nativa advém da combinação de melhor eficiência da conversão da madeira em carvão vegetal com melhor qualidade siderúrgica obtida pela implementação de controles, em larga escala, na condução da carbonização (RESENDE, 2014; RAAD e MELO, 2014; ASSIS, 2014).

Estima-se que 80% do processo de produção de carvão vegetal no Brasil ainda é feito de forma empírica. Com isso, existe um significativo obstáculo à mudança de comportamento devido à cultura operacional enraizada.

Entende-se que uma mudança só poderá ocorrer com treinamentos intensivos aliados à inserção de novas metodologias de trabalho e, de forma imprescindível, com apoio irrestrito dos empresários do setor.

Outro ponto importante e fundamental é com relação à produtividade das florestas plantadas dos produtores independentes. Na projeção descrita no item 1.2.3, considerou-se uma melhoria gradual do patamar de sete anos atrás igual a 25 m³/ha.ano para os 30 m³/ha.ano já consolidados em 40% dos plantios florestais do Brasil (inclui madeira para todos os fins).

Com o risco do aumento da dependência de floresta nativa em caso de retomada do crescimento da produção do ferro-gusa para 2020, torna-se prioridade para empresas e governo definir estratégias para recuperar o crescimento sustentável dos plantios florestais. E, na pauta, devem estar presentes as principais barreiras desse avanço, como segue (ABRAF, 2013; ASSIS, 2014):

- Licenciamento ambiental burocrático: no Brasil, 120 dias é o prazo médio para obtenção de licença ambiental de um empreendimento florestal. Em Minas Gerais, maior parque siderúrgico do País, a renovação de uma licença leva dois anos ou mais para aprovação, o que acaba se tornando um forte desestímulo para o setor.

- Ampliação de parque produtivo também é um processo demorado que ocasiona atrasos nos planos estratégicos de produção das empresas. O processo demanda novas documentações e/ou novos processos como Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (Rima) e autorizações de diferentes órgãos que não se comunicam: Superintendências Regionais de Regularização Ambiental (Supram), vinculadas à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) de Minas Gerais; Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), autarquia do Ministério da Cultura; Institutos Estaduais de Florestas (IEF); escritórios regionais do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), vinculados ao Ministério de Minas e Energia (MME); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), vinculado ao MMA, etc.
- Tributação complexa e excessiva: atualmente, existem 88 tributos federais, estaduais e municipais, sendo que mais de 40 normas são publicadas diariamente pela Receita Federal;
- Falta de melhor esclarecimento por parte da sociedade e dos tomadores de decisão (Ministério Público, governos, ministérios, secretariados, etc.) sobre o que é a silvicultura e toda a cadeia de produção do carvão vegetal.

2.4 – Competividade brasileira da indústria de ferro e aço no contexto das economias de baixo carbono – Obstáculos

Ausência de novas tecnologias operando em regime de escala mínima para validar operações mais eficientes

O parque industrial brasileiro de produção de carvão vegetal em fornos circulares de alvenaria, com sistemas de carga de madeira e descarga de carvão totalmente com operação manual, vem sendo substituído, ao longo dos últimos 20 anos, principalmente por iniciativa das siderúrgicas integradas, por fornos retangulares de alvenaria, onde 100% dessas atividades são mecanizadas (RAAD e MELO, 2014).

Entretanto, nos últimos anos, com a pressão da falta de mão de obra para estas atividades manuais, o ritmo de substituição aumentou, inclusive nas produtoras independentes de gusa, que em algumas situações têm até deixado de produzir o ferro-gusa, em função da falta do termorreduzidor disponível no mercado.



Nesse contexto, além dos esforços para aperfeiçoar os fornos de alvenaria de grande porte com melhores controles de processo, tanto as grandes empresas como os pequenos produtores têm buscado no mercado alternativas de sistemas mais modernos de produção de carvão que possam substituir os tradicionais fornos de alvenaria. Porém, os empresários esbarram sempre nas seguintes questões:

- Onde e a quanto tempo a nova tecnologia está operando?
- Qual a vida útil dos equipamentos?
- Qual o real investimento e principalmente com qual índice de sucesso os ganhos prometidos pelas tecnologias são fundamentados?

Tradicionalmente, no mercado de produção de carvão vegetal no Brasil, poucas empresas investem em novas tecnologias de forma pioneira, o que faz com que os detentores desses processos tenham que se auto financiar durante muitos anos, até que obtenham uma unidade industrial validada, do ponto de vista técnico-econômico, para oferecer ao setor.

Conforme descrito no item 1.3, fora as retortas contínuas que operam há mais de 50 anos, mas não se enquadram no perfil de produção da maioria dos produtores de carvão vegetal no Brasil, e o processo da Rima que também se enquadra em maiores escalas de produção (acima de 30.000 toneladas ano), os seguintes processos foram destacados (RESENDE, 2014; RIBEIRO e FILHO, 1993):

- **Bricarbras** – seu desenvolvimento operacional teve início em 1999, em parceria entre a Universidade Federal de Viçosa e Vallourec (na época Mannesmann Florestal). Em 15 anos, o projeto evoluiu gradativamente, até ser adquirido pela empresa Bricarbras, que chegou a comercializar algumas unidades que operaram com sucesso em determinados seguimentos do setor siderúrgico como o ferro-ligas. Porém, como obstáculo para sua expansão, o projeto apresentou inviabilidade econômica em alguns produtores de carvão vegetal e, em outros, não está em plena operação devido ainda a gargalos tecnológicos, principalmente em relação à durabilidade dos materiais construtivos. Entretanto, a empresa continua investindo em engenharia para solucionar esses pontos, além de estar focada em obter modelos que possam ser viáveis para os pequenos produtores.
- **DPC** – também teve seu desenvolvimento iniciado em 1999 por pesquisadores e empresários do setor siderúrgico que, ao longo destes mais de 15 anos, vêm investindo na otimização da engenharia e do processo, chegando atualmente a uma unidade modelo, com custo de investimento definido e resultados operacionais padronizados. Já chegou a operar uma grande unidade de produção no Estado do Pará, em parceria com a empresa Ibérica, porém, devido à crise econômica do setor siderúrgico, teve esse projeto desativado. O principal obstáculo para sua expansão é a ausência atual de uma unidade

de porte industrial operando no setor florestal e que possa atestar sua competitividade em relação aos processos atuais.

- **Ondatec** – teve início em 2003, por pesquisadores da Unidade de Tecnologia e Negócios (Unitecne), incubadoras de empresas da Universidade de Uberaba (Uniube), em Minas Gerais. Também foi ganhando versões tecnológicas e aprimoramento de engenharia, até alcançar o estágio atual com um protótipo industrial bem definido, padrão operacional e resultados de performance validados por empresas do setor siderúrgico. Enfrenta, como principais obstáculos para a comercialização industrial, a dependência de energia elétrica externa, que, ao impactar o custo do carvão, obriga a empresa a incluir a comercialização também dos condensáveis, como o alcatrão vegetal, para obter competitividade. Gargalos que poderão ser solucionados em caso de sucesso do seu projeto de P&D atual – realizado em parceria com a Universidade Federal de Ouro Preto (Ufop) e a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) –, de desenvolvimento de moto-geradores de energia elétrica, que utilizam a queima dos gases da carbonização da madeira.



Capítulo 3



Capítulo 3

Iniciativas para promoção da sustentabilidade da produção de ferro-gusa a carvão vegetal

3.1 – Redução das emissões de GEE via melhoria da eficiência - RG

Nas diversas notas técnicas que balizaram e fundamentaram o presente estudo, ficou demonstrado, de forma unânime, que uma das formas mais efetivas atualmente de redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), no parque industrial de produção de carvão vegetal no Brasil, seria através da melhoria da eficiência da carbonização, entendida por rendimento gravimétrico do processo (RG). E, de forma complementar, e não menos importante, é evidenciada a necessidade de aprimoramentos na questão da queima das fumaças da carbonização, em razão de ainda não ter sido possível a implantação, em larga escala, dessa melhoria pela indústria, apesar de longos anos de pesquisa e desenvolvimento relacionados ao tema.

3.1.1 – Metodologias de gerenciamento e controle do processo de carbonização da madeira para aumento da eficiência

Atualmente, a busca por melhores rendimentos gravimétricos na produção de carvão vegetal, por meio de controle do processo de carbonização nos fornos de alvenaria, via medições de temperatura e perfis térmicos, já faz parte dos procedimentos operacionais de várias empresas com produção própria de carvão vegetal no Brasil.

Além das grandes siderúrgicas, como Vallourec, ArcelorMittal, Aperam e Gerdau, que iniciaram a prática de monitoramento do processo há mais de uma década, diversas outras produtoras independentes de gusa, que contam hoje com grandes maciços de floresta plantada própria (o

chamado gusa de mercado), já estão em processo de implantação de novas tecnologias de gerenciamento de processos, com destaque para: Plantar, Metalsider, Minasligas, Vetorial, Queiroz Galvão e Ferroeste (RAAD e MELO, 2014b).

Apesar do grande avanço na conscientização de um importante número de empresas líderes no setor de florestas plantadas, sobre melhores práticas de produção de carvão vegetal, estima-se que hoje a carbonização monitorada por sistemas eficientes de controle de processo não passe dos 20% da demanda de consumo nacional do termorreductor (RAAD e MELO, 2014b).

Voltando-se à média dos últimos dez anos do consumo de 6,9 milhões de toneladas por ano do termorreductor, tem-se ainda 5,5 milhões de toneladas sendo produzidas anualmente de forma empírica, sem condições de oferecer a qualidade ideal exigida para melhorar a performance dos altos fornos e sendo ainda responsável pela emissão de iguais 5,5 milhões de toneladas de CO₂ eq (equivalência em dióxido de carbono), equivalente a 21 vezes a quantidade de emissão do gás metano, conforme relação descrita no item 2.1.1.

Diversas são as formas de controle de processo existentes hoje em operação no mercado e todas têm como parâmetro principal o controle da temperatura de carbonização, podendo ser citadas:

- Sistemas mais simples que utilizam pirômetros óticos para medir a radiação emitida pelas paredes dos fornos para obtenção de modelos padronizados de controle;
- Sistemas com termopares fixos que medem a temperatura em pontos estratégicos dos fornos e que também são associados a um padrão operacional pré-estabelecido;
- Sistemas que coletam a temperatura do interior do forno via tubos de inspeção também utilizando o pirômetro ótico, porém com capacidade de armazenamento de dados, que são posteriormente tratados em programa específico associado a um modelamento matemático do processo de secagem e carbonização;
- Sistemas dotados de termopares e transmissão de dados, via ondas de rádio e/ou fibra ótica, a um comando supervisão central, que, por sua vez, faz o tratamento das informações do processo em programa específico.

Considerando-se a versatilidade das opções de medição, que podem atender desde os pequenos produtores até as grandes empresas, o que irá conduzir à decisão de qual metodologia adotar será necessariamente o investimento associado aos resultados efetivos da melhoria do rendimento gravimétrico e a condição de infraestrutura disponível na unidade de produção.



Geralmente, o principal gargalo encontrado é a disponibilidade de energia elétrica. Nesse quesito, existe em operação, em mais de uma empresa do setor, o sistema de placas solares e, na necessidade de maiores potências, o uso de geradores a diesel. Portanto, com relação ao obstáculo da infraestrutura, praticamente todos os meios citados podem ser viabilizados na produção do carvão vegetal para qualquer tipo de forno de alvenaria e em qualquer região do Brasil.

3.1.2 – Desenvolvimento atual de queimadores de fumaças da carbonização da madeira

Grandes siderúrgicas integradas e também empresas independentes que produzem carvão vegetal intensificaram, na última década, esforços para viabilizar a redução das emissões da carbonização pela queima das fumaças via fornalhas de alvenaria conectadas por canais provenientes de fornos convencionais, sejam circulares de pequeno porte ou retangulares de grande porte.

Para se ter uma fornalha que elimine as fumaças (gases e vapores) de forma eficiente, a queima deverá ser a mais contínua possível, para evitar que paradas prolongadas possam esfriar as câmaras de combustão e, como consequência, interromper o processo de queima.

Assim, torna-se indispensável que a fornalha receba simultaneamente e de forma sincronizada as fumaças de um grupo de fornos, ou seja, a mistura final deverá ter fumaças de baixo (início do processo), médio (avanço da carbonização) e alto poder calorífico (topo de emissão de fumaças de pirólise). Com isso, passa a oferecer um poder calorífico estável e que viabilize a queima com o mínimo impacto da necessidade de uso de biomassa adicional como combustível auxiliar.

Outro ponto de atenção para esse modelo tecnológico, conforme citado no item 2.2.3, é o fato de a maioria dos parques industriais em operação contar com os fornos dispostos de forma paralela, sejam retangulares ou circulares. Esse tipo de configuração faz com que os canais que levam ao sistema de queima tenham comprimentos bem distintos, dificultando o controle do sincronismo e, com isso, diminuindo a eficiência do queimador.

3.1.3 – Desenvolvimento de secadores de madeira

Vencidas as barreiras de queima estável das fumaças da carbonização da madeira, surge um novo desafio, que é a secagem da madeira utilizando-se a energia dos gases vindos do queimador central.

Num processo convencional, cerca de 9% a 12% da madeira total enforcada é utilizada como combustível no interior dos fornos para suprir energia ao processo de secagem e carbonização. Desse total, somente a secagem irá demandar em torno de 7% a 10%, ou até mais, dependendo da umidade da madeira enforcada. Esse consumo irá refletir diretamente no rendimento gravimétrico global da produção do carvão vegetal.

Assim, da mesma forma que a queima dos gases, a secagem da madeira vem sendo estudada e testada em projetos de pesquisa e desenvolvimento conduzidos por empresas siderúrgicas de Minas Gerais, que formam o denominado Grupo G6 (formado por ArcelorMittal, Aperam, Vallourec, Gerdau, Plantar e Votorantim), em parceria com instituições de ensino superior, como Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG), Universidade Federal de Lavras (Ufla/MG), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Centro Universitário da Sete Lagoas (Unifem/UMG).

Os projetos incluem desde secadores externos com suprimento de energia pela queima dos gases oriundos da carbonização, até processos de secagem dentro dos próprios fornos de alvenaria, utilizando-se da energia das fumaças advindas dos outros fornos em estágios mais avançados de carbonização.

Apesar de avançarem no estudo de várias soluções técnicas disponíveis no mercado, as empresas vêm esbarrando nos altos custos de implantação dessas tecnologias, correspondendo a elevado tempo de retorno de investimento (cerca de cinco anos). Esse ponto relevante impede que se aplique, em curto prazo, esses equipamentos em larga escala, demandando primeiro testes em unidades piloto.

3.2 – Medidas para evitar desmatamento de floresta nativa e modernizar a produção de carvão vegetal

Uso de recursos das linhas de financiamento disponíveis para o setor

Entre os diversos programas de apoio a investimento de baixo custo relacionados com a produção de carvão vegetal, destaca-se o Fundo Clima do BNDES, voltado principalmente para apoiar investimentos focados na melhoria da eficiência e sustentabilidade da produção de carvão vegetal. Duas modalidades desse fundo atendem diretamente aos objetivos do Plano Setorial de Redução



de Emissões da Siderurgia: Fundo Clima – Carvão Vegetal e Fundo Clima Projetos Inovadores. Mais recentemente, também foi disponibilizado o Inova Sustentabilidade. Juntas, essas iniciativas poderão ajudar na aceleração da aprovação e implantação das tecnologias modernas de carbonização.

De 2011 a 2013 o Fundo Clima apoiou projetos estratégicos e experimentais, como, por exemplo, construção e instalação de laboratórios de monitoramento de emissão de gases de efeito estufa e de desastres naturais; aquisição e instalação de equipamentos para monitorar desmatamentos; e projetos experimentais na área de combate à desertificação, beneficiando mais de três mil famílias com assistência técnica e capacitação em manejo florestal, na recuperação de áreas degradadas e proteção de ecossistemas.

Entretanto, com relação ao foco principal do Plano Siderurgia, somente um projeto foi contratado no BNDES: a empresa Vallourec Florestal assinou, em de junho de 2013, projeto para aumentar sua capacidade de produção, de 250 mil para 440 mil toneladas de carvão vegetal por ano, com foco exatamente em como transformar a madeira em carvão vegetal com melhor eficiência RG.

Com relação às pequenas e médias empresas, predominou um desconhecimento por parte de seus respectivos corpos técnicos sobre o uso destes financiamentos na modernização de parque industrial, motivo que pode vir a explicar parcialmente a ausência de contratos firmados com o BNDES nessas modalidades disponíveis nos últimos anos. E outro ponto em questão é que, mesmo tendo o conhecimento, essas empresas encontram dificuldade de enquadramento no perfil do investimento mínimo, em casos como o Fundo Clima, que oferece a linha para projetos acima de R\$10 milhões. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de inclusão de um estudo no desmembramento do Plano Siderurgia para reavaliar e solucionar estes obstáculos.

3.3 – Competividade brasileira da indústria de ferro e aço a carvão vegetal – Iniciativas do Estado da sociedade civil

Dentre as iniciativas do setor para a modernização da siderurgia a carvão vegetal no Brasil, uma importante ação da sociedade civil ocorreu em 2012, com a implementação do Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, por iniciativa das principais indústrias siderúrgicas brasileiras a carvão vegetal e coque, a saber: Aperam South America; ArcelorMittal; Gerdau; Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras); Thyssenkrupp CSA – Siderúrgica do Atlântico; Usiminas, Vallourec & Sumitomo

Tubos do Brasil (VSB); V&M do Brasil [atual Vallourec Tubos do Brasil, Villares Metals, Votorantim Siderurgia, Vale, as quais fazem parte do Instituto Aço Brasil (IABr)] (BRITO, 2014).

A proposta procura contemplar a busca de respostas para os principais e crônicos problemas do segmento, levando em conta vários aspectos, com destaque para os seguintes fatos: a qualidade de vida das pessoas, no presente e no futuro, depende do esforço de todos em prol da sustentabilidade; o carvão é um recurso renovável, utilizado como insumo no processo metalúrgico e isso constitui diferencial ambiental do Brasil; e a cadeia produtiva do aço apoia as políticas e os programas públicos voltados à silvicultura sustentável.

Dentre tais preceitos, a indústria do aço, que opera em conformidade legal e dentro de princípios éticos na produção, aquisição e no consumo do carvão vegetal, veio a público para lançar o Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal, de forma a colaborar ainda mais com o poder público para a conscientização da cadeia produtiva, quanto à importância da produção sustentável desse insumo. Nessa direção, as empresas produtoras de aço reafirmam os seguintes compromissos, (IABr, 2013):

- Atuar dentro dos preceitos do desenvolvimento sustentável e em perfeita consonância com a legislação, considerando de forma integrada e harmônica os aspectos ambientais, sociais e econômicos;
- Atuar junto à cadeia produtiva, visando a eliminar práticas e atividades que violem os direitos trabalhistas ou causem danos ao meio ambiente;
- Manter relacionamento comercial somente com empresas que cumpram todas as exigências socioambientais legais;
- Exigir a comprovação documental requerida pela legislação aos fornecedores de carvão vegetal e dos produtos dele derivados;
- Estabelecer parceria com o poder público para o desenvolvimento de programas de conscientização social e ambiental junto aos fornecedores de carvão vegetal;
- Concluir, em até quatro anos, o pleno atendimento dos estoques florestais às respectivas demandas de produção, por meio de plantio próprio ou plantio de terceiros, desde que em consonância com os requisitos legais. Atuar em parceria com o governo, dando continuidade ao desenvolvimento e à implementação de tecnologia para captação e queima dos gases do processo de produção de carvão vegetal, visando à redução das emissões dos gases de efeito estufa;
- Apresentar, periodicamente, o desenvolvimento das ações acima referidas no Relatório de Sustentabilidade da Indústria do Aço.



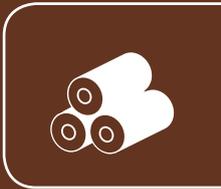
Outra iniciativa importante da sociedade civil é a fundação do Instituto Carvão Cidadão, uma entidade jurídica sem fins lucrativos, criada pelas siderúrgicas que integram o polo industrial do ferro-gusa na região de Carajás, com sede na cidade de Imperatriz, no Maranhão.

Os principais objetivos do programa Carvão Cidadão são:

- Orientar e fiscalizar as atividades relacionadas com a cadeia produtiva do carvão vegetal, tendo em vista o cumprimento da legislação trabalhista;
- Denunciar ações e omissões prejudiciais aos trabalhadores;
- Promover o relacionamento com o Ministério do Trabalho e Emprego, demais órgãos, autoridades e entidades de direito público e privado, realizando auditorias nas carvoarias dos estados do Maranhão, Pará, Tocantins e Roraima e elaborando relatórios de irregularidades;
- Promover reuniões educativas e informativas com fornecedores e trabalhadores a fim de orientar métodos de trabalhos, além de elaborar e divulgar relatórios de parceiros não conformes com as normas de conduta.

Dentro da política de boas práticas no processo de produção de carvão vegetal, grandes empresas mineradoras e produtoras de ferro-gusa no Mato Grosso do Sul, como Vetorial, Simsul e Sidepar, assinaram um documento em que se comprometem a aderir a um novo sistema de verificação denominado ProMove Carvão Vegetal. Em síntese, esse programa consiste em uma metodologia para rastrear e certificar a origem da madeira utilizada na produção de carvão vegetal e de todo o processo produtivo, até a entrega nas unidades das siderúrgicas.

A construção do ProMove Carvão Vegetal, recém lançado pela sociedade civil, teve início em 2010, por meio de discussões de um grupo de trabalho, do qual participaram representantes de empresas, do setor público, Ministério Público, Instituto Ethos, *World Wild Found for Nature* (WWF) e da Fundação Avina, e cujo objetivo era transformar uma atividade insustentável, do ponto de vista ecológico, numa ambiental e socialmente correta.



Capítulo 4



Capítulo 4

Recomendações para implantação do “Plano Siderurgia”

4.1 – Redução das emissões de GEE via melhoria da eficiência – RG e queima das fumaças

4.1.1 – Implantação de ferramentas de controle do processo de carbonização da madeira para aumento de eficiência

A - Relevância do projeto

Ficou demonstrado, no presente estudo, que o rendimento gravimétrico é um dos principais fatores que impactam tanto na emissão de GEE como na competitividade do setor de produção de ferro-gusa a carvão vegetal.

Também foi pontuado que todas as empresas integradas utilizam algum sistema de controle de processo, visando a maximizar a eficiência na produção. Essa prática também teve início há mais de dois anos, por diversos produtores independentes e com excelentes resultados. Entretanto, a quantidade abrangida por diferentes projetos de controle da carbonização ainda não passa de 20% da produção nacional, o que significa atualmente 5,5 milhões de toneladas de carvão vegetal produzida de forma empírica.

Do rendimento gravimétrico médio atual de 26% para o rendimento potencial em 2020 de 32%, são 23% de ganhos diretos na produção do carvão vegetal. Isso equivale a uma produção adicional de 1,3 milhões de toneladas anuais, com o mesmo maciço florestal e um ganho de R\$ 650 milhões

anuais. Esses ganhos levados à siderúrgica representam um ganho superior a 10% no custo do ferro-gusa (item 2.1.3), representando um significativo passo para a melhoria de competitividade do setor.

B – Custo-Benefício

Custos – existem atualmente disponíveis no mercado várias possibilidades de controle do processo: desde conjuntos simples de medição com sensores de radiação infravermelha, com custos variando entre R\$300 e R\$2.500 reais, até projetos equipados com sistemas de medição de temperatura de contato (termopares e PT100) e que enviam os dados coletados via rádio para salas de comando, onde as ações do processo de carbonização são tratadas por programa específico desenvolvido especialmente para este fim.

Quanto aos custos totais dos investimentos, conforme informações de empresas que já utilizam os sistemas de controle, eles se enquadram em três faixas:

- Sistemas simples que atendem pequenos produtores com investimentos menores que mil reais por unidade de produção e com aproveitamento da mão de obra existente;
- Sistemas de coleta de temperatura e controle, com capacidade de armazenagem e tratamento de dados, com investimentos variando entre R\$10 mil a R\$20 mil por unidade de produção e também utilizando a mão de obra existente, podendo ser usados tanto por pequenos como grandes produtores;
- Sistemas de coleta de temperatura em tempo real e sala de comando, que variam entre R\$30 mil e R\$100 mil, mais utilizados para unidades de larga escala de produção e com fornos de maior capacidade.

Benefícios – controlar o processo de carbonização via medição de temperatura significa ter melhor domínio das ações e, com isso aumentar a eficiência do processo (RG), reduzindo a emissão de GEE.

Como exemplo para pequenos produtores:

Para uma produção de mil toneladas de carvão por ano, um ganho de 5% no RG significa um ganho de 50 toneladas a R\$600/t, equivalente a R\$ 30.000/ano. O que significa um prazo de retorno de investimento, com implantação de balança mais sistema de controle, por pouco mais de um ano. Se consideramos que atualmente as perdas no processo calculadas no presente estudo superam os 30%, um ganho de 5% é de grande possibilidade de sucesso, ou seja, é um projeto de baixo risco de investimento e, com isso, permite melhores taxas de financiamento.



Como exemplo para médios e grandes produtores:

Para uma produção mensal de 10 mil toneladas de carvão por ano, um ganho de 5% no RG significa um ganho de 500 toneladas a R\$600/t, equivalente a R\$ 300.000/ano. O que significa um prazo de retorno de investimento em um sistema de controle da carbonização, mais a implantação de balança rodoviária industrial (custos variando entre R\$ 260 mil a R\$350 mil) entre 1 ano e 1,5 anos. Seguindo o raciocínio anterior, devido às elevadas perdas atuais (cerca de 30%), um ganho de 5% é de grande possibilidade de sucesso, ou seja, é um projeto de baixo risco de investimento e, com isso, permite melhores taxas de financiamento também para projetos de controle mais sofisticados que proporcionem maior capacidade de melhoria do RG

C – Plano de Ação

A Tabela 36 apresenta as diretrizes para a implantação de ferramentas de controle de processo de carbonização nas unidades de produção de carvão vegetal.

4.1.2 – Criação de linhas de financiamento de baixo custo para implantação de balanças nas unidades de produção de carvão vegetal para cálculo do rendimento gravimétrico

A – Relevância do projeto

No Capítulo 1, item 1.2, ficou demonstrada a necessidade de se aprimorar os meios para quantificar o consumo de madeira em função da correspondente produção de carvão vegetal, o denominado indicador de rendimento gravimétrico.

A metodologia utilizada na conversão do consumo de madeira contabilizada em volume por metros cúbicos para massa em toneladas, utilizando-se um valor médio de sua massa específica ($500 \pm 50 \text{ kg/m}^3$), somente pode ser considerada válida devido ao valor de RG correspondente estar consistente com os valores obtidos por metodologias estatísticas rigorosas, utilizadas em projetos de MDL aprovados pela UNFCCC, que variaram entre 24% e 29%, tendo nesse, caso específico uma incerteza estimada e aproximada de 10% ($\text{RG} = 26\% \pm 2,5\%$).

Para uma análise macro dos valores de RG realizados atualmente no Brasil, e servindo como balizador de ações estratégicas, entende-se que essa metodologia pode ser utilizada. Porém, para os controles dos processos de produção de carvão vegetal das unidades industriais, ela perde sua eficácia, pelo

fato de que os ganhos ou perdas de eficiência, dentro desta faixa de incerteza (cerca de 10%), não poderão ser estatisticamente verdadeiros por hipótese.

B – Custo-Benefício

Custos – existem atualmente disponíveis no mercado várias possibilidades de balanças industriais: desde conjuntos simples de células de carga, com pesagem por eixo do caminhão, a custos variando entre R\$20 mil e R\$30 mil reais, até balanças rodoviárias com capacidades de pesagem inclusive de composições duplas (Bitrens), variando entre R\$150 mil e R\$250 mil reais (obras civis inclusas). Quanto aos custos de mão de obra, normalmente essa tarefa é incorporada à função do operador que já faz o apontamento das cargas pela medição volumétrica.

Benefícios – medir o rendimento gravimétrico significa ter um indicador gerencial fundamental de controle de eficiência, uma vez que ele permitirá fazer os ajustes de processo de forma contínua, reduzindo as perdas, estabilizando ganhos e, o mais importante, definindo novas metas de melhoria.

Como exemplo para pequenos produtores:

Para uma produção de mil toneladas de carvão por ano, um ganho de 5% no RG significa um ganho de 50 toneladas que, a um preço de R\$600/t, equivale a R\$ 30.000/ano. O que significa um prazo de retorno de investimento, em um balança de célula de carga por eixo (R\$ 25 mil), de menos de um ano. Se consideramos que atualmente as perdas no processo calculadas no presente estudo superam os 30%, um ganho de 5% é de grande possibilidade de sucesso, ou seja, é um projeto de baixo risco de investimento e, com isso, permite melhores taxas de financiamento

Como exemplo para médios e grandes produtores:

Para uma produção mensal de 10 mil toneladas de carvão por ano, um ganho de 5% no RG significa um ganho de 500 toneladas, que a um preço de R\$600/t, equivale a R\$ 300.000/ano. O que significa um prazo de retorno de investimento, em um balança rodoviária industrial (R\$250 mil), também de menos de um ano. Seguindo o raciocínio anterior, devido às elevadas perdas atuais (cerca de 30%), um ganho de 5% é de grande possibilidade de sucesso, ou seja, é um projeto de baixo risco de investimento e, com isso, permite melhores taxas de financiamento também para balanças de grande porte.



C – Plano de Ação

A Tabela 37 expõe as diretrizes para a implantação de balanças rodoviárias nas unidades de produção de carvão vegetal.

4.1.3 – Implantação de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal visando à melhoria de eficiência

Conforme descrito no item 2.2.2, estima-se que existem em torno de seis mil colaboradores considerados como líderes das unidades de produção de carvão vegetal, nas diversas regiões do Brasil. Em um programa nacional de treinamento das melhores práticas do processo de carbonização da madeira, visando à produção de carvão vegetal para uso siderúrgico, entende-se que o foco na formação dessas lideranças poderá torná-las multiplicadoras do conhecimento adquirido. O plano de ação servirá de balizador para a implantação desse treinamento em escala nacional.

Na Tabela 38, estão dispostas as diretrizes para a implantação de planos para treinamento de equipe de produção de carvão vegetal.

4.1.4 – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento atual de queimadores de fumaças da carbonização

Conforme descrito no item 2.2.3, vários gargalos tecnológicos vêm dificultando a validação de projetos de queimadores de fumaça da carbonização e, como eles atualmente representam um aumento de custo do carvão vegetal, a maioria das empresas produtoras não tem priorizado investimentos nessa área de desenvolvimento. Porém, como se trata de um importante mitigador de emissões de GEE e que também poderá contribuir para o uso energético dos gases queimados, como, por exemplo, a secagem de madeira, torna-se importante a participação de incentivos de fundos ambientais como o programa do Fundo Clima ou GEF [sigla em Inglês para Fundo Global para o Meio Ambiente].

Na Tabela 39, estão reunidas as diretrizes para criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para projeto de queima das fumaças da carbonização.

Tabela 36 – Diretrizes para a implantação de ferramentas de controle de processo de carbonização nas unidades de produção de carvão vegetal

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		Governo/Empresas
1.2	Definição das instituições participantes	Governo	Governo/associações
1.3	Elaboração e aprovação das regras		Governo/associações
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		Governo/associações
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Mapeamento dos produtores de carvão vegetal	Associações	Associações/academia
2.2	Formação dos grupos elegíveis ao programa	Governo	Governo/Empresas
2.3	Recebimento de propostas e liberação de recursos		Governo/Empresas
2.4	Aquisição de equipamentos e construção de infraestrutura	Empresas	Empresas
2.5	Elaboração dos procedimentos operacionais - norma ABNT	Associações	Associações/academia
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Montagem de banco de dados padronizados	Empresas	Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios estatísticos periódicos	Associações	Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa		Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

Tabela 37 – Diretrizes para a implantação de balanças rodoviárias nas unidades de produção de carvão vegetal

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto	Governo	Governo/Empresas
1.2	Definição das instituições participantes		Governo/associações
1.3	Elaboração e aprovação das regras		Governo/associações
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		Governo/associações
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Mapeamento dos produtores de carvão vegetal	Associações	Associações/academia
2.2	Formação dos grupos elegíveis ao programa	Governo	Governo/Empresas
2.3	Recebimento de propostas e liberação de recursos		Governo/Empresas
2.4	Aquisição de equipamentos e construção de infraestrutura	Empresas	Empresas
2.5	Elaboração dos procedimentos operacionais - norma ABNT	Associações	Associações/academia
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Montagem de banco de dados padronizados	Empresas	Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios estatísticos periódicos	Associações	Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa		Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

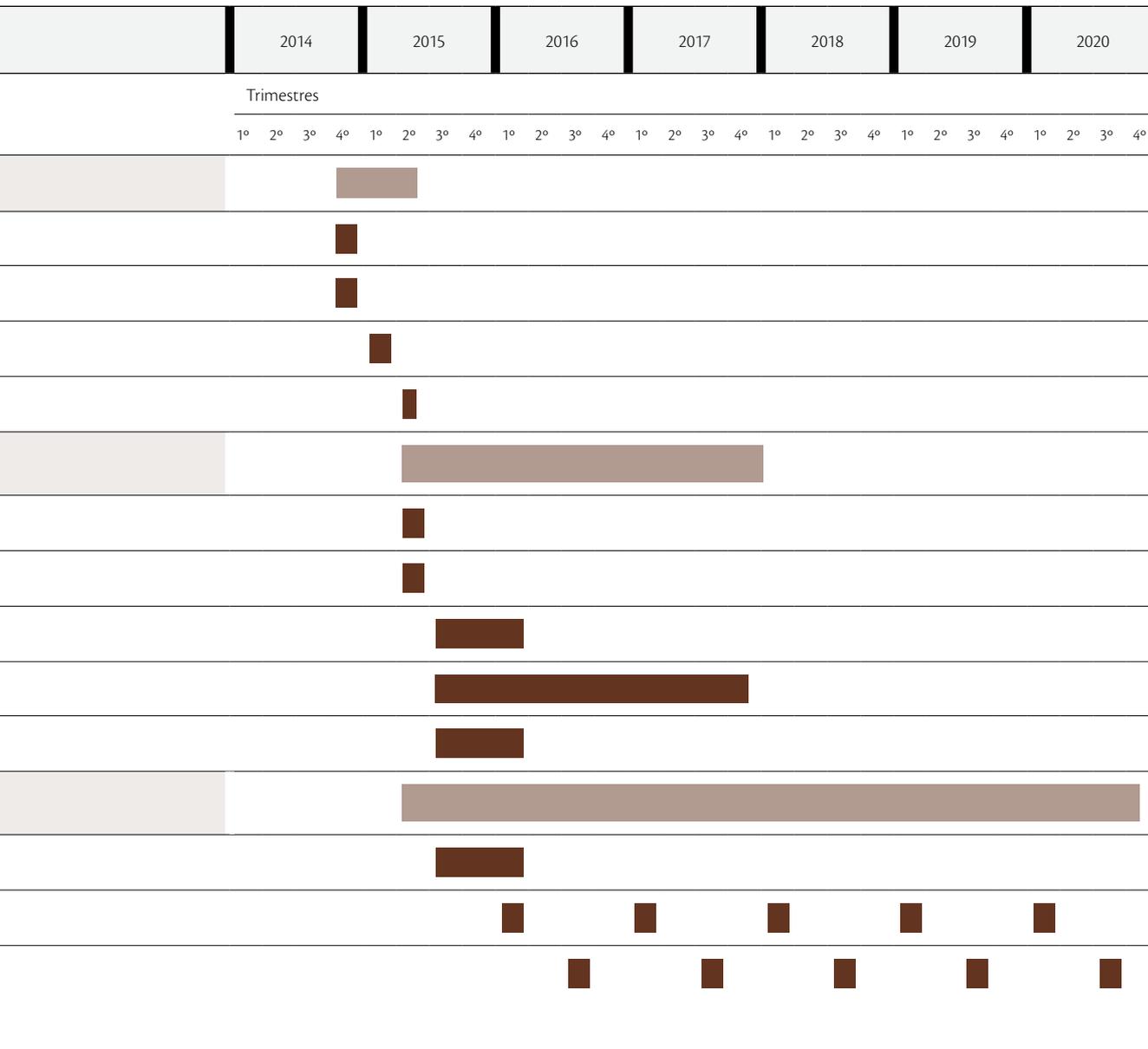


Tabela 38 – Diretrizes para a criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para projeto de queima das fumaças da carbonização

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		
1.2	Definição das instituições participantes		
1.3	Elaboração e aprovação das regras	Governo	Governo/Empresas
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Recebimento de projetos de queimadores de fumaça		
2.2	Avaliação e aprovação de projeto piloto	Governo	Governo/Empresas
2.3	Construção dos queimadores de fumaça	Empresas	Empresas
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Execução de campanhas dos projetos piloto	Empresas	Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios estatísticos periódicos		Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa	Associações	Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

4.2 – Evitar desmatamento de floresta nativa

Mapeamento de estoque de florestas plantadas como possibilidade de uso para carvão vegetal – estudo de incentivo para o setor – formação de cooperativas ou associações regionais

A diretriz de mapeamento atual das florestas plantadas que são utilizadas para os diversos fins além da produção de carvão vegetal terá como objetivos principais:

- Verificar a possibilidade de otimizar o uso múltiplo das florestas, como já é feito em produções de pinus que usam parte da árvore para indústria moveleira e parte, considerada como resíduo, para a produção de carvão vegetal.
- Mapear as condições atuais dos plantios, a fim de fazer as devidas correções que possam melhorar a produtividade, principalmente aqueles com idades inferiores a dois anos, que ainda respondem bem a melhores tratamentos de adubação.
- Estudar meios de criação e aprovação de incentivos fiscais para fomentar novos plantios

Na tabela 40, são expostas diretrizes para o mapeamento de estoque de florestas plantadas com possibilidade de utilização para produção de carvão vegetal



Tabela 39 – Diretrizes para mapeamento de estoque de florestas visando sua utilização para produção de carvão vegetal

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		Governo/Empresas
1.2	Definição das instituições participantes		
1.3	Elaboração e aprovação das regras	Governo	Governo/associações
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Mapeamento dos produtores de carvão vegetal	Associações	Associações/academia
2.2	Formação dos grupos elegíveis ao programa	Governo	Governo/Empresas
2.3	Recebimento de propostas e liberação de recursos		
2.4	Montagem de grupos de trabalho e associações	Empresas	Empresas/academia
2.5	Elaboração dos procedimentos operacionais	Associações	Associações/academia
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Montagem de banco de dados padronizados	Empresas	Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios estatísticos periódicos		Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa	Associações	Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

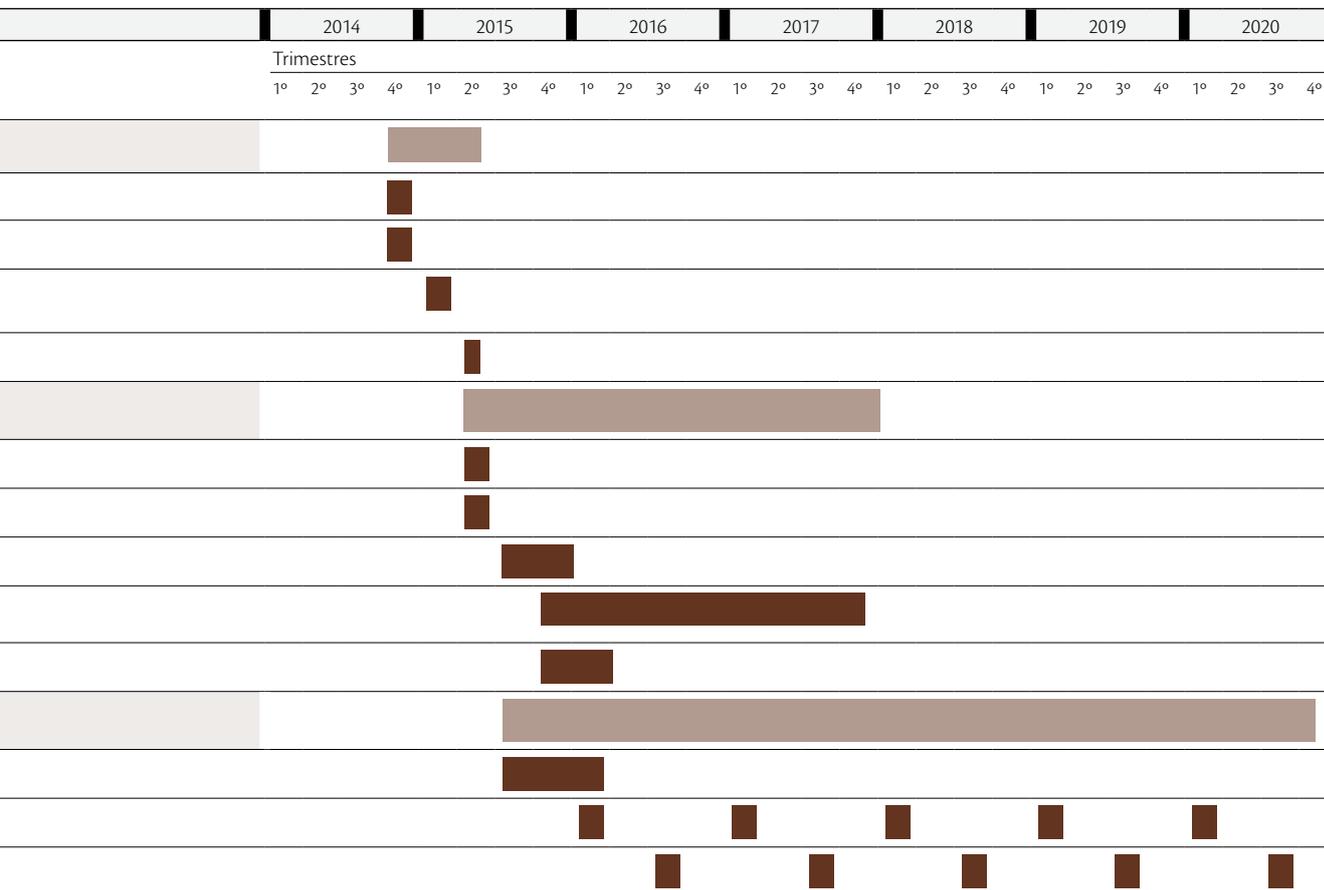
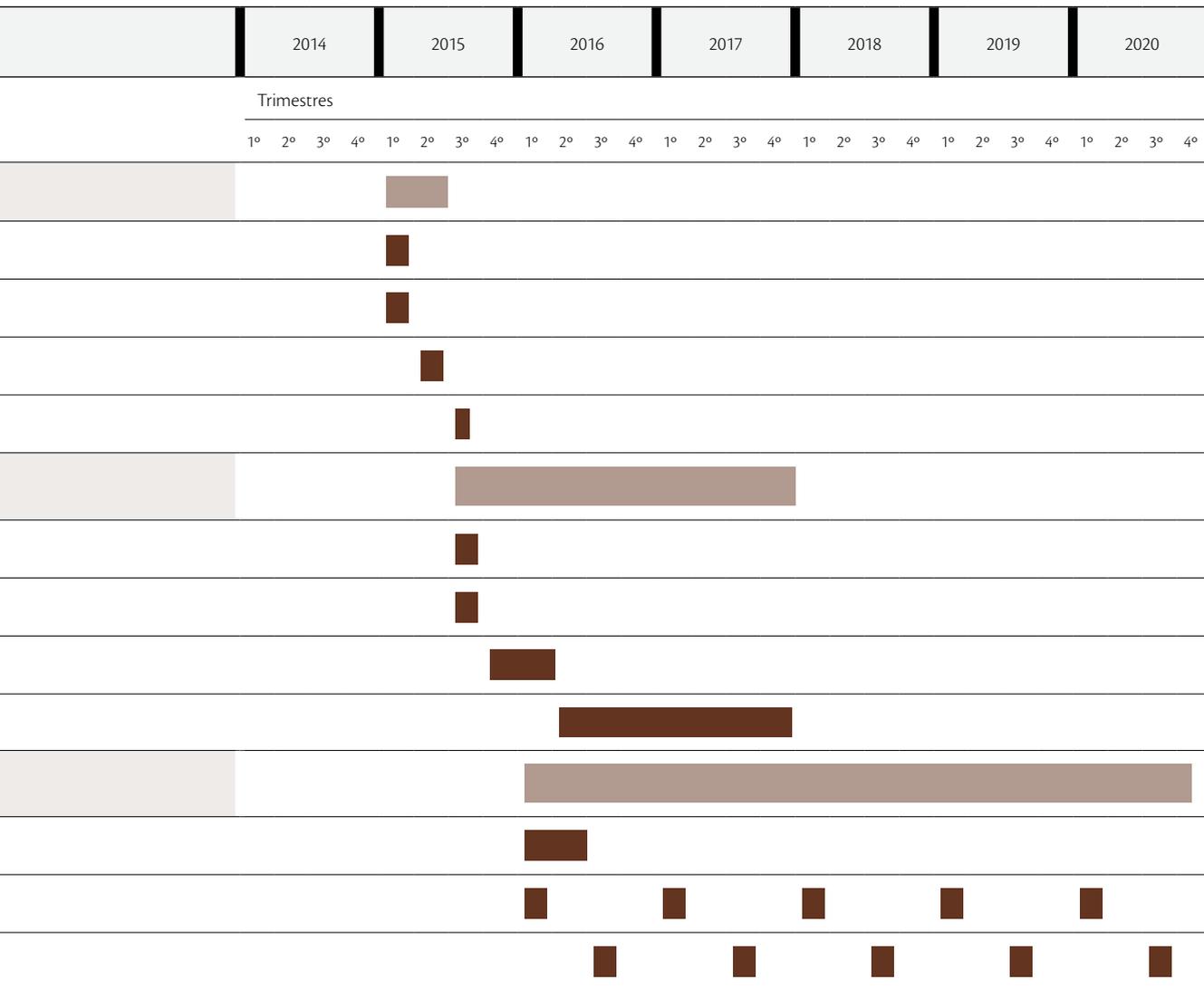


Tabela 40 – Diretrizes para criação e aprovação de incentivos fiscais para fomentar novos plantios

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		Governo/Empresas
1.2	Definição das instituições participantes	Governo	
1.3	Elaboração e aprovação das regras		Governo/associações
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Mapeamento dos produtores de carvão vegetal	Associações	Associações
2.2	Formação dos grupos elegíveis ao programa	Governo	Governo/Empresas
2.3	Recebimento de propostas e liberação de recursos		
2.4	Montagem de grupos de trabalho	Empresas	Empresas
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Divulgação e acompanhamento dos beneficiários		Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios de acompanhamento	Associações	Associações
3.3	Reuniões de alinhamento do programa		Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).



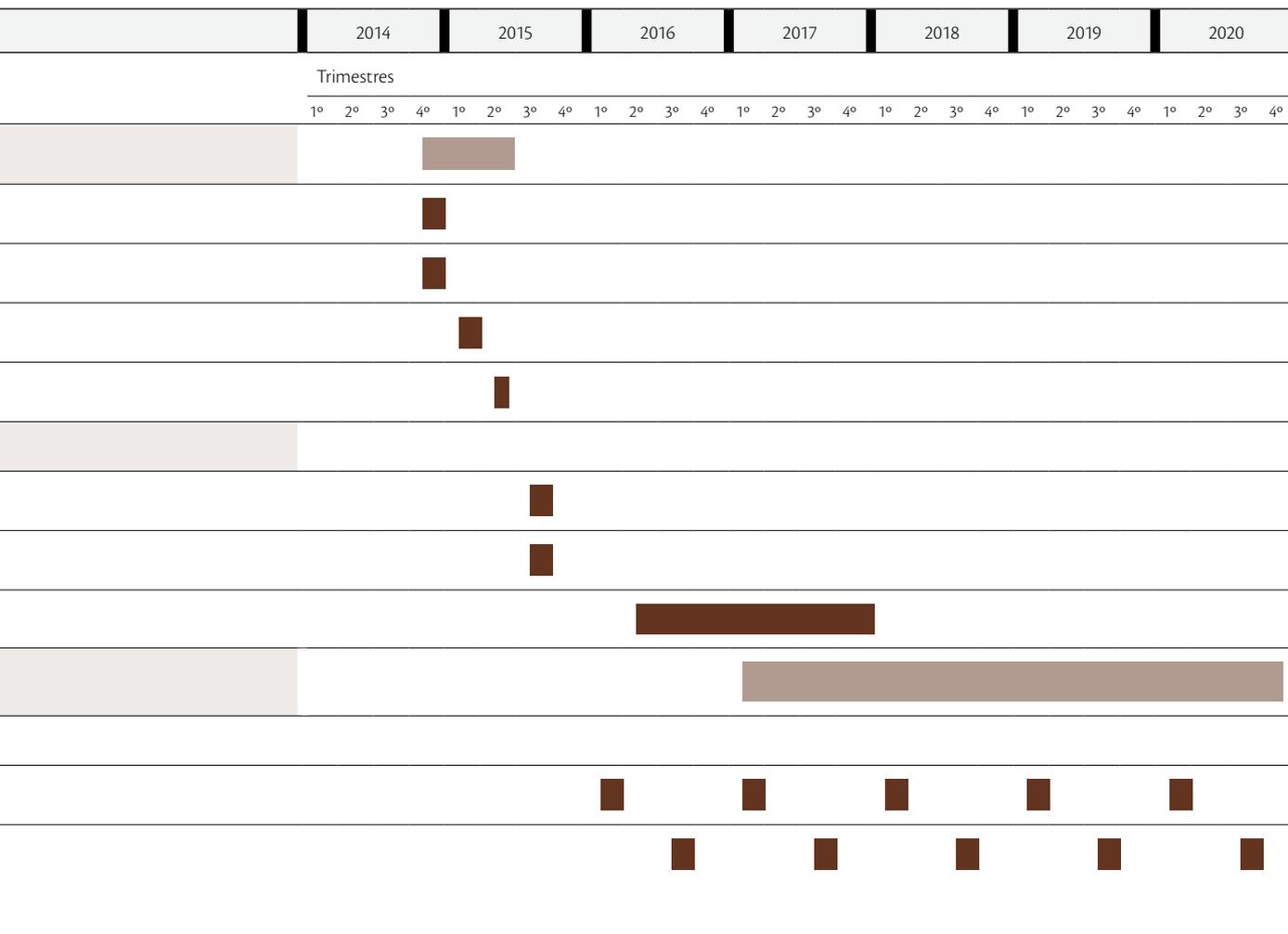
4.3 – Incrementar a competitividade brasileira da indústria do ferro e aço no contexto das economias de baixo carbono

4.3.1 – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para desenvolvimento de secadores de madeira

Tabela 41 – Diretrizes para desenvolvimento de secadores de madeira

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		Governo/Empresas
1.2	Definição das instituições participantes	Governo	
1.3	Elaboração e aprovação das regras		Governo/associações
1.4	Divulgação - Lançamento do edital de participação		
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Recebimento de projetos de secadores de madeira	Governo	Governo/Empresas
2.2	Avaliação e aprovação de projetos piloto		
2.3	Construção dos secadores	Empresas	Empresas
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Execução de campanhas dos projetos piloto	Empresas	Empresas/academia
3.2	Publicação de relatórios estatísticos periódicos		Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa	Associações	Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).

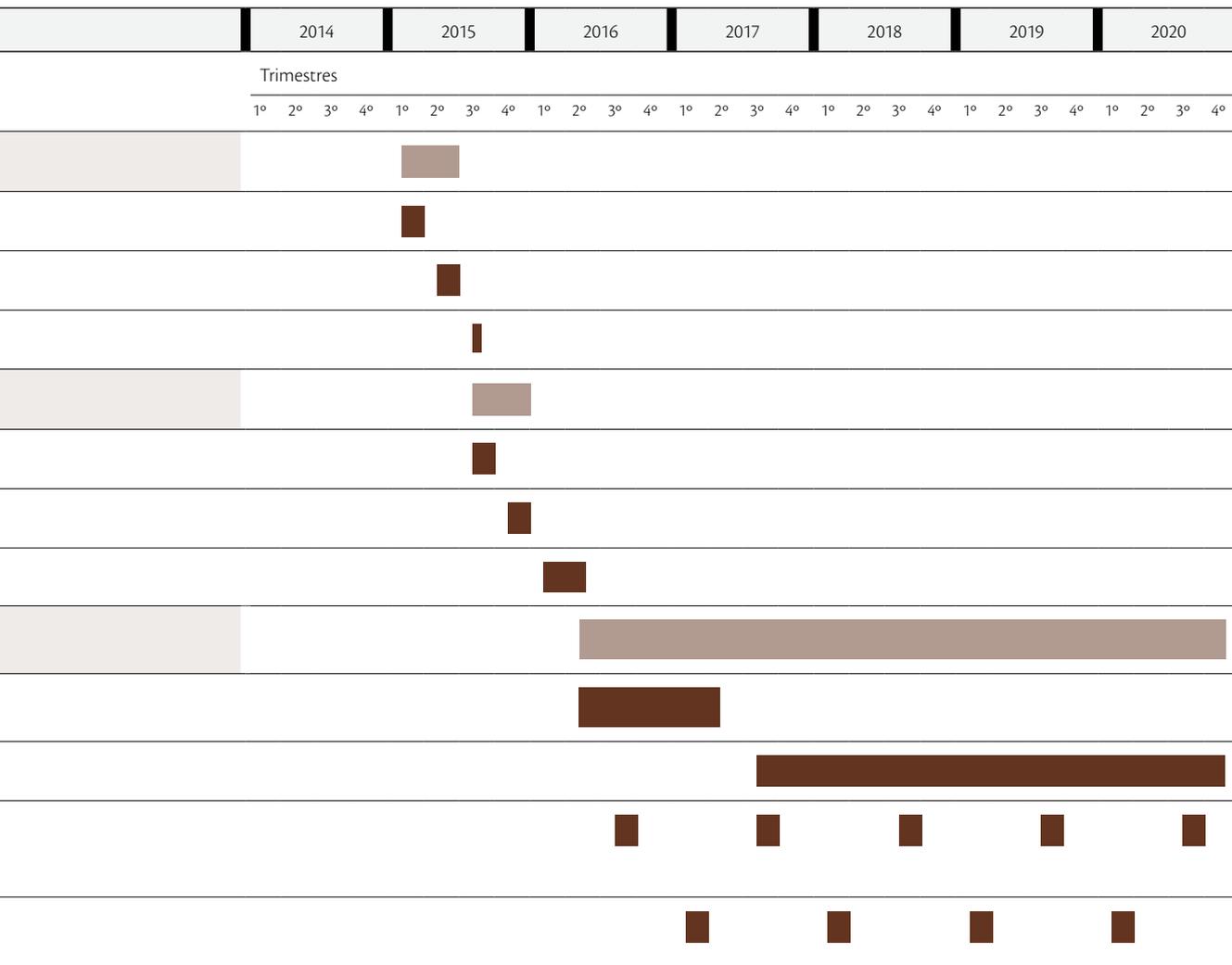


4.3.2 – Criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para implantação de unidades industriais de tecnologias modernas de carbonização – validação do custo benefício.

Tabela 42 – Diretrizes para implantação de novas tecnologias de produção de carvão vegetal

Item	Descrição	Liderança	Entidades participantes
1	Fase 1 – Elaboração do projeto		
1.1	Definição das fronteiras físicas e financeiras do projeto		Governo/Empresas
1.2	Elaboração e aprovação das regras	Governo	Governo/associações
1.3	Divulgação - Lançamento do edital de participação		
2	Fase 2 – Implantação		
2.1	Recebimento de projetos	Governo	Governo/Empresas
2.2	Avaliação e aprovação e definição dos locais de implantação		
2.3	Construção das unidades de produção	Empresas	Empresas
3	Fase 3 – Desenvolvimento		
3.1	Execução de campanhas dos projetos piloto	Empresas	Empresas/academia
3.2	Se aprovada - expansão da tecnologia em outras empresas		Associações
3.3	Execução de seminários de alinhamento do programa	Associações	
3.4	Execução de seminários de alinhamento do programa		Governo/associações

Fonte: (RAAD e MELO, 2014).





Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF/ABRAFLO. **Anuário Estatístico** 2013. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 01 jun 2014.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS. **Anuário Estatístico**, 2013.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Apresentação Fundo Clima BNDES**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/PortalBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Institucional/Sala_de_Imprensa/Galeria_Arquivos/Apresentacao_Fundo_Clima.pdf>. Acesso em: 01 ago 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Plano setorial de redução de emissões da siderurgia**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_setorial_siderurgia___sumrio_executivo_04_11_10_141.pdf>. Acesso em: 01 junho 2014.
- BRIDGWATER A.V. **Review of thermochemical biomass conversion energy research group**. Birmingham: Aston Univeristy, Crown Copyright, jan., 1991, 76 p.
- BRITO, J.O. **Redimensionamento do esforço necessário para atingimento da meta de redução de emissões d GEE no Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 19 p.
- _____. **Sugestões de bases de programa de desenvolvimento sustentável da produção de biomassa para a siderurgia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 20 p.
- _____. **Sugestões de medidas para superação dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios à meta de redução de emissões, com avaliação dos benefícios sócios-ambientais**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 20 p.
- CORRÊA, G.T. **Vetorial - perspectivas da siderurgia a carvão vegetal no Brasil**. Palmas: Tocantins Florestal, 19 nov. 2013.
- COSTA, J.M.F.N. **Temperatura final da carbonização e queima dos gases na redução do metano, como base à geração de créditos de carbono**. 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- DPC Thermal Processing. **Portal da empresa**. Disponível em: <<http://www.dpcbiomassa.com.br>>. Acesso em: jan. 2014.
- FILHO, B.M.D. **Levantamento dos níveis de produção de aço e ferro-gusa, cenário em 2020**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 63 p.
- INSTITUTO AÇO BRASIL – IABR. **Protocolo de sustentabilidade do carvão vegetal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO AÇO, 24., Rio de Janeiro, RJ, 8 e 9 de maio 2013. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/congresso2013/imprensa/releases/>>. Acesso em: 01 mai. 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sistema Nacional de Informações Florestais** – 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/consumo>>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- MENDO, J. **Cadeia do ferro-gusa**, Relatório Técnico. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P28_RT51_Perfil_da_Mica.pdf>.

- MOTA, F.C.M. **Análise da cadeia de produção do carvão vegetal oriundo de *Eucalyptus* sp. no Brasil.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- ONDATEC. **Portal eletrônico da empresa.** Disponível em: <<http://www.ondatec.com>>. Acesso em: jan. 2014.
- RAAD, T.J. Produtos derivados da produção de carvão vegetal – uma nova visão. **Revista Opiniões**, junho, 2008.
- _____. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *eucalytus* spp.** 2004. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação e Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- RAAD, T.J.; MELO, V.F. **Avaliação sócio ambiental dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios para atingimento da meta de redução e emissões na siderurgia brasileira.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 19 p.
- _____. **Fortalecimento da competitividade do gusa por florestas plantadas.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 28 p.
- _____. **Mapeamento de ações institucionais para sustentabilidade da produção de ferro-gusa a partir de carvão vegetal.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 26 p.
- RESENDE, M.E. **Análise comparativa das diferentes tecnologias de carbonização e recuperação de subprodutos.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 28 p.
- _____. **Diagnóstico da eficiência da conversão de biomassa de madeira em carvão.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 25 p.
- RIBEIRO, F. A.; FILHO, J.Z. Variação da densidade básica da madeira em espécies procedências de *Eucalyptus* spp. **Revista IPEF**, n.46, p.76-85, 1993.
- ROCHA, J.D. et all. The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in Brazil. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS, 7. Colônia, Alemanha, junho, 2002. **Proceedings...**, Colônia, 2002, 5p.
- SCHERER, W.G.S. **Levantamento dos níveis de produção de aço e ferro-gusa, cenário em 2020 – Enfase: uso da energia gerada na combustão dos gases da carbonização.** Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014, 33 p.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS - SINDIFER-MG. **Portal da empresa.** Disponível em: <<http://www.sindifer.com.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Approved baseline and monitoring methodology AM004. Mitigation of methane emissions in the wood carbonization activity for charcoal production**, version 01.206. 63 p, 2006. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blod/0014/14282.pdf>.
- VALLOUREC. **Relatório de sustentabilidade**, 2010.
- VILELA, A.O et all. A new technology for the combined production of charcoal and electricity through cogeneration. **Biomass and Bioenergy**, v.69, 2014, p. 222 a 240.
- WINTER, M.E.L. **Cadeia produtiva do carvão vegetal - implicações econômicas, ambientais e sociais.** S.L.: Associação Mineira de Silvicultura, 2013, 27 p.



Anexos



Anexo I - Notas Técnicas Resumo

Análise comparativa das diferentes tecnologias de carbonização e recuperação de subprodutos

Consultor: Maria Emília Resende – 28 p.

- Esta nota técnica apresenta um comparativo de competitividade entre diversas tecnologias de produção de carvão denominadas: Fornos de Alvenaria Circular e Retangular, Bricarbras, DPC e Retorta de Carbonização Contínua. No estudo são pontuados os investimentos de implantação necessários para atender uma produção de 10.000 toneladas de carvão vegetal por mês, produtividade e eficiência dos fornos, custos de matéria prima e da mão de obra da fase de carbonização.

Avaliação sócioambiental dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios para atingimento da meta de redução de emissões na siderurgia brasileira

Consultor: Túlio Jardim Raad e Vamberto Ferreira de Melo – 19 p.

- Esta nota técnica apresenta um descritivo teórico do processo de produção de carvão vegetal e a influência da qualidade da madeira e de parâmetros como a temperatura na eficiência da carbonização e seus impactos nas emissões de gases GEE. O estudo pontua os obstáculos técnicos e econômicos das tecnologias atuais quanto à dificuldade de implementar melhorias eficazes de redução das emissões, principalmente em relação à queima das fumaças do processo. Também apresenta algumas soluções em desenvolvimento na indústria e meio acadêmico na tentativa de mitigação dos gases GEE.

Diagnóstico da eficiência da conversão de biomassa de madeira em carvão

Consultor: Maria Emília Resende – 25 p.

- Esta nota técnica apresenta um descritivo teórico do processo de produção de carvão vegetal e as influências da qualidade da matéria prima na eficiência do processo (Rendimento Gravimétrico). Através da aplicação do balanço de energia em três tecnologias distintas, forno Circular e Retangular de Alvenaria e DPC, obtém os rendimentos máximos possíveis em função de premissas como umidade da madeira e carbono fixo do carvão e contribuição das perdas inerentes de cada forno. O estudo também pontua a importância de se ter um sistema de gestão do processo de produção e um bom controle de processo de carbonização e cita um caso de sucesso na empresa Queiroz Galvão que obteve ganhos financeiros da ordem de R\$28 milhões anuais.

Fortalecimento da competitividade do gusa por florestas plantadas

Consultor: Túlio Jardim Raad e Vamberto Ferreira de Melo – 28 p.

- Esta nota técnica discorre sobre o desafio de tornar a produção de carvão vegetal no Brasil ambientalmente correta, com significativa redução das emissões e viabilizados do ponto de vista técnico-econômico. O objetivo pode ser alcançado por meio de melhorias nas tecnologias atuais e implantação de tecnologias inovadoras que queimem as fumaças (gases e vapores) da carbonização da madeira. O estudo avaliou em detalhes do ponto de vista técnico e econômico (Capex e Opex) quatro tecnologias: Fornos retangulares de alvenaria equipados com queimadores de fumaça, Sistema Bricarbras, DPC e Ondatec. A capacidade de produção de referência utilizada foi de mil toneladas de carvão vegetal por mês. Este valor visou avaliar a possibilidade dos projetos de atenderem pequenos e médios produtores, uma vez que eles representam
- Atualmente mais de 70% da produção nacional. A análise econômica foi parametrizada de forma que todas obtivessem uma rentabilidade de 15%. A principal variável comparativa foi a quantidade de subprodutos (alcatrão e pirolenhoso) que deveriam ser recuperadas e comercializadas para obtenção deste ganho.



Levantamento dos níveis de produção de aço e ferro-gusa, cenário em 2020

Consultor: Boaventura Mendonça D'Avila Filho – 63 p.

- Esta nota técnica apresenta um histórico das produções de aço e ferro-gusa a coque e carvão vegetal no Brasil desde 2001 e através de premissas e modelo mercadológico correlacionando crescimento do PIB com as taxas de crescimento do setor siderúrgico (mercado interno e externo), novas unidades em implantação, disponibilidade do parque industrial atual, bem como uso e impacto da sucata na demanda de produção do aço, simula as projeções de produção até o ano de 2020, obtendo um crescimento médio anual de 9,6%.

Levantamento dos níveis de produção de aço e ferro-gusa, cenário em 2020 – Ênfase: Uso da energia gerada na combustão dos gases de carbonização

Consultor: Sergio Wilibaldo Garcia Scherer – 33 p.

- Esta nota técnica apresenta um histórico das produções da siderurgia a coque e carvão vegetal no Brasil desde 2000, com destaque para os diversos metálicos como ferro-gusa, ferro-esponja, metálicos ferrosos e aço. Através de premissas e modelo mercadológico correlacionando crescimento do PIB com as taxas de crescimento do setor siderúrgico (mercado interno e externo), uso e impacto da sucata na demanda de produção do aço, simula as projeções de produção até o ano de 2020, obtendo um crescimento médio anual de 5,0%. O estudo também dá ênfase na necessidade de uso da energia gerada na combustão das fumaças (gases e vapores) da carbonização da madeira para que o gusa com ele produzido possa ser consolidado como 'Gusa Verde'.

Mapeamento de ações institucionais para sustentabilidade da produção de ferro-gusa a partir de carvão vegetal

Consultor: Túlio Jardim Raad e Vamberto Ferreira de Melo – 26 p.

- Esta nota técnica discorre sobre as especificações técnicas de qualidade química e física necessárias ao carvão vegetal para se otimizar os consumos específicos nos altos fornos. O estudo apresenta o estado da arte da indústria siderúrgica a carvão vegetal quanto às tecnologias atuais e processos de controle e gerenciamento da produção visando aumento de eficiência Rendimento Gravimétrico e esforços para redução das emissões via desenvolvimentos de queimadores de fumaças e ou novas tecnologias inovadoras no setor.

Medidas para superação dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios à meta de redução de emissões

Consultor: José Otávio Brito – 21 p.

- Esta nota técnica discorre sobre a importância do carvão vegetal na matriz energética nacional e da vital necessidade de se desmistificar que o uso de madeira para fins energéticos é uma condição de atraso do País. O estudo aponta exatamente para o oposto deste conceito, onde o impacto ambiental da energia fóssil é amplamente reduzido pelo uso da floresta plantada totalmente renovável em substituição por exemplo ao carvão mineral/coque na siderurgia. Também é colocada em evidência a necessidade de se melhorar a eficiência de transformação da madeira em carvão vegetal, o que, além do retorno financeiro com evidente redução de custos, também contribui para a redução das emissões de GEE. São citados também a implantação do plano setorial da siderurgia, de iniciativa do setor público, e do protocolo de sustentabilidade do carvão vegetal, promovido por diversas empresas do setor siderúrgico visando a prática da sustentabilidade da cadeia de produção do carvão vegetal.



Metodologia de estudo e análise de escoamento de gases com transferência de calor por meio de simulação computacional *Computational Fluid Dynamics* (CFD) para otimização do processo de carbonização da madeira em tecnologia *Dry, Pyrolysis, Cooling* (DPC)

Consultor: Nehemias Lima Lacerda – 20 p.

- Esta nota técnica apresenta um estudo teórico da fluidodinâmica dos gases utilizados no processo da tecnologia DPC, através de modelamentos matemáticos que possibilitam entender melhor os fenômenos físicos nas trocas de calor dentro dos reatores e com isto fornecer subsídios para otimizar o processo visando melhorar os rendimentos, a produtividade do forno e a qualidade do carvão produzido. O estudo visa contribuir para o melhor entendimento do comportamento da transferência de energia nas diferentes tecnologias que estão em desenvolvimento e mesmo nos processos atuais de fornos de alvenaria.

Redimensionamento do esforço necessário para atingimento da meta de redução de emissões de GEE no Brasil

Consultor: José Otávio Brito – 19 p.

- Esta nota técnica apresenta um panorama da produção florestal madeireira e seus diversos usos, destaca a demanda para o seu uso na produção de carvão vegetal e a dependência histórica do setor no uso de florestas nativas para atender a demanda de produção de ferro-gusa, principalmente em momentos de alto crescimento do setor. O estudo também traça um paralelo das emissões GEE entre o gusa a coque e o gusa a carvão vegetal e demonstra que a maior participação deste nos processos a coque poderão trazer significativa redução dessas emissões. Destaca ainda a elevada participação das emissões de gás metano no total emitido pelos processos a carvão vegetal (cerca de 90% do total).

Sugestões de bases de programa de desenvolvimento sustentável da produção de biomassa para siderurgia

Consultor: José Batuíra de Assis – 20 p.

- Esta nota técnica foca no perfil atual das florestas plantadas para produção de carvão vegetal no Brasil, as barreiras e também as conquistas tecnológicas que favorecem o caminho da sua sustentabilidade. O estudo pontua as questões conceituais e os principais gargalos ao desenvolvimento da cadeia produtiva florestal como o problema legislativo, institucional e a falta de estoques adequados ao consumo. Também coloca o paralelo com sugestões para a implantação de um programa sustentável de biomassa para a siderurgia propondo um novo arranjo institucional, implantação de marco regulatório, melhor rastreabilidade e controle/fiscalização e investimento em comunicação/mídia para divulgação das boas práticas de produção hoje disponíveis no mercado.

Sugestões de medidas para superação dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios para cumprir a meta de redução de emissões, com avaliação dos benefícios socioambientais

Consultor: Túlio Jardim Raad e Vamberto Ferreira de Melo – 20 p.

- Esta nota técnica apresenta um panorama da produção florestal nacional, destaca a demanda para o seu uso na produção de carvão vegetal e a dependência histórica do setor no uso de florestas nativas para atender a demanda da produção de ferro-gusa nacional. O estudo traça um paralelo comparativo dos déficits de floresta plantada entre a situação atual do parque industrial de produção de carvão vegetal no Brasil, modernização deste parque via implantação de sistemas de gerenciamento e controle de processo de carbonização e a implantação de tecnologias inovadoras que permitem queimar as fumaças da carbonização e ainda aproveitar a energia gerada para outros fins como secagem da madeira ou produção de energia elétrica. Uma síntese do plano setorial de redução de emissões da siderurgia é pontuada em seus três principais objetivos como respectivas sugestões de como eles poderão ser atingidos até 2020.



LISTAS



Lista de figuras

Figura 1 – Fornos de alvenaria de pequeno porte para produção de carvão vegetal	40
Figura 2 – Fornos de alvenaria de grande porte para produção de carvão vegetal	41
Figura 3 – Forno container empresa Rima – FCR	44
Figura 4 – Fluxo de Processo do Forno Rima – FCR	45
Figura 5 – Sistema de carregamento de madeira do forno Bricarbras	47
Figura 6 – Sistema de carbonização e resfriamento do forno Bricarbras	47
Figura 7 – Sistema de descarga do carvão vegetal do forno Bricarbras	48
Figura 8 – Processo de carbonização da madeira	49
Figura 9 – Processo de carbonização da madeira	50
Figura 10 – Processamento de madeira para forno Ondatec	51
Figura 11 – Processo de carbonização da madeira via micro-ondas	51
Figura 12 – Queima de gases do processo Ondatec	51

Lista de gráficos

Gráfico 1	– Evolução da produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil	22
Gráfico 2	– Produção de ferro-gusa a carvão vegetal no Brasil	22
Gráfico 3	– Eficiência da carbonização da madeira – RG dos componentes (kg/kg)	25
Gráfico 4	– Carvão vegetal produzido de madeira nativa x florestas plantadas	28
Gráfico 5	– Distribuição percentual da área de cobertura do Brasil	32
Gráfico 6	– Evolução da área de florestas plantadas no Brasil (ABRAF, 2013)	33
Gráfico 7	– Projeção de emissões – Plano Setorial de Redução de Emissões na Siderurgia (MMA, 2014) ⁸⁴	
Gráfico 8	– Decomposição térmica dos componentes da madeira (RAAD, 2004)	89
Gráfico 9	– Influência do diâmetro da madeira na carbonização	90
Gráfico 10	– Influência da temperatura no RG do processo de carbonização	91
Gráfico 11	– Emissão de gases não condensáveis durante a pirólise de madeira	93



Lista de tabelas

Tabela 1	– Projetos para produção de ferro-gusa a carvão vegetal, em milhões de toneladas	23
Tabela 2	– Eficiência de conversão dos componentes da madeira em carvão vegetal	25
Tabela 3	– Comparação de indicador de eficiência volumétrica x gravimétrica	27
Tabela 4	– Floresta plantada usada para produção de carvão vegetal no Brasil (milhões)	28
Tabela 5	– Fluxo de madeira de florestas plantadas x carvão produzido x RG	29
Tabela 6	– Projeção do rendimento gravimétrico de 2014 a 2020 – produtores independentes	31
Tabela 7	– Projeção do rendimento gravimétrico de 2014 a 2020 – usinas integradas	31
Tabela 8	– Madeira consumida, área de florestas plantadas e respectivas produtividades	34
Tabela 9	– Projeções das emissões GEE no período de 2010 a 2014 (em milhões de toneladas)	35
Tabela 10	– Premissas de cálculo das projeções das emissões GEE e necessidade de florestas	36
Tabela 11	– Projeções das emissões GEE e necessidade de florestas para o período de 2014 a 2020	37
Tabela 12	– Distribuição teórica dos produtos da carbonização de 1 tonelada de madeira base seca	42
Tabela 13	– Análise qualitativa de fornos retangulares de alvenaria	53
Tabela 14	– Análise qualitativa da tecnologia Bricarbras	54
Tabela 15	– Análise qualitativa da tecnologia DPC	54
Tabela 16	– Análise qualitativa da tecnologia Ondatec	55
Tabela 17	– Custos da madeira em pé	58
Tabela 18	– Investimentos dos equipamentos de colheita e transporte	60
Tabela 19	– Custos operacionais de colheita e transporte para produção de carvão vegetal	61
Tabela 20	– Custo da logística de colheita e transporte da madeira para produção de carvão vegetal	62
Tabela 21	– Propriedade da madeira para produção de carvão vegetal	64
Tabela 22	– Custo da mão de obra da fase de carbonização das tecnologias estudadas	65
Tabela 23	– Investimentos nos equipamentos da fase de carbonização	66
Tabela 24	– Custos operacionais da fase de carbonização	67

Tabela 25 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos retangulares de alvenaria	68
Tabela 26 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos Bricarbras	70
Tabela 27 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos DPC	72
Tabela 28 – Resultados do custo unitário para a fase de carbonização da madeira em fornos Ondatec	74
Tabela 29 – Resumo dos custos de produção de carvão vegetal para as tecnologias estudadas	76
Tabela 30 – Resumo dos resultados da comparação de viabilidade econômica das tecnologias	77
Tabela 31 – Programa de financiamento Fundo Clima – BNDES	79
Tabela 32 – Cenários para redução de emissões de CO ₂ na siderurgia a carvão vegetal (MtCO ₂ eq)	84
Tabela 33 – Impacto do rendimento gravimétrico (RG) nos custos unitários do carvão vegetal	87
Tabela 34 – Ganhos do rendimento gravimétrico e qualidade	88
Tabela 35 – Projeção da mão de obra de liderança na produção de carvão vegetal	92
Tabela 36 – Diretrizes para a implantação de ferramentas de controle de processo de carbonização nas unidades de produção de carvão vegetal	116
Tabela 37 – Diretrizes para a implantação de balanças rodoviárias nas unidades de produção de carvão vegetal	118
Tabela 38 – Diretrizes para a criação de linhas específicas de financiamento de baixo custo para projeto de queima das fumaças da carbonização	120
Tabela 39 – Diretrizes para mapeamento de estoque de florestas visando sua utilização para produção de carvão vegetal	124
Tabela 40 – Diretrizes para criação e aprovação de incentivos fiscais para fomentar novos plantios	126
Tabela 41 – Diretrizes para desenvolvimento de secadores de madeira	128
Tabela 42 – Diretrizes para implantação de novas tecnologias de produção de carvão vegetal	130



Siglas e abreviaturas encontradas nesta publicação

ABC | Programa Nacional para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura – Agricultura de Baixo Carbono

Abraf | Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

AMS | Associação Mineira de Silvicultura

BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BNDES Florestal | Apoio ao Reflorestamento, Recuperação e Uso Sustentável das Florestas

BNDES Meio Ambiente | Apoio a Investimentos em Meio Ambiente

b.s. | Base seca

Capex | Sigla da expressão inglesa *capital expenditure* (despesas de capital ou investimento em bens de capital)

Cemig | Companhia Energética de Minas Gerais

CGEE | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CH₄ | Gás Metano

CO_{2eq} | Equivalência em dióxido de carbono

CSN | Companhia Siderúrgica Nacional

cv | Carvão vegetal

DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral

DPC | *Drying, Pyrolysis, Cooling*

EIA | Estudo de Impacto Ambiental

FCO Pronatureza | Programa de Preservação da Natureza / Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO)

FNE Verde | Programa de Financiamento à Conservação e Controle do Meio Ambiente / Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE)

FNO Amazônia Sustentável | Apoio ao Desenvolvimento Sustentável da Amazônia / Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO)

FNO Biodiversidade | Apoio a Empreendimentos Sustentáveis e à Recuperação de Áreas Degradadas / FNO

FR190 | Fornos retangulares de 13 metros de comprimento e 4 metros de largura

Fundo Clima / Carvão Vegetal | Fundo Nacional sobre Mudança do Clima – destinado a investimento para a melhoria da eficiência da sustentabilidade da produção carvão vegetal

GEE | Gases do Efeito Estufa

GEF | *Global Environment Fund* [Fundo Global para o Meio Ambiente]

Grupo G6 | Formado por ArcelorMittal, Aperam, Vallourec, Gerdau, Plantar e Votorantim

IABr | Instituto Aço Brasil

Ibama | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF | Instituto Estadual de Florestas

Iphan | Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas
kg | Quilograma (s)
m³ | Metro cúbico
MDIC | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDL | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA | Ministério do Meio Ambiente
MME | Ministério de Minas e Energia
MPME | Micro, pequenas e médias empresas
MRV | Mensuração, reportabilidade e verificabilidade
mt. | Milhões de toneladas
Ondatec | Fornos de carbonização por micro-ondas
Opex | Sigla da expressão inglesa *Operational Expenditure* (custos operacionais do negócio)
PNMC | Política Nacional sobre a Mudança do Clima
Pronaf Investimento | Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
RAC700 | Fornos retangulares de 26 metros de comprimento e 8 metros de largura
Reflora | Associação Sul-Mato-Grossense de Produtores e Consumidores de Florestas Plantadas
RG | Rendimento gravimétrico: kg de carvão/kg de madeira – base seca
Rima | Relatório de Impacto Ambiental
Semad/MG | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
Supram | Superintendências Regionais de Regularização Ambiental da Semad/MG
t. | tonelada
t.cv/h.a | Toneladas de carvão vegetal produzido por homem por ano
t.cv.mês | Toneladas de carvão vegetal por mês
t.mad/mês | Toneladas de madeira por mês
Ufla | Universidade Federal de Lavras/MG
UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais
Ufop | Universidade Federal de Ouro Preto/MG
UFV | Universidade Federal de Viçosa/MG
UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change
Unifem | Centro Universitário da Sete Lagoas/MG
Unitecne | Unidade de Tecnologia e Negócios / Incubadoras de Empresas da Uniube/MG
Uniube | Universidade de Uberaba/MG
VPL | Valor Presente Líquido
WWF | *World Wild Found for Nature* (Fundo Mundial para a Natureza)



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

ISBN 978-85-60755-91-2

Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA