

## **PRODUTO 8: Relatório do Balanço de Carbono da propriedade que hospeda a unidade demonstrativa**

Relatório referente a Ação 8 vinculada ao Edital JOF-1069/2019; Incentivo à produção sustentável de carvão vegetal de florestas plantadas, com melhoria das tecnologias de produção e execução de programas de capacitação.

### Equipe Técnica:

Marina Donária Chaves Arantes/UFSJ  
Ana Flávia Neves Mendes Castro/UFSJ  
Glauciana da Mata Ataíde/UFSJ  
Renato da Silva Vieira/UFSJ  
Renato Vinícius Oliveira Castro/UFSJ  
Silvana Maria Novais Ferreira Ribeiro/INAES  
Isabella Carolina de Almeida/UFSJ/Estagiária  
Lívia Ferreira da Silva/UFSJ/Estagiária  
Reginaldo Arthur Gloria Marcelino/UFSJ/Estagiário

**Sete Lagoas, MG  
2020**

## SUMÁRIO

1. Apresentação do relatório referente ao produto 8.	3
1.1 Plano de Trabalho e Cronograma de Execução das atividades	3
1.2 Contextualização da produção de carvão vegetal e ferro gusa no Brasil e Minas Gerais	4
1.3 Resumo	6
2. Introdução	8
3. Capítulo 1 - Mapeamento da propriedade que hospeda a unidade demonstrativa	11
3.1 Área de estudo: <i>Campus</i> UFSJ/CSL e Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal (Sistema Fornos-fornalha)	11
3.2 Capítulo 1 - Inventário Florestal Contínuo da propriedade	14
3.2.1 Materiais e métodos	14
3.2.2 Resultados e discussão	19
3.2.2.1 Análise da composição florística	19
3.2.2.2 Índices de diversidade, similaridade florística e análises dendrométricos	24
3.2.3 Conclusões	32
3.3 Capítulo 2 - Quantificação das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa – GEE	33
3.3.1.1 Impacto e qualidade ambiental pela quantificação dos GEE	33
3.3.1.2 Produção de carvão vegetal e a importância da quantificação dos GEE	34
3.3.1.3 Quantificação de GEE pelo Charcoal System e impactos positivos	36
3.3.2 Materiais e métodos	38
3.3.3 Resultados e discussão	41
3.3.3.1 Relatório de Balanço de carbono	41
3.3.3.2 Relatório de Emissões da Siderurgia pela Carbonização	44
3.3.4 Conclusões	49
3.4 Capítulo 3 - Medição e monitoramento de emissões pelo método MRV	50
3.4.1 Materiais e métodos	50
3.4.1.1 Descrição do forno utilizado para a coleta de dados	50
3.4.1.2 Processo de carbonização da madeira de eucalipto	50
3.4.1.3 Aplicação da Mensuração, Relato e Verificação (MRV) para avaliação a do sistema fornos-fornalha	53
3.4.1.3.1 Linha de base	53
3.4.1.3.2 Cluster de MRV – Rendimento Gravimétrico do Carvão	54
3.4.1.3.3 Cluster de MRV – Queimadores	55
3.4.2 Resultados e discussão	57
3.4.2.1 Cluster de MRV – Rendimento Gravimétrico	59
3.4.2.2 Cluster de MRV – Queimadores	63
3.4.3 Conclusões	63
5. Considerações finais	65
6. Referências	66

## **1. Apresentação do relatório referente ao produto 8.**

De acordo com a proposta técnica submetida ao edital JOF-1069/2019; Incentivo à produção sustentável de carvão vegetal de florestas plantadas, com melhoria das tecnologias de produção e execução de programas de capacitação, para que este projeto seja realizado de forma adequada e atenda a todas as suas especificidades, a metodologia para o desenvolvimento das atividades foram subdivididas em dez etapas, adaptado à mesorregião de execução da presente proposta, as quais possuem suas ações descritas na metodologia da proposta e deverão ser enviadas por meio de relatórios de acordo com o novo cronograma de execução, a ou seja, este produto deve ser enviado ao Pnud até 12/10/2020.

Desta forma foi previsto na metodologia da proposta como Produto 8, a ação referente à Ação 8: Relatório do Balanço de Carbono da propriedade que hospeda a unidade demonstrativa.

O produto 8 contempla as seguintes atividades: Plano de Trabalho e Cronograma de Execução das atividades considerando o Relatório do Balanço de Carbono da propriedade que hospeda a unidade demonstrativa, o qual está subdividido em três capítulos para as principais atividades desenvolvidas. O Capítulo 1 com o inventário florestal contínuo da propriedade onde está hospedada a unidade demonstrativa. No Capítulo 2, o registro dos resultados do monitoramento das emissões de gases de efeito estufa e remoção de carbono. O Capítulo 3 com o monitoramento das emissões do sistema fornos-fornalha realizado segundo metodologia de Mensuração, Relato e Verificação/MRV, da referida unidade demonstrativa vinculada ao Projeto Siderurgia Sustentável (rendimento gravimétrico com queima de gases).

### **1.1 Plano de Trabalho e Cronograma de Execução das atividades**

- Mapeamento da propriedade onde está instalada a unidade demonstrativa;
- Capítulo 1: Realização do inventário florestal, com o lançamento de

parcelas permanentes no local;

- Capítulo 2: Quantificação das emissões de gases de efeito estufa das atividades agropecuárias desenvolvidas na propriedade que hospeda a unidade demonstrativa, considerando por exemplo a pecuária leiteira, adubação, energia elétrica e combustível;
- Capítulo 3: Medição e monitoramento de emissões do sistema fornos-fornalha segundo a metodologia de MRV do Projeto Siderurgia Sustentável;
- Considerações finais relativas ao desenvolvimento das atividades realizadas.

## **1.2 Contextualização da produção de carvão vegetal e ferro gusa no Brasil e Minas Gerais**

De acordo os dados do relatório anual IBA (2019), o Brasil possui um quantitativo de árvores plantadas de aproximadamente 7,83 milhões de hectares se mantendo estável em relação ao ano anterior. No qual, estima-se que 12% dessa produção total de madeira de áreas plantadas foi destinada para a conversão em carvão vegetal. Em relação a produção de carvão vegetal, ocorreu um aumento de 18,9% de carvão vegetal de origem florestal, para o mesmo período avaliado (IBGE, 2018).

Vale ressaltar que, as Regiões Sul e Sudeste do País concentram a maioria da produção florestal, correspondendo juntas a 64,2% do valor de produção nacional, destacando-se o Estado de Minas Gerais, que detém 22,8% do total nacional a partir da silvicultura (floresta plantada) (IBGE, 2018), e dados do IBA (2019), sendo 24% do plantio nacional de eucalipto. Sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor nacional de carvão vegetal a partir de florestas plantadas, conforme relatório anual e mais recente para a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura de 2018 divulgado pelo IBGE (IBGE, 2018).

Com relação ao carvão vegetal de origem plantada, observa-se que Minas Gerais se destaca, sendo responsável por uma produção de, aproximadamente 5,09 milhões de toneladas de carvão vegetal no ano de 2018, o que representa 84,1% do total produzido no Brasil (IBGE, 2018). No ano de 2017, Minas Gerais

possuía uma área coberta com plantios florestais de eucaliptos, de aproximadamente 1,96 milhões de hectares; destes 634.968 hectares destinados à produção de carvão vegetal vinculada a produção de ferro gusa de acordo com os dados do SINDIFER (IBGE, 2018; SINDIFER, 2020).

Diante disso, é de grande importância destacar a contribuição que o setor de carvão vegetal tem para a economia do Estado de Minas Gerais, bem como a enorme contribuição que possui no cenário Nacional, sendo de aproximadamente R\$ 4,6 bilhões, com crescimento de 45,7%. Contudo, este valor tende a aumentar para os próximos anos, ressaltando-se que o gênero *Eucalyptus* spp. corresponde a 99% da produção de carvão vegetal, evidenciando o uso desta espécie no setor siderúrgico. Além disso, o Estado de Minas Gerais é o que detém a maior área florestal plantada do País, superior aos 2 milhões de hectares, tendo um aumento de 3,3% comparado ao ano anterior, sendo quase sua totalidade com eucalipto (IBGE, 2018).

Ainda ao verificar o estado de Minas Gerais, é notório que a região Norte se destaca no que diz respeito à produção de carvão vegetal, sendo responsável por aproximadamente 24% da produção total do Estado, seguida das regiões Jequitinhonha, com 19,75% e Central Mineira com 19,31%. A região metropolitana de Belo Horizonte, na qual está inserida a mesorregião de Sete Lagoas, é responsável por 8,24% da produção mineira de carvão vegetal (IBGE, 2018).

A mesorregião de Sete Lagoas é composta por 20 municípios e apresentou uma produção estimada de 173,7 toneladas de carvão vegetal, em 2017, o que corresponde a 33,51% da produção da região metropolitana de Belo Horizonte e 3,41% da produção mineira. Além disso, nessa região os plantios florestais de eucalipto cobriam uma área de 13,5 mil hectares referente ao relatório técnico do ano de 2018 (IBGE, 2018). Nos últimos cinco anos a mesorregião de Sete Lagoas teve um aumento na produção média anual de carvão vegetal de 63,5 mil toneladas. Os municípios com maior produtividade no ano de 2018 foram Paraopeba e Papagaios, com 105,1 e 23,3 toneladas de carvão vegetal produzidos, respectivamente. Já os municípios de Cachoeira da Prata, Capim Branco, Fortuna de Minas, Inhaúma, Pequi e Santana do Riacho não obtiveram nenhuma produção

no mesmo ano.

Analisando-se dados vigentes do anuário do Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais - SINDIFER referente ao Anuário Estatístico de 2020, com ano base de 2019, relativos à produção da indústria do Ferro Gusa no Brasil, observa-se uma produção anual de 6.953.430 toneladas de ferro gusa, advindo de Siderurgia a carvão vegetal, sendo que destes 5.516.562 toneladas foram produzidos no Estado de Minas Gerais, o qual se destaca por ser o maior produtor Nacional se tratando de produtores independentes e integradas. Neste contexto, a mesorregião de Sete Lagoas se destaca por ser o município de maior produção independente de ferro gusa, apresentando 18 usinas com capacidades de 229.000 toneladas por mês. Minas Gerais também se destaca por ser o maior mercado interno e externo de comercialização do País, contribuindo para mais de 70% do ferro gusa produzido nacionalmente, correspondendo a 2.017.241,50 toneladas, produzido a partir do carvão vegetal (SINDIFER, 2020).

### **1.3 Resumo**

A utilização da biomassa de origem florestal vem sendo cada vez mais valorizada por ser uma fonte renovável para fins energéticos. Atualmente o setor florestal tem elaborado e estruturado estratégias para aumentar o fornecimento de matéria prima para geração do carvão vegetal. Desse modo, espera-se aprimorar o desenvolvimento sustentável da indústria nacional de base florestal e das siderúrgicas, principalmente através de educação e legislação ambiental que vêm sendo, cada vez mais, incrementada na cadeia produtiva do carvão vegetal, até a redução de emissão de particulados na atmosfera pelas unidades produtoras. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar e avaliar o inventário florestal contínuo da propriedade onde está instalada a unidade demonstrativa do sistema fornos-fornalha da Região Metropolitana de Belo Horizonte, localizada no campus Sete Lagoas da Universidade Federal de São João del-Rei. Além disso, registrar os resultados do monitoramento das emissões de GEE e remoção de carbono, que foi calculado e avaliado pelo *software* Charcoal System, bem como o monitoramento das emissões do sistema fornos-fornalha, realizado segundo

metodologia de Mensuração, Relato e Verificação - MRV, da referida unidade vinculada ao Projeto Siderurgia Sustentável. De acordo com os resultados obtidos no inventário florestal contínuo da propriedade, nota-se que, é um local de alta diversidade, confirmada pelo Índice de Pielou acima de 0,7 e pelo Índice de Sorensen dentre todas as parcelas avaliadas, mesmo se tratando de um pequeno fragmento. Foi possível observar que as espécies *Eucalyptus* spp., ao se considerar o entorno do *campus* por toda sua borda da propriedade, já a *Qualea grandiflora* Mart., e a *Terminalia argentea* são de maiores ocorrência no fragmento florestal do Cerrado, bem como as famílias Vochysiaceae e Fabaceae mais representativas. A quantificação e balanço das emissões e remoção de GEE na propriedade, verificou que o sistema de produção vinculado ao projeto Siderurgia Sustentável, com o queimador presente (fornalha), cumpriu seu objetivo de reduzir as emissões de GEE na atmosfera. Assim, auxilia positivamente na obtenção de um produto de elevada qualidade com produção mais “limpa” e eficiente. As florestas cumpriram com papel de estoque/sequestro de carbono, contribuindo para o balanço positivo de carbono. Já os resultados para a metodologia MRV não foram os esperados previamente para o Projeto Siderurgia Sustentável. A elevada umidade da madeira, bem como as condições climáticas durante o processo de carbonização, contribuiu no baixo rendimento gravimétrico em carvão vegetal, obtendo valores inferiores ao comumente observado para o método tradicional. Assim, tais resultados demonstram a necessidade da padronização e controle de qualidade da matéria prima utilizada. Contudo, ainda assim é viável a utilização do sistema forno-fornalha para a produção de carvão vegetal, que mesmo sob condições adversas, promoveu degradação térmica dos GEE gerados durante o processo de carbonização, e obteve qualidade do carvão vegetal, porém há necessidade de novas carbonizações em estação de seca, para viés de comparação.

## 2. Introdução

A utilização do carvão vegetal no Brasil, como termo redutor na siderurgia, teve início no estado de Minas Gerais na década de 70 em escala comercial (TEIXEIRA & RODRIGUES, 2018). A utilização do carvão vegetal em escala comercial também se iniciou em Minas Gerais, em meados do século XIX, principalmente devido à pressão sob o uso de reservas de carvão mineral, aliado a disponibilidade de carvão vegetal. Entretanto, em grande parte da história (década de 80 - 90), a produção de carvão vegetal ocorreu a partir da exploração de forma ilegal sem vincular a sustentabilidade. Dessa forma, estes fatores históricos propiciaram condições favoráveis para a utilização do carvão vegetal de produção sustentável no setor siderúrgico nos dias atuais (MALARD, 2009; REZENDE & SANTOS, 2010; SOUZA *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2014; MACHADO, 2017).

A utilização da biomassa de florestas plantadas vem sendo cada vez mais valorizada, pois utilizam-se áreas de plantios florestais como fonte de matéria prima, além de se constituir como uma fonte renovável de energia, sendo extremamente importante para as siderurgias. O Brasil é líder mundial na produção de aço a partir do carvão vegetal, com uma produção que ultrapassa a marca de 4,5 toneladas ano, e o estado de Minas Gerais se destaca por ser o principal produtor e consumidor dessa base energética no país, devido ao seu parque siderúrgico (SIMIONI *et al.*, 2017; PESSOA, & DE PÁDUA RIBEIRO, 2017; FONTES *et al.*, 2005; REZENDE *et al.*, 2005; IBA, 2020).

Dessa forma, no Brasil, o setor florestal tem elaborado e estruturado estratégias para aumentar o fornecimento de matéria-prima para aprimorar o desenvolvimento da indústria nacional de base florestal de energia da biomassa, tendo em vista que o setor de carvão vegetal tem grande importância para as empresas siderúrgicas de todo país (Fernandes, 2013). Dessa forma, de acordo com dados oriundos do relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2020), as áreas de florestas plantadas encontram-se aproximadamente em torno de 7,8 hectares, e parcela deste plantio, aproximadamente 13%, são destinados para o utilização por meio do carvão vegetal como fonte de energia para subsistência deste parque siderúrgico, sendo que parte desse percentual ainda se

concentram por meio de produtores rurais.

De acordo com informações da Associação Mineira de Silvicultura (AMS) e trabalhos como o de Fontes *et al.*, (2005); Gomes *et al.*, (2007); Fernandes, (2013) e Imaña *et al.*, (2015), a maior parte da produção de carvão vegetal vão para os principais mercados consumidores do Estado, que estão localizados e concentrados nas regiões de Sete Lagoas, Belo Horizonte, Vertentes, João Monlevade, Rio Piracicaba, Rio Doce, Santos Dumont, Pirapora, Montes Claros, Ouro Preto e Divinópolis, o que evidencia estabelecer critérios de rastreabilidade das demandas dos produtores rurais como forma de fomento à pesquisa e extensão.

Assim, os estudos de caracterização das cadeias produtivas são essenciais para a compreensão do contexto histórico produtivo e de suas interações dentro de um território ou propriedade, a fim de buscar contextualizar as demandas eminentes no setor siderúrgico e carvão vegetal, porém quando se trata do carvão vegetal, principalmente de produtores rurais, tais cadeias são simplificadas, as vezes incompletas, ou em formação, o que pode vir a aumentar as dificuldades de estruturação na produção e na utilização da madeiras nativas como matéria prima, quase totalmente erradicada, além de estarem aliados aos preços baixos e altamente variáveis ao longo dos anos (COELHO JÚNIOR, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2020; SIMIONI *et al.*, 2017; REZENDE & SANTOS, 2010; & GOMES *et al.*, 2007).

Nos estudos de Malard, (2009); Oliveira *et al.*, (2014); Souza *et al.*, (2016) e Simioni *et al.*, (2017), foi relatado que a tecnologia mais amplamente utilizada na produção brasileira de carvão vegetal, em propriedades rurais independentes, são realizadas por meio de fornos de barro e/ou fornos de alvenaria, do tipo “rabo-quente” e pelos fornos de superfície. Dessa forma, tais processos de carbonização possuem baixo potencial de aproveitamento da madeira e dos gases de sua combustão, rendimento volumétrico intermediário a baixo do sistema de carbonização, além do que o controle da carbonização baseia-se normalmente em fatores subjetivos, como por exemplo a coloração da fumaça e a temperatura externa do forno sentida pelo tato das mãos.

Neste contexto, do ponto de vista socioambiental, a instalação e adaptação para fornos modernos de carbonização podem vir a contribuir para melhorias desse desempenho durante o processo, já utilizados por empresas de maior porte, tendo também redução na emissão de gases pelo seu aproveitamento como os coprodutos, além do que a produção de ferro-gusa utilizando o carvão vegetal, constitui a chamada produção de “aço verde”, assim inserindo-se no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), aumentando a valoração do produto final obtido e para futuras certificações florestais nacionais e internacionais e enquadramento legal (UHLIG, 2008; Simioni *et al.*, 2017; & Picancio *et al.*, 2018).

Sabe-se que a carbonização nos fornos tradicionais somada ao controle empírico da temperatura e da emissão dos particulados e gases diretamente na atmosfera, proporcionam baixo rendimento gravimétrico e elevada emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE (OLIVEIRA, 2012). Contudo, os processos de carbonização vêm sendo melhorados, visando diminuir os custos de produção e aumentar a eficiência econômica e ecológica do processo de produção, buscando aumentar a utilização de combustíveis de fontes renováveis, diminuição dos impactos, ambientais negativos e aumentar a competitividade do carvão vegetal perante o coque além de atender demandas atuais do mercado consumidor nacional e internacional (SILVA, 2019). Portanto, há necessidade também de buscar analisar a percepção dos produtores rurais acerca das mudanças climáticas, bem como o conhecimento deles sobre as causas e consequências dessas alterações e a importância das florestas nativas ou plantadas na minimização dessa problemática.

Diante do exposto, a realidade evidencia a necessidade de analisar os diferentes polos produtivos, cujas especificidades locais remetem a necessidades distintas. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi analisar e caracterizar o Balanço de Carbono, o inventário florestal da propriedade e o registro dos resultados do monitoramento das emissões de gases de efeito estufa, realizado segundo metodologia de mensuração, relato e verificação/MRV, da unidade demonstrativa fornos-fornalha vinculado ao Projeto Siderurgia Sustentável, na UFSJ *Campus Sete Lagoas*, em Minas Gerais.

### 3. Capítulo 1 - Mapeamento da propriedade que hospeda a unidade demonstrativa

#### 3.1 Área de estudo: *Campus* UFSJ/CSL e Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal (Sistema Fornos-fornalha)

O trabalho foi desenvolvido pela equipe técnica vinculada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João Del Rei - CSL, no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. As atividades foram realizadas nos laboratórios de Tecnologia da Madeira e Componentes Químicos e Anatômicos da Madeira. A área de estudo é o *Campus* CSL da Universidade Federal de São João del-Rei em Sete Lagoas (Figura 1), onde se encontram florestas de Cerrado (Figura 2) e a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão, utilizando para tal o sistema fornos-fornalha (Figura 3).

Sete Lagoas é o município referência da UFSJ/CSL, localizado na região central de Minas de Gerais, estando a aproximadamente 60 km da capital do Estado, e por ser uma das cidades de maior consumo dos produtos de origem florestal e também uma das maiores produtoras de carvão vegetal (COELHO JÚNIOR, 2017; RIBEIRO et al., 2020).

Figura 1: Mapa da área do *campus* CSL da UFSJ, com identificação das áreas de ocupação da propriedade.



Fonte: Google Earth, modificada pelos autores.

Figura 2: Vista aérea do *campus* da UFSJ/CSL, no qual se vê os prédios que compõem as salas de aula e laboratórios para pesquisa, ensino e extensão, as áreas de vegetação natural e áreas de pesquisa em campo, bem como parte do bairro que contorna a propriedade pelo lado direito.



Fonte: Professor Gustavo Eduardo Marcatti da UFSJ/CSL (Foto tirada por drone).

Figura 3: Vista aérea dos pavilhões de aula e laboratório bem como do início da conexão com a área do fragmento florestal do Cerrado, e da unidade demonstrativa de produção sustentável de carvão vegetal em construção, respectivamente nas imagens abaixo, localizada no *campus* da UFSJ/CSL.



Fonte: Professor Gustavo Eduardo Marcatti da UFSJ/CSL (Foto tirada por drone).

### 3.2 Capítulo 1 - Inventário Florestal Contínuo da propriedade

O inventário florestal contínuo tem por objetivo monitorar o crescimento, desenvolvimento e a regeneração natural da vegetação de determinado fragmento florestal. Para isto, parcelas permanentes (PP) são fundamentais para tal inventário e planejamento das atividades de análises dos dados a serem mensurados (Citação). É recomendado ainda que a primeira medição das PP seja realizada semanas antes ou durante o primeiro funcionamento da Unidade Demonstrativa, e a partir do segundo monitoramento das parcelas podem ser realizadas anualmente (BARRETO et al., 2017; COELHO et al., 2017; BRAZ et al., 2017). O processamento dos dados coletados desse inventário, e a confecção de mapas são cruciais para o manejo e controle florestal permitindo maior precisão nas práticas de campo, bem como planejamento de atividades de conservação e preservação.

No fragmento florestal em estudo é importante ressaltar que há presença de indivíduos de *Eucalyptus* spp., tais como (*E. citriodora*; *E. grandis*; *E. tereticornis*, dentre outros). Contudo, estão todos localizados em todo perímetro/borda da propriedade, cercados por estradas internas da própria UFSJ/CSL, plantados a mais de 15 anos, desde a fundação da propriedade. Assim, devido a metodologia de alocação das parcelas permanentes no inventário florestal contínuo, acabou não contemplando estas espécies, mas estão em grande ocorrência e distribuição no *Campus*, mas estão contempladas no planejamento de manejo.

#### 3.2.1 Materiais e métodos

Para a realização do Inventário florestal contínuo foram marcadas 07 parcelas permanente retangulares com 400m<sup>2</sup> e dimensões 10 x 40m na área da floresta natural de Cerrado, descrita na Tabela 1, para a área da UFSJ/CSL. Posteriormente foram realizados os levantamentos florísticos com a identificação taxonômica das espécies que ocorrem na formação vegetal, sendo a base para a execução de comparações qualitativas entre diferentes comunidades vegetais e para a realização de estudos mais profundos sobre a estrutura e dinâmica dessas

comunidades. A identificação botânica das espécies, ocorreu para todas as árvores acima de cinco centímetros de diâmetro a altura do peito - DAP. O estudo da caracterização das espécies presentes em determinada área foi por meio da listagem das espécies (composição), a similaridade com áreas adjacentes, o nível de agregação e a diversidade presentes na floresta do Cerrado (ROSSI et al., 2018; PIRES et al., 2018; HENRIQUE, 2018; RIOS et al., 2018).

**Tabela 1:** Descrição do inventário florestal contínuo e da área de floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

Informações do Inventário e Propriedade:	
Parcelas Fixas ou Permanentes (400m <sup>2</sup> )	7.00
Área total Amostrada (m <sup>2</sup> )	2800.00
Área de Floresta Nativa (ha)	10.0
Indivíduos Inventariados	394.00
Área Total da propriedade (ha)	30.00
Intensidade amostral (> 5% pop. finita) (%)	9.33

Dessa forma, foi medido o DAP, altura e a plaquetagem do indivíduo *in loco*, para facilitar o monitoramento do desenvolvimento e conservação da floresta, para as futuras mensurações e inventários na área. Posteriormente foi calculada e avaliada sua estrutura horizontal, a partir de sua composição florística levantada, pelo método do Índice de Valor de Importância/IVI, calculado a partir da densidade (abundância), dominância (cobertura) e frequência (distribuição) absolutas e relativas, nas Equações (1, 2 e 3), respectivamente, dos indivíduos inventariados na área. De forma geral o IVI, é obtido pela soma dos valores relativos da densidade (número de indivíduos), frequência (distribuição dos indivíduos) e dominância (área basal) por espécie, representando uma visão mais ampla da estrutura das espécies caracterizando sua importância ecológica no total do povoamento da área estudada. Também foi estimado o Índice de Valor de Cobertura/IVC, que mensura a importância de uma espécie pelo número de árvores e suas dimensões (densidade e dominância) que determinam sua ocupação no fragmento florestal, ou seja, este índice não importa se as árvores

aparecem isoladas ou em grupos (frequência).

$$\text{Eq. 1 - } DA_i = \frac{n_i}{A} \quad DR_i = \frac{DA_i}{\sum_{i=1}^p DA_i} \times 100$$

$$\text{Eq. 2 - } DoA_i = \frac{AB_i}{A} \quad DoR_i = \frac{DoA_i}{\sum_{i=1}^p DoA_i} \times 100$$

$$\text{Eq. 3 - } FA_i = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^p FA_i} \times 100$$

em que:

DA<sub>i</sub> = densidade absoluta para a i-ésima espécie (em nº indivíduo por ha)

DR<sub>i</sub> = densidade relativa para a i-ésima espécie;

n<sub>i</sub> = número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie;

A = área amostrada, em hectare;

P = número de espécies amostradas na comunidade.

DoA<sub>i</sub> = dominância absoluta para a i-ésima espécie, em m<sup>2</sup>/ ha;

AB<sub>i</sub> = área basal da i-ésima espécie, em m<sup>2</sup>/ ha;

DoR<sub>i</sub> = dominância relativa da i-ésima espécie, em %;

FA<sub>i</sub> = frequência absoluta da i-ésima espécie, dada em %;

n<sub>i</sub> = número de unidades amostrais em que a i-ésima espécie está presente;

N = número total de unidades amostrais;

FR<sub>i</sub> = frequência relativa da i-ésima espécie, em %;

Também foi estimado o índice de agregação das espécies estabelecidos pelos seguintes métodos: Índice de Agregação de Espécies de McGuinnes/IGA, Equação 4, o qual estima o grau de agregação das espécies, em termos das densidades observada e esperada. E também pelo Índice de Dispersão de Fracker & Brischle (K), Equação 5.

$$\text{Eq. 4 - } IGA_i = \frac{D}{d_i}$$

$$\text{Eq. 5 - } K_i = (D_i - d_i)/d_i^2$$

em que:

$D = (n_i / u_t)$ , isto é, a média dos indivíduos, da i-ésima espécie, nas parcelas amostras;

$d = -\ln(1 - F_i)$ ;

$F_i = u_i / u_t$

$n_i$  = número de indivíduos, da i-ésima espécie, na amostragem;

$u_i$  = número de unidades de amostra em que a i-ésima espécie está presente;

$u_t$  = número total de unidades de amostra;

$IGA$  = índice de McGuinness;

$D$  = densidade observada;

$d$  = densidade esperada;

$F_i$  = frequência da i-ésima espécie;

$\ln$  = logaritmo natural de base

$K_i$  = Índice de Fracker e Brischle estimado para a i-ésima espécie;

$D_i$  = densidade observada da i-ésima espécie;

$d_i$  = densidade esperada da i-ésima espécie

Para  $IGA < 1$ , interpreta-se como distribuição uniforme; para  $IGA = 1$ , interpreta-se como distribuição aleatória; para  $1 < IGA \leq 2$ , interpreta-se como sendo de tendência ao agrupamento; e  $IGA > 2$ , o padrão de distribuição é tido como agregado. No que diz respeito ao Índice de Fracker e Brischle ( $K$ ), Se  $K \leq 0,15$ , o padrão de distribuição espacial da espécie é aleatório; se  $0,15 < K \leq 1,0$ , indica tendência ao agrupamento; e se  $K > 1,0$ , o padrão de distribuição espacial da espécie é agregado (MCGINNIES, 1934; MUELLER-DOMBOIS & ELLEMBERG, 1974; RODAL, et al., 1992).

Após isto, foi realizado a comparação e aplicação dos índices que quantificam a diversidade, a similaridade e equabilidade florística da área em estudo; identificar possíveis gradientes de diversidade. Para isto foi considerado os seguintes índices ecológicos de: Shannon Weaver (H'); e Índice de Pielou (C). O Índice de diversidade de Shannon Weaver (H') é calculado, Equação 6, com base no número de indivíduos de cada espécie e no total de indivíduos, assim, o índice tende a aumentar à medida que a floresta se aproxima do estado climácico. Já o Índice de Pielou (C), pode ser calculado, Equação 7, o qual avalia uniformidade e diversidade do local.

$$\text{Eq. 6 - } H' = \frac{N \times \log(N) - \sum_{i=1}^S n_i \times \log(n_i)}{N}$$

$$\text{Eq. 7 - } C = H'/H_{\max}$$

em que:

C=Índice de uniformidade de Pielou;

Hmax = Ln(S) = diversidade máxima

S = número de sps. amostradas = riqueza.

Entretanto, esses índices visam avaliar tais fragmentos florestais, de área natural, porém, cercada por meios/locais antropizados, o que constitui um dos maiores desafios para a conservação e manutenção desses fragmentos naturais. E o Índice de Pielou (C), pode variar entre 0 e 1, sendo que, o 1 representa a máxima diversidade florística do fragmento avaliado. Também foi medido o índice de similaridade dentre as parcelas permanentes inventariadas pelos coeficientes de similaridade, Equação 8, de Sorensen (SO) (BEGON et al., 1996; RODAL, et al., 1992; ODUM, 1988; RICKLEFS, 2003).

$$\text{Eq. 8 } SO_{ij} = \frac{2c}{a+b} \quad -$$

em que:

a = número de espécies ocorrentes na parcela (x);

b = número de espécies ocorrentes na parcela (y);

c = número de espécies ocorrentes nas duas parcelas.

Para a determinação estimativa do volume das espécies inventariadas na área do fragmento florestal do Cerrado, referente aos locais das parcelas permanentes, seguiram critérios pré estabelecidos, em estudos do CETEC, (1995) e MEDEIROS, (2018), ao considerar os modelos e equações para estimar volume de espécies específicas do Cerrado Brasileiro.

### **3.2.2 Resultados e discussão**

#### **3.2.2.1 Análise da composição florística**

Na área amostrada para os indivíduos arbóreos com DAP a partir de 5cm foram registrados 394 indivíduos, distribuídas em 49 espécies pertencentes a 17 famílias botânicas, conforme Tabelas 2 e 3, respectivamente, sendo a Vochysiaceae, Fabaceae, Malpighiaceae e Combretaceae as de maior representatividade, sendo uma característica forte de áreas naturais de vegetação do Cerrado.

Com um diâmetro médio 11cm e altura média 4m, observa-se na Tabela 4 as dominâncias, densidades e frequências e seus respectivos valores de importância ecológica de acordo com o Índice de Valor de Importância/IVI para a área. A espécie *Qualea grandiflora* Mart. destaca-se com maior IVI, de 73%, aproximadamente, e a *Terminalia argentea* logo depois com 23%, o que as tornam as principais espécies da área, com maior representatividade local, e de maior amplitude de ocorrência na área de Cerrado avaliada, que compete a região natural da propriedade estudada. Sendo a *Q. grandiflora* Mart., a espécie símbolo do Cerrado brasileiro.

Em relação as espécies de *Eucalyptus* spp., que estão em toda borda do *campus* foram todas implantadas na propriedade durante sua criação, sendo espécies que possui mais de 15 anos. Porém, vale ressaltar que são indivíduos

originados de sementes e que possuem mais de 10 anos de idade, estando presentes desde fundação e criação da universidade. O que demonstra estarem ultrapassando a idade de corte, pois apresentam grandes diâmetros médios, sendo maiores de 20 cm, fatores estes influenciadores e consideráveis durante o processo de carbonização e qualidade final do carvão vegetal.

**Tabela 2:** Listagem das médias de altura, DAP e contagem das espécies existentes na floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

<i>Espécies</i>	Contagem (Qt.)	Média de DAP (cm)	Média de Altura (m)
<i>Aloysia virgata</i>	15.00	8.09	3.77
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	1.00	6.00	3.00
<i>Astronium fraxinifolium</i>	7.00	7.16	4.59
<i>Bowdichia virgilioides</i>	14.00	11.78	6.00
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	12.00	7.80	4.01
<i>Byrsonima crassifolia</i>	19.00	8.86	3.55
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	4.00	12.91	3.23
<i>Byrsonima stipulacea</i>	6.00	12.20	3.12
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	4.00	12.57	2.60
<i>Caryocar brasiliense</i>	3.00	21.19	5.75
<i>Dalbergia miscolobium</i>	11.00	9.80	4.27
<i>Dimorphandra mollis</i>	4.00	13.37	5.00
<i>Erythroxylum deciduum</i>	6.00	7.22	3.72
<i>Eugenia dysenterica</i>	17.00	8.15	4.52
<i>Handroanthus aureus</i>	5.00	12.76	3.16
<i>Handroanthus serratifolius</i>	1.00	11.78	4.40
<i>Indeterminada 1</i>	2.00	5.25	4.00
<i>Indeterminada 10</i>	1.00	5.41	4.00
<i>Indeterminada 2</i>	1.00	6.00	2.00
<i>Indeterminada 3</i>	2.00	5.70	2.65
<i>Indeterminada 4</i>	1.00	14.01	4.50
<i>Indeterminada 5</i>	2.00	6.05	3.25
<i>Indeterminada 6</i>	1.00	7.00	3.00
<i>Indeterminada 7</i>	1.00	7.32	4.00
<i>Indeterminada 8</i>	1.00	8.59	6.00

<i>Indeterminada 9</i>	2.00	7.80	5.00
<i>Kielmeyera coriacea</i>	1.00	4.77	3.00
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	31.00	7.82	4.30
<i>Lithraea molleoides</i>	1.00	20.70	6.00
<i>Machaerium opacum</i>	4.00	7.73	5.28
<i>Machaerium villosum</i>	1.00	7.30	5.00
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	3.00	9.02	6.00
<i>Ouratea hexasperma</i>	2.00	7.96	2.10
<i>Palicourea rigida</i>	1.00	9.23	2.70
<i>Piptocarpha rotindiflora</i>	1.00	20.69	3.40
<i>Plathymenia reticulata</i>	27.00	11.55	5.42
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	1.00	8.28	3.10
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	3.00	11.80	6.50
<i>Qualea grandiflora</i>	97.00	13.28	3.90
<i>Qualea multiflora</i>	6.00	11.41	2.80
<i>Qualea parviflora</i>	16.00	9.35	3.59
<i>Salvertia convallariodora</i>	1.00	18.12	3.60
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	8.00	11.32	4.61
<i>Tecoyena formosa</i>	1.00	7.64	1.80
<i>Terminalia argentea</i>	34.00	9.54	4.80
<i>Tocoyena formosa</i>	1.00	5.41	2.00
<i>Verbenaceae</i>	10.00	9.64	4.25
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	1.00	12.40	6.00
<i>Total Geral</i>	394.00	10.19	4.13

**Tabela 3:** Listagem das famílias botânicas em ordem de representatividade, referente as espécies existentes na floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

Famílias	Indivíduos (Qt)
Vochysiaceae	120
Fabaceae	100
Malpighiaceae	45
Combretaceae	34
Verbenaceae	26
Myrtaceae	17
Anacardiaceae	15
Erythroxylaceae	6
Bignoniaceae	4
Malvaceae	4
Caryocaraceae	3
Rubiaceae	3
Ochnaceae	2
Apocynaceae	1
Asteraceae	1
Clusiaceae	1
Rutaceae	1

**Tabela 4:** Representação do IVI e IVC percentuais, com sua estrutura horizontal da área de floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

Espécies	Dominância (%)	Densidade (%)	Frequência (%)	IVI (%)	IVC (%)
<i>Qualea grandiflora</i>	39.28	24.62	9.00	72.90	63.90
<i>Terminalia argentea</i>	8.31	8.63	6.00	22.94	16.94
<i>Plathymenia reticulata</i>	5.21	6.85	6.00	18.06	12.06
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	3.87	7.87	3.00	14.74	11.74
<i>Qualea parviflora</i>	3.76	4.06	5.00	12.82	7.82
<i>Eugenia dysenterica</i>	3.28	4.31	5.00	12.60	7.60
<i>Bowdichia virgilioides</i>	4.96	3.55	4.00	12.52	8.52
<i>Byrsonima crassifolia</i>	2.26	4.82	4.00	11.08	7.08
<i>Dalbergia miscolobium</i>	2.23	2.79	6.00	11.02	5.02
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	1.83	2.03	4.00	7.86	3.86
<i>Caryocar brasiliense</i>	3.27	0.76	3.00	7.03	4.03

<i>Aloysia virgata</i>	1.96	3.81	1.00	6.77	5.77
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	1.51	3.05	2.00	6.56	4.56
<i>Handroanthus aureus</i>	2.10	1.27	3.00	6.37	3.37
<i>Qualea multiflora</i>	2.30	1.52	2.00	5.83	3.83
<i>Verbenaceae (Indivíduos)</i>	2.11	2.54	1.00	5.65	4.65
<i>Astronium fraxinifolium</i>	0.71	1.78	2.00	4.49	2.49
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	1.23	1.02	2.00	4.24	2.24
<i>Byrsonima stipulacea</i>	1.57	1.52	1.00	4.09	3.09
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	0.70	1.02	2.00	3.71	1.71
<i>Dimorphandra mollis</i>	1.41	1.02	1.00	3.42	2.42
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	0.65	0.76	2.00	3.41	1.41
<i>Erythroxylum deciduum</i>	0.63	1.52	1.00	3.15	2.15
<i>Machaerium opacum</i>	0.50	1.02	1.00	2.51	1.51
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0.49	0.76	1.00	2.25	1.25
<i>Lithraea molleoides</i>	0.82	0.25	1.00	2.08	1.08
<i>Ouratea hexasperma</i>	0.24	0.51	1.00	1.75	0.75
<i>Indeterminada 9</i>	0.24	0.51	1.00	1.74	0.74
<i>Indeterminada 5</i>	0.14	0.51	1.00	1.65	0.65
<i>Indeterminada 3</i>	0.12	0.51	1.00	1.63	0.63
<i>Indeterminada 4</i>	0.38	0.25	1.00	1.63	0.63
<i>Indeterminada 1</i>	0.11	0.51	1.00	1.61	0.61
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	0.30	0.25	1.00	1.55	0.55
<i>Piptocarpha rotundiflora</i>	0.22	0.25	1.00	1.47	0.47
<i>Handroanthus serratifolius</i>	0.15	0.25	1.00	1.41	0.41
<i>Indeterminada 8</i>	0.14	0.25	1.00	1.40	0.40
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	0.13	0.25	1.00	1.39	0.39
<i>Tecoyena formosa</i>	0.11	0.25	1.00	1.37	0.37
<i>Salvertia convallariodora</i>	0.10	0.25	1.00	1.36	0.36
<i>Indeterminada 7</i>	0.10	0.25	1.00	1.36	0.36
<i>Machaerium villosum</i>	0.10	0.25	1.00	1.36	0.36
<i>Indeterminada 6</i>	0.09	0.25	1.00	1.35	0.35
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	0.07	0.25	1.00	1.32	0.32
<i>Indeterminada 2</i>	0.07	0.25	1.00	1.32	0.32
<i>Palicourea rigida</i>	0.06	0.25	1.00	1.31	0.31
<i>Tocoyena formosa</i>	0.06	0.25	1.00	1.31	0.31
<i>Indeterminada 10</i>	0.06	0.25	1.00	1.31	0.31
<i>Kielmeyera coriacea</i>	0.04	0.25	1.00	1.30	0.30
Total Geral	100.00	100.00	100.00	300.00	200.00

### 3.2.2.2 Índices de diversidade, similaridade florística e análises dendrométricos

Relacionado com os índices de agregação das espécies no fragmento florestal (Tabela 5), com o IGA < 1, interpreta-se como distribuição uniforme para a espécie; já para Fracker e Brischle (K), Se  $K \leq 0,15$ , o padrão de distribuição espacial da espécie é aleatório, já para IGA > 2, o padrão de distribuição é tido como agregado e  $K > 1,0$ , o padrão de distribuição espacial da espécie é agregado (HENRIQUE, 2018; RIOS et al., 2018).

**Tabela 5:** Representação dos índices agregação e dispersão, para as espécies inventariadas da área de floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

<i>Espécies</i>	IGA	Fracker e Brischle (K)
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	0.93	-0.48
<i>Handroanthus serratifolius</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 10</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 2</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 4</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 6</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 7</i>	0.93	-0.48
<i>Indeterminada 8</i>	0.93	-0.48
<i>Kielmeyera coriacea</i>	0.93	-0.48
<i>Lithraea molleoides</i>	0.93	-0.48
<i>Machaerium villosum</i>	0.93	-0.48
<i>Palicourea rigida</i>	0.93	-0.48
<i>Piptocarpha rotindiflora</i>	0.93	-0.48
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	0.93	-0.48
<i>Salvertia convallariodora</i>	0.93	-0.48
<i>Tecoyena formosa</i>	0.93	-0.48
<i>Tocoyena formosa</i>	0.93	-0.48
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	0.93	-0.48
<i>Handroanthus aureus</i>	1.28	0.49
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	1.70	2.08
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	1.70	2.08
<i>Caryocar brasiliense</i>	1.78	-0.92

<i>Indeterminada 1</i>	1.85	5.54
<i>Indeterminada 3</i>	1.85	5.54
<i>Indeterminada 5</i>	1.85	5.54
<i>Indeterminada 9</i>	1.85	5.54
<i>Ouratea hexasperma</i>	1.85	5.54
<i>Bowdichia virgilioides</i>	2.36	1.61
<i>Terminalia argentea</i>	2.50	0.77
<i>Qualea multiflora</i>	2.55	4.60
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	2.71	0.93
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	2.78	5.06
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	2.78	11.55
<i>Dalbergia miscolobium</i>	2.88	5.56
<i>Astronium fraxinifolium</i>	2.97	5.86
<i>Dimorphandra mollis</i>	3.71	17.56
<i>Machaerium opacum</i>	3.71	17.56
<i>Plathymenia reticulata</i>	3.89	2.49
<i>Qualea parviflora</i>	4.97	12.96
<i>Eugenia dysenterica</i>	5.02	6.22
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	5.09	12.17
<i>Byrsonima stipulacea</i>	5.56	29.58
<i>Erythroxylum deciduum</i>	5.56	29.58
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	7.91	12.35
<i>Verbenaceae</i>	9.27	53.63
<i>Byrsonima crassifolia</i>	9.53	39.04
<i>Aloysia virgata</i>	13.90	83.69
<i>Qualea grandiflora</i>	16.51	55.89

Sendo assim, as espécies *Aspidosperma tomentosum* e *Handroanthus serratifolius* para esse fragmento florestal estão com comportamento do tipo disperso e não uniforme para a área da propriedade, ou seja, estão em locais isolados no fragmento, além de possuírem um dos menores IVI para a área. Já para *Aloysia virgata* e *Qualea grandiflora*, possuem comportamento agregado e distribuição agregada no fragmento florestal, ou seja, em grupos com indivíduos próximos, podendo ser explicado pela dispersão de sementes das espécies e

sucessão natural dos novos indivíduos, além do que são as que possuem maiores IVI.

No que diz respeito aos índices de similaridade e diversidade para o fragmento florestal avaliado, nota-se na Tabela 6 o índice de Pielou de 0.73, o que demonstra uma diversidade considerável alta para a propriedade estudada, em que apresenta uma grande variação de espécies para uma pequena área, isto ocorre, devido a área se manter intacta, com baixo impacto negativo ou mudanças antrópicas severas, que vem favorecendo sua manutenção e desenvolvimento. Isso é confirmado ao se avaliar a similaridade dentre as parcelas (Tabela 7), a qual, evidencia esta variação de espécies para a área avaliada, sendo que a similaridade das parcelas não passou de 0.50 para nenhuma delas, pelo índice de Sorensen.

**Tabela 6:** Representação dos índices de similaridade e diversidade florística para as espécies inventariadas da área de floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

Índices para análise da Vegetação referente a área da UFSJ-CSL	
Shannon Weaver (H')	2.842
S	49 espécies
H máx	3.892
Índice de Pielou (J)	0.730

**Tabela 7:** Representação dos índices de similaridade de Sorensen para as parcelas inventariadas da área de floresta natural da UFSJ/CSL onde consta a Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal.

Parcelas x Parcelas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
P1	1	0.36	0.31	0.29	0.26	0.29	0.42
P2		1	0.47	0.32	0.24	0.17	0.46
P3			1	0.43	0.21	0.29	0.48
P4				1	0.27	0.16	0.27
P5					1	0.42	0.29
P6						1	0.40
P7							1

Também se observou este fenômeno ao se avaliar o IVI, IGA e a diversidade florística da área, os quais, demonstraram a dominância de algumas espécies com distribuição agregada. Assim, a área natural do Cerrado Mineiro da propriedade possui grande diversidade de espécies, com comportamento em sua maioria de uniforme a agregada.

Porém há uma grande diversidade de espécies isoladas, o que pode ser explicado pela dispersão natural dessas espécies e por ser uma área relativamente pequena, de aproximadamente nove hectares, o que pode estar favorecendo a sucessão das espécies de maior amplitude e dispersão como a *Q. grandiflora* e *T. argentea*. A diversidade de uma área vai ser máxima quando  $S = N$ , ou seja, o número de espécies da área for igual ao número de indivíduos da mesma (ROSSI et al., 2018; PIRES et al., 2018; HENRIQUE, 2018; RIOS et al., 2018). Dessa forma, para se ter uma avaliação do desenvolvimento do fragmento florestal estudado, recomenda-se inventariar anualmente, como forma de acompanhar seu estado de preservação, contudo o fragmento se encontra em estado de boa conservação e preservação.

A divisão dos dados coletados em classe diamétrica (Figuras 4 e 5) demonstrou a distribuição da classe diamétrica referente a frequência dos indivíduos para DAP e altura, respectivamente, etapa fundamental para as análises ecológicas e verificar as relações dendrométricas existentes dentre os indivíduos do mesmo fragmento florestal avaliado em sua área natural de ocorrência. A distribuição diamétrica evidenciou que a maioria dos indivíduos são de diâmetros menores, demonstrando a sanidade natural da florestal e aptidão para a exploração e preservação, pois o comportamento do gráfico mostra um “J” invertido, sendo crucial para evidenciar o desenvolvimento da floresta, indicando inicialmente estado sadio para sua manutenção. Já em relação a classe de altura, esta indicou que a maioria dos indivíduos presente na floresta, são menores de seis metros, devido ser uma área de Cerrado, e seus indivíduos carregam esta característica, devido ao solo e fitofisionomia inserida.

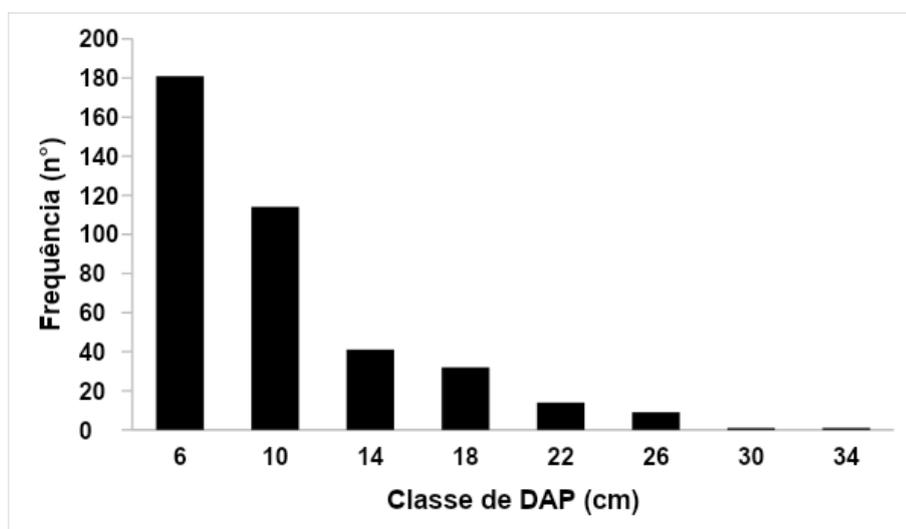


Figura 4: Representação das relações entre as classes diamétricas e suas frequências referente aos indivíduos presentes na propriedade estudada (Fonte: Autores).

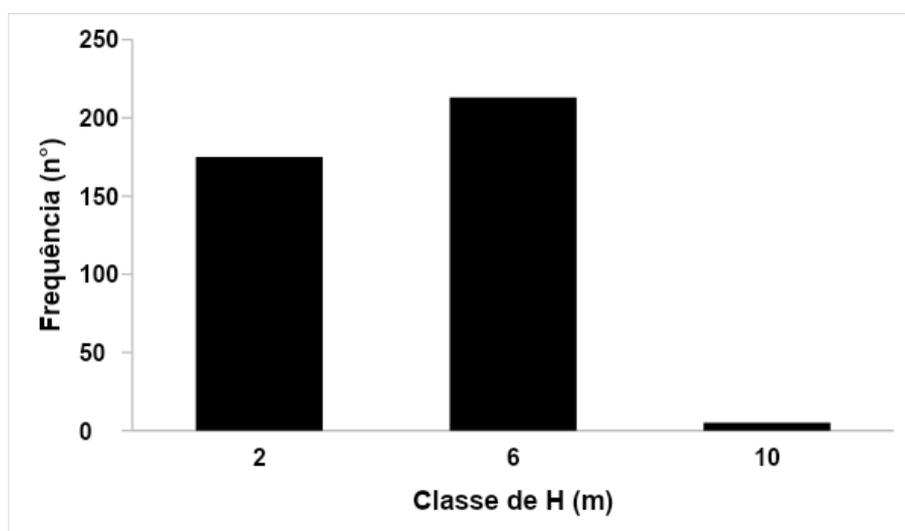


Figura 5: Representação das relações entre as classes de altura e suas frequências referente aos indivíduos presentes na propriedade estudada (Fonte: Autores).

Já o volume médio das espécies, famílias que foram inventariadas em relação as parcelas permanentes lançadas, (Tabela 8), pode-se notar que, as espécies mais relevantes são equivalentes as famílias de maior representatividade

em massa volumétrica da madeira avaliada. Isto é devido aos índices de valor de importância das espécies presente neste fragmento, e demais índices ecológicos característicos do Cerrado. Contudo ao se avaliar os somatórios de volume por parcela, (Tabela 9), evidencia que a relação entre maior quantidade de indivíduos presente não garante maior somatório de volume, ou seja, não é uma relação diretamente relacionada.

Isto, é explicado pela variedade ecológica existente dentre os grupos ecológicos das espécies florestais e graças aos índices de similaridade, avaliados acima, no qual evidencia serem parcelas de alta diversidade florística, com similaridade não ser superior a 0.50, demonstrando tal riqueza de espécies do Cerrado, assim, mesmo que tenha agrupamento de espécies de maior representatividade, como a *Q. grandiflora*, e outras, índice IGA, também acima, nota-se que neste pequeno fragmento florestal há uma grande riqueza e variedade de características ao se considerar variáveis dendrométricas e dendrológicas, o que reforça a necessidade de manutenção e conservação. Estudos evidenciam, que conhecer a dinâmica de volume, biomassa, e carbono, auxiliam nas tomadas de decisões, e essas dinâmicas variam de acordo com os fatores naturais ou antrópicos ocorrem nessas áreas, especialmente no Cerrado (COLGAN et al., 2014; CORDEIRO et al., 2018).

**Tabela 8:** Representação do somatório de volume em relação as espécies e famílias botânicas em ordem de grandeza, como forma de evidenciar as mais representativas em massa de madeira do fragmento florestal avaliado.

Espécies	Soma de Volume (m <sup>3</sup> )	Famílias	Soma de Volume (m <sup>3</sup> )
<i>Qualea grandiflora</i>	7.529	Vochysiaceae	8.523
<i>Plathymenia reticulata</i>	1.653	Fabaceae	3.457
<i>Terminalia argentea</i>	1.570	Combretaceae	1.570
<i>Bowdichia virgilioides</i>	1.197	Malpighiaceae	1.362
<i>Eugenia dysenterica</i>	0.588	Fabaceae	1.279
<i>Leptolobium dasycarpum</i>	0.583	Anacardiaceae	0.920
<i>Handroanthus aureus</i>	0.489	Myrtaceae	0.761

<i>Dalbergia miscolobium</i>	0.485	Verbenaceae	0.705
<i>Caryocar brasiliense</i>	0.467	Caryocaraceae	0.549
<i>Verbenaceae</i>	0.407	Asteraceae	0.172
<i>Qualea parviflora</i>	0.402	Inderteminada	0.161
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	0.342	Malvaceae	0.139
<i>Byrsonima stipulacea</i>	0.330	Erythroxylaceae	0.087
<i>Aloysia virgata</i>	0.284	Rutaceae	0.057
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	0.284	Bignoniaceae	0.045
<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.283	Rubiaceae	0.039
<i>Dimorphandra mollis</i>	0.280	Ochnaceae	0.030
<i>Qualea multiflora</i>	0.268	Apocynaceae	0.008
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	0.223	Clusiaceae	0.004
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	0.222		
<i>Lithraea molleoides</i>	0.204		
<i>Eugenia dysenterica</i>	0.173		
<i>Piptocarpha rotindiflora</i>	0.172		
<i>Salvertia convallariodora</i>	0.126		
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	0.110		
<i>Astronium fraxinifolium</i>	0.103		
<i>Qualea grandiflora</i>	0.100		
<i>Qualea parviflora</i>	0.099		
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0.087		
<i>Erythroxylum deciduum</i>	0.087		
<i>Dalbergia miscolobium</i>	0.083		
<i>Machaerium opacum</i>	0.082		
<i>Caryocar brasiliense</i>	0.082		
<i>Indeterminada 4</i>	0.071		
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	0.057		
<i>Handroanthus serratifolius</i>	0.046		
<i>Indeterminada 9</i>	0.035		
<i>Ouratea hexasperma</i>	0.030		
<i>Indeterminada 8</i>	0.023		
<i>Palicourea rigida</i>	0.022		
<i>Byrsonima crassifolia</i>	0.019		

<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	0.017
<i>Indeterminada 5</i>	0.016
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	0.015
<i>Machaerium villosum</i>	0.015
<i>Indeterminada 7</i>	0.014
<i>Indeterminada 3</i>	0.013
<i>Indeterminada 1</i>	0.012
<i>Tecoyena formosa</i>	0.012
<i>Pseudobombax longiflorum</i>	0.012
<i>Indeterminada 6</i>	0.011
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	0.008
<i>Indeterminada 2</i>	0.007
<i>Indeterminada 10</i>	0.007
<i>Tocoyena formosa</i>	0.005
<i>Kielmeyera coriacea</i>	0.004

**Tabela 9:** Representação do somatório de volumes para cada parcela avaliada de acordo com o número inventariados de cada uma, como noção de volume disponível em cada uma, do fragmento florestal avaliado.

Parcela	Soma de Volume (m <sup>3</sup> ) / 400m <sup>2</sup>	Nº de Espécie/400m <sup>2</sup>
1	3.570	50
2	1.412	56
3	2.777	111
4	0.914	56
5	6.411	54
6	2.231	30
7	2.553	37

### 3.2.3 Conclusões

De acordo com os dados e resultados obtidos por meio do inventário florestal contínuo da propriedade, tendo em vista a área natural da vegetação correspondente ao Cerrado Mineiro, nota-se que, é um local de alta diversidade, confirmada pelo Índice de Pielou acima de 0,7 e de Sorensen abaixo de 0,5 dentre todas as parcelas avaliadas, mesmo se tratando de um pequeno fragmento florestal. Contudo, exerce uma importante conservação e preservação de espécies de elevada importância ecológica como: *Q. grandiflora* Mart., *S. adstringens*, *B. virgilioides*, *E. Dysenterica*, *H. serratifolius*, dentre outras. Bem como favorece a circulação da fauna, e auxilia na dispersão de sementes, sendo papel de suma importância para a variabilidade gênica e tem funcionamento de corredor ecológico para as áreas do entorno da propriedade.

Foi possível observar que as espécies *Qualea grandiflora* Mart., e a *Terminalia argentea* são de maiores ocorrência no fragmento, bem como as famílias: Vochysiaceae, Fabaceae, além dessas as espécies de *Eucalyptus* spp., se destacaram pelas intensa frequência e distribuição por toda borda da propriedade, no perímetro que se encontram as estradas internas da UFSL/CSL. Em relação ao volume das parcelas e espécies, nota-se que há uma variação de quantitativo, o que evidencia e corrobora para a variedade e riqueza de espécies encontradas no Cerrado. Acrescido disto, o fragmento se encontra em estado de boa conservação e preservação.

### **3.3 Capítulo 2 - Quantificação das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa – GEE**

#### **3.3.1.1 Impacto e qualidade ambiental pela quantificação dos GEE**

As mudanças climáticas, bem como suas consequências, já são uma realidade que afeta diretamente a vida das pessoas, além de impactar o equilíbrio dos recursos naturais e as atividades econômicas. Este assunto vem ocupando cada vez mais espaço nas inquietações da sociedade (MCTI, 2008). Observa-se que na atualidade esta temática continua presente e necessita de ações dos envolvidos nas cadeias produtivas e da população, para serem mitigadas visando sanar estes impactos negativos.

Após a Revolução Industrial, o processo de industrialização favoreceu o acúmulo de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, processo que dificulta a dissipação da radiação que incide sobre o planeta e acarreta o agravamento do efeito estufa. Nesse contexto, surgiram as mudanças climáticas globais que podem trazer consequências desastrosas, dos pontos de vista ambiental, econômico e social, para todo o planeta.

É relatado no quinto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) como extremamente provável, com 95% de certeza, que metade da elevação da temperatura média global observada de 1951 até 2010 tem origem antropogênica. Dessa forma, as mudanças climáticas globais são temas de frequentes debates na comunidade científica mundial, com o intuito de discutirem acerca de medidas que visem à redução das emissões de GEE para a atmosfera.

De forma a auxiliar no cumprimento da meta, o Brasil divulgou seu compromisso voluntário de redução entre 36,1% e 38,9% das emissões de GEE projetadas para 2020. Segundo MAPA (2012), a partir dessa proposta de redução o governo pretende prevenir que o país emita em torno de um bilhão de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e.). Para auxiliar no cumprimento da meta brasileira, é necessário empenho conjunto de diversos setores da sociedade. O poder público, as empresas e as pessoas físicas, por meio de suas atividades nas

zonas rural e urbana, devem estar cientes da problemática e precisam estar envolvidos com alternativas que permitam a mitigação das emissões de GEE.

Diante disso, é necessário gerar mais conhecimento acerca da percepção do produtor rural quanto às mudanças climáticas e quanto às causas e consequências dessas alterações relacionadas à sua produção. Dessa forma, torna-se possível a geração de entendimento sobre quais alternativas o produtor rural pode desenvolver para diminuir as suas emissões de GEE e se adaptar às mudanças do clima.

O conhecimento do perfil das emissões e remoções das mesmas nas atividades de uma propriedade, por meio do inventário de GEE, pode, inclusive, levar os produtores a receberem alguns benefícios, entre eles certificados ou créditos ambientais e, até mesmo, a valorização de sua produção. A temática relacionada ao cálculo do balanço de carbono em propriedades rurais produtoras de carvão vegetal ainda é assunto recente no país (SANTOS, 2017; ANDRADE & FEIDEN, 2017; ALVES, 2014). Dessa forma, ainda são incipientes as metodologias e ferramentas que auxiliem na quantificação das emissões e remoções de GEE nessas áreas. De forma a auxiliar no atendimento das demandas citadas, justificam-se a confecção e emprego de ferramentas que permitam a quantificação, de forma simples e precisa, do balanço de carbono nas propriedades rurais. Assim, sistemas eletrônicos que possibilitam esse cálculo visam facilitar a quantificação das emissões oriundas das atividades referentes à produção agrícola e pecuária e, também, à quantificação das remoções pelas florestas nativas ou plantadas.

### **3.3.1.2 Produção de carvão vegetal e a importância da quantificação dos GEE**

A utilização do carvão vegetal, em substituição ao coque de carvão mineral, é uma alternativa para diminuir as emissões totais durante a produção de aço, utilizada principalmente no Brasil, destacando o país na busca pela minimização do uso de combustíveis fósseis (MCTIC, 2016). Desta forma, os processos de carbonização precisam ser melhorados, para diminuir os custos de

produção e aumentar a eficiência do processo como um todo.

Busca-se aumentar a utilização de combustíveis de fontes renováveis, diminuir os impactos ambientais negativos da atividade e aumentar a competitividade do carvão vegetal perante o coque. No Brasil, 61% da produção de carvão vegetal destinada à siderurgia é realizada por pequenos e médios produtores (SINDIFER, 2020). E devido à falta de informação e recursos a produção ocorre em fornos rudimentares, que não possuem controle da temperatura durante o processo de carbonização, tendo conseqüentemente baixos rendimentos gravimétricos e elevadas emissões de GEE (CARNEIRO et al., 2012).

Nesse contexto se encaixa o conceito de percepção ambiental, que segundo Faggionato (1996 apud FERNANDES et al., 2004), pode ser definido como “uma tomada de consciência do ambiente pelo homem, ou seja, o ato de perceber o ambiente em que se está inserido, aprendendo a proteger e a cuidar do mesmo”. Os estudos de percepção em relação às mudanças no clima, ainda que envolvam um processo complexo e sujeito à expressão de subjetividade, são importantes porque ajudam a compreender os comportamentos e os graus de precaução nas ações dos indivíduos diante das variações climáticas.

Outras demandas permitem justificar o emprego de ferramentas de cálculo do balanço de carbono em propriedades rurais. O conhecimento do perfil das emissões e remoções da propriedade, por meio do inventário de GEE, pode, inclusive, levar os produtores a receberem alguns benefícios, entre eles certificados ou créditos ambientais e, até mesmo, a valorização de sua produção. Assim, sistemas eletrônicos que possibilitam esse cálculo visam facilitar a quantificação das emissões oriundas das atividades referentes à produção agrícola e pecuária e, também, à quantificação das remoções pelas florestas nativas ou plantadas (BAHU, 2015; SANTOS, 2017).

Tito et al., (2009) afirmaram que a falta de acesso a métodos precisos e de baixo custo para a quantificação e monitoramento de estoques de carbono nas propriedades, principalmente de pequenos produtores rurais, se tornam empecilhos para sua implementação. Dessa forma, a realização de projetos visando a inserção de produtores rurais no mercado de carbono, se torna uma

demanda a ser resolvida a um curto período de prazo, para a inserção desses no mercado mais sustentável e com produção mais “limpa” e eficiente, sendo a elaboração de corporativas/consultorias uma idealização a ser considerada e estruturada, adaptada aos moldes da produção de carvão vegetal.

O carvão vegetal produzido para siderurgia é proveniente, em sua maioria, de pequenos e médios produtores, que utilizam de metodologias empíricas para a condução do processo de carbonização em fornos ainda rudimentares, como por exemplo, o forno “rabo-quente” e o de encosta (DONATO, 2017). Objetivando a melhoria da produção de carvão vegetal, foi desenvolvido o sistema fornos-fornalha, com o intuito de obter-se melhor qualidade do processo e controle da carbonização e do produto final, além de um ambiente de trabalho mais adequado. O sistema consiste na utilização de uma fornalha acoplada ao forno de alvenaria, o que possibilita a queima dos gases provenientes desse processo. Além disso, o sistema possibilita o aumento do rendimento gravimétrico, obtido por meio de técnicas de controle do processo de carbonização (OLIVEIRA, 2012, BRASIL 2019; 2019a).

### **3.3.1.3 Quantificação de GEE pelo Charcoal System e impactos positivos**

A metodologia de quantificação do Charcoal System é realizada via cadastro com informações do produtor rural e de sua propriedade. Em seguida, para o cálculo do balanço de carbono, o produtor fornece dados mais específicos da propriedade rural para realizar o inventário das emissões e do incremento (remoções), sendo considerado por exemplo, a produção e produtividade de carvão vegetal; dados referentes à criação de animais; consumo de energia; consumo de combustível; plantio de culturas agrícolas; e presença de árvores nativas ou plantadas na propriedade (SILVA, 2019).

O Charcoal System considera as emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Os resultados são convertidos para a unidade-padrão  $\text{tCO}_2\text{e}$  (toneladas de dióxido de carbono equivalente), de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (PAG) de cada um desses gases. No caso da madeira, esta deverá ser carbonizada para que se tenha a produção de energia da

biomassa florestal, gerando, assim, a emissão de GEE. A queima de biomassa resulta em emissões consideradas neutras em dióxido de carbono, pois emitem gases utilizados em processos fotossintéticos e biogeoquímicos da biomassa terrestre, contudo as emissões a partir de outros GEE energéticos, como o ( $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ), são contabilizadas na emissão final, pois são contribuintes para o aumento e retenção de calor/temperatura na superfície terrestre, ou seja, diretamente ao efeito estufa (SILVA, 2019; SILVA, 2019a). Estudos demonstram que as florestas maduras respiram o mesmo tanto que transpiram, em que o balanço de carbono se torna praticamente neutro. Porém, no momento que a floresta está em pé, o carbono está fixado, seja no fuste, galhos ou folhas. Para a produção há a derrubada da árvore, e o carbono é transformado em carvão, e posteriormente utilizado no processo industrial de pirólise – sendo emitido de volta para a atmosfera sob a forma de  $\text{CO}_2$  (VITAL & PINTO, 2009).

Dessa forma, o produtor precisa informar a quantidade média de madeira com finalidade para energia, ou seja, produção de carvão vegetal, consumida mensalmente na propriedade, a qual o sistema transformará para consumo anual. Após a quantificação dos dados das emissões e do incremento, é calculado o balanço de carbono da propriedade rural, que é basicamente a diferença entre a quantidade emitida de  $\text{CO}_2\text{e}$ . e a quantidade retirada da atmosfera (SILVA, 2019; SILVA, 2019a).

Esse balanço pode ser negativo, quando as emissões são maiores que as fontes de remoção, sendo que nesse caso o produtor deveria plantar árvores para compensar suas emissões. O balanço sendo positivo, o produtor rural possui crédito de árvores em sua propriedade (COSTA et al., 2019; MENDES, 2018). Ao final, com os dados de cadastro do produtor, são geradas as informações detalhadas de cada uma das etapas do cálculo.

Para que se realize a neutralização das emissões de GEE geradas a partir de determinada circunstância, é necessária a elaboração de um inventário. Esse instrumento permite, entre outros aspectos, conhecer o perfil de determinado empreendimento ou evento com relação às emissões geradas pelas atividades nele desenvolvidas. A exemplo disso, durante a Semana do Fazendeiro na cidade

de Viçosa – MG, os produtores rurais, recebem cursos de aprendizagem e treinamento visando evidenciar a importância de realizar o controle de balanço de carbono de sua propriedade como viés da sustentabilidade. Após o evento/curso o produtor rural recebe uma muda de alguma espécie arbórea nativa do Brasil e um certificado de participação. O resultado gerado pelo sistema é impresso no verso do certificado, de forma a informar e sensibilizar o produtor em relação ao balanço de carbono de sua propriedade (COSTA et al., 2019; MENDES, 2018).

### **3.3.2 Materiais e métodos**

No âmbito do Projeto Siderurgia Sustentável, foi instalada uma unidade demonstrativa de produção sustentável de carvão vegetal, sendo parte integrante o sistema fornos-fornalha no campus de Sete Lagoas da Universidade Federal de São João del Rei/UFSJ. Nesta unidade demonstrativa, ao lado do sistema fornos-fornalha, foi construído um galpão de apoio aos trabalhadores/pesquisadores/docentes/discentes/estagiários e demais pessoas que utilizam este sistema fornos-fornalha.

A quantificação das emissões de gases do efeito estufa das atividades vinculadas a esta Unidade Demonstrativa de Produção Sustentável de Carvão Vegetal foi realizado de acordo com o preconizado no aplicativo disponível e de fácil acesso, “Charcoal System” (Figura 6) desenvolvido por Silva (2019), tecnologia pertencente a Universidade Federal de Viçosa e demais apoiadores. Ele permite quantificar as emissões de gases de efeito estufa/GEE, as remoções e possui grande relevância para a tomada de decisão, seja para o pequeno ou grande produtor de carvão vegetal. O sistema faz parte dos objetivos principais do Projeto Siderurgia Sustentável/Pnud, visando incentivar a adoção de tecnologias produtivas com qualidade requerida para o carvão vegetal, contudo de forma mais limpa (sustentável) e eficiente, para que as propriedades tenham menor impacto negativo ao ambiente onde o sistema de carbonização estiver instalado e em pleno funcionamento.

Figura 6: Software Charcoal System



Fonte: <https://dev-charcoalsystem.herokuapp.com/>

O Projeto Siderurgia Sustentável está correlacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável/ODS, assim foi desenvolvido objetivando fomentar a redução de emissões de GEE na siderurgia. Dessa forma, busca um desenvolvimento, tecnologias e processos mais sustentáveis para a produção e uso de carvão vegetal. Esse projeto conta com recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente/GEF, sendo implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/PNUD, com coordenação técnica do Ministério do Meio Ambiente, sendo executado em conjunto com o Ministério da Economia; Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e o Governo de Minas Gerais, e da Universidade Federal de Viçosa UFV (BRASIL, 2019; 2019a).

De modo geral os relatórios gerados pela utilização do Charcoal System, contribui para estabelecer um plano de trabalho e planejamento de atividades no sistema de produção, visando uma melhor qualidade do ambiente de trabalho e uma maior diversificação da produção, bem como acompanhar o índice de emissão e remoção de GEE. Contudo, as emissões quantificadas e avaliadas no sistema estão diretamente relacionadas com o processo de carbonização e propriedades da madeira e carvão vegetal (produção e produtividade), ou seja, do processo que ocorre dentro dos fornos, e também das condições das florestas de

remoção existente na propriedade (seja por compra ou produção própria). Não abrangendo emissões originadas de atividades relacionadas à produção e transporte de madeira, consumo de combustível por maquinários, deslocamento de funcionários, transporte do carvão até a siderurgia, entre outras.

O Charcoal System incluiu as emissões dos principais GEE presentes na carbonização, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), convertidos posteriormente a CO<sub>2</sub>e (dióxido de carbono equivalente), uma unidade padrão. As emissões foram calculadas pela combinação entre o grau de realização de uma atividade, e de seu fator de emissão específico, ou seja, uma medida que expressa a intensidade de uma fonte emissora e o fator de emissão é o coeficiente que corresponde à emissão por cada unidade do dado e da atividade relacionada (SILVA, 2019).

Segundo o mesmo autor, a quantificação para as remoções de carbono por florestas nativas foi calculada por meio da quantidade de biomassa estocada, ou seja, as áreas florestadas. Enquanto as remoções de carbono pelas florestas plantadas foram estimadas em função da demanda de madeira para a produção anual de carvão vegetal da unidade demonstrativa instalada na propriedade.

Após preenchimento dos dados exigidos para a propriedade e projeto (tipo de sistema de produção de carvão vegetal), o Charcoal System tem a liberação de relatórios técnicos contendo a avaliação da unidade e propriedade quanto aos GEE e dados de remoção de carbono, funcionando como um documento base de planejamento, assim, pode ser dividido em GEE e Remoção de carbono.

Abaixo seguem os principais relatórios gerados para os resultados da quantificação de GEE e remoção de carbono, a partir das informações que foram alimentadas pelos dados coletados durante as carbonizações e da propriedade:

**Relatório do Balanço de Carbono**, o qual apresenta informações sobre a propriedade e projeto, a produção de carvão vegetal, as emissões de GEE, as remoções de carbono e o balanço de carbono total. Porém, é evidenciado a produção líquida e coprodutos (atiços e finos) de carvão vegetal. As emissões de GEE para a produção de carvão são apresentadas para cada um dos gases, a emissão total, anual, por ciclo de carbonização, por tonelada de carvão e por mdc

produzida. As remoções de carbono também são para cada uma das fontes e a total. E tem-se o balanço de carbono total, sendo a diferença entre a remoção total e a emissão total.

**Relatório de Emissões da Siderurgia pela Carbonização**, este se trata de um indicador que expressa a quantidade de GEE que é emitida para a produção de uma tonelada de ferro-gusa, ou seja, considera as emissões do processo de carbonização. O indicador é dado em  $\text{MgCO}_2$  e  $\text{MgGusa}^{-1}$ , assim a partir do teor de carbono fixo e da produção líquida de carvão vegetal, tem-se a quantidade total de carbono fixo que será utilizada no processo produtivo dentro da siderurgia, como um estimativo geral a ser incorporado nos relatórios de venda para as siderurgias.

Após a obtenção desses dois relatórios, citados acima, para a unidade demonstrativa de produção sustentável de carvão vegetal instalado na propriedade da UFSJ, Campus de Sete Lagoas, foi realizada comparações e avaliação dos resultados, embasados quanto aos GEE e dados de remoção de carbono pelas florestas.

### **3.3.3 Resultados e discussão**

#### **3.3.3.1 Relatório de Balanço de carbono**

Em relação as quantificações por GEE (Tabela 10), nota-se que na propriedade avaliada, está havendo uma emissão de aproximadamente 120 toneladas de  $\text{CO}_2$  e de 33 toneladas de  $\text{CH}_4$ . Contudo, a remoção dos GEE de acordo com a área de floresta nativa presente na propriedade e o percentual de área plantada necessária para seu abastecimento de madeira, juntos ficam em 716  $\text{tCO}_2\text{e/ano}$ . Dessa forma, há um balanço positivo quanto a redução de GEE da atmosfera, de aproximadas 563  $\text{tCO}_2\text{e/ano}$  estocadas nas florestas. Assim, para a propriedade está havendo uma melhoria frente a esta quantificação e sequestro de carbono positivo, mesmo que durante as fases e ciclos de carbonização os fornos estiveram sob intensas chuvas e as propriedades da madeira não foram as recomendadas com umidade média de 60%. Observa-se também que, devido a estes fatores, houve uma grande influência na geração de finos e atijos para a

UPC, de 0,5 e 15,7 t/ano, respectivamente (Tabela 10), contudo, se torna uma opção para renda agregada.

Aliado aos resultados obtidos nesta pesquisa, há estudos que demonstram a importância da manutenção das florestas naturais e uso das florestas plantadas ou consorciadas com espécies agrícolas (agroflorestas) para o sequestro/balanco positivo de carbono e redução dos GEE na atmosfera. Tais como: Brianezi et al., (2019), que avaliaram o efetivo sequestro de carbono sob plantio comercial de *Eucalyptus* spp., encontrando valores expressivos tendo um reservatório de carbono  $90,94 \text{ MgCO}_{2\text{eq}} \text{ ha}^{-1}$ , para o plantio. Já estudos de Castro Neto et al., (2017), sob sistemas agroflorestais, demonstraram um efetivo e positivo balanço de carbono considerando agrissilvipastoris e silvipastoris apresentando estoques de  $49,999 \text{ tCO}_{2\text{e}} \text{ ha}^{-1}$  e  $42,002 \text{ tCO}_{2\text{e}} \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente. Dessa forma, se mostraram eficientes pois havia um excedente de árvores quando se pensa na neutralização de carbono, contribuindo diretamente para a redução de GEE na atmosfera. O mesmo vale para áreas de florestas naturais/florestadas, sendo que, estudos de Paiva, (2018), obtiveram resultados expressivos no qual o fragmento florestal apresenta um balanço positivo sendo  $25,45 \text{ t.ha}^{-1}$  de carbono estocado na sua biomassa viva, afirmando que a área está apta a participar de programas de PSA por sequestro e armazenamento de carbono, como obtenção de créditos/benefícios.

Dados referente ao Balanço Energético Nacional, divulgado pelos Ministério de Minas e Energia – MME, Empresa de Pesquisa Energética – EPE, para o ano de 2019 para o Brasil, demonstram que houve um aumento de emissões de CO<sub>2</sub>, de aproximados 420 MtCO<sub>2</sub> -eq, ao se considerar toda matriz energética brasileira, contudo não estratifica especificamente para o uso carvão vegetal. Em relação a perdas totais, que correspondem às perdas em centros de transformação, perdas de transmissão e distribuição de eletricidade e outras perdas de distribuição e armazenagem, as carvoarias representaram 10,1%, do total. Porém destaca que o consumo e produção de energias com fontes renováveis vem aumentando a cada ano, sendo em 2019 de 46,1% do total, sendo 8,7% de contribuição do carvão vegetal, destes 4,4% da produção de carvão

vegetal é destinada ao consumo no setor industrial. Por fim, a produção de carvão vegetal, incorporada juntamente a todo setor agropecuário do País, contribui com 32,2% para as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera no ano de 2019 (MME & EPE, 2020).

As florestas exercem grande potencial para incrementar (remover) carbono com o decorrer dos anos, daí a importância de se conservar e preservar tais fragmentos, nas áreas de produção, para auxiliar no processo de neutralização de carbono, e auxiliar na obtenção de créditos de carbono, bem como na obtenção de um modelo sustentável de produção (SILVEIRA, 2010; DOUBRAWA et al., 2014; SILVA, 2019a). Dessa forma, devido ao resultado apresentado, evidencia-se que tal comportamento das florestas no sequestro de carbono foi extremamente efetivo. O que demonstra a importância de se preservar e criar metodologias de conservação para as áreas nativas de vegetações de Cerrado existentes nesta propriedade, bem como utilizar áreas de florestas plantadas certificadas, para a produção de carvão vegetal, reforçando a importância do produtor rural exercer a quantificação das emissões e remoção/estoque de carbono de sua propriedade, gerando benefícios ecológicos e econômicos.

Aliado a isto, o relatório do IBA, (2019), afirma que o estoque de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) do setor florestal somou 4,2 bilhões de toneladas, para áreas florestadas de nível comercial. Sabe-se ainda que, o setor para fins industriais é um dos mais aptos a fortalecer os objetivos do Brasil no Acordo de Paris, o qual visa, alguns objetivos principais, tais como: Reduzir as emissões dos gases do efeito estufa em 43% frente à realidade do ano de 2005; Restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas; Incentivar a integração de lavoura, pecuária e florestas (ILPF) em 5 milhões de hectares; Zerar desmatamento ilegal; atingir 45% de energias renováveis no mix brasileiro, sendo 18% em bioenergia; e Expandir o consumo por biocombustíveis. Contudo, sabe-se que em 2018, as empresas associadas investiram R\$ 6,3 bilhões em pesquisa e inovação, em florestas plantadas para a indústria, aliado a isto, as plantações de árvores brasileiras são as mais produtivas do mundo, tendo uma produtividade média de 36,0 m<sup>3</sup>/ha.ano para os plantios de eucalipto, enquanto a de pinus foi de 30,1 m<sup>3</sup>/ha.ano. Isto, só evidencia o quanto o cultivo de plantios florestais associados

a produção sustentável é importante para gerar ambientes eficientes e contribuindo para produção de energia limpa e renovável, com qualidade.

**Tabela 10:** Representação técnica do relatório de balanço de carbono para a propriedade considerando o atual sistema de produção da unidade demonstrativa de produção sustentável de carvão vegetal (fornos-fornalha).

Produção de carvão vegetal e coprodutos			
Produção Líquida de carvão vegetal		Coprodutos	
Anual	504.0 mdc/ano	Atiços	15.7 t/ano
Anual	115.2 t/ano	Finos	0.5 t/ano
Emissões de GEE da Produção de carvão vegetal			
Emissões de metano (CH <sub>4</sub> )		Emissão de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	
Anual	32.665 t	Anual	120.739 t
Por ciclo	1.361 t	Por ciclo	5.031 t
Por tonelada de carvão vegetal	283.460 KgCO <sub>2</sub> e	Por tonelada de carvão vegetal	1047.736 KgCO <sub>2</sub> e
Por MDC	64.812 KgCO <sub>2</sub> e	Por MDC	239.562 KgCO <sub>2</sub> e
Emissão total de GEE			
Anual		153.405 t	
Por ciclo		6.392 t	
Por tonelada de carvão vegetal		1.331 t	
Por MDC		0.304 t	
Remoção de carbono			
Áreas plantadas		Florestas nativas	
Estoque total	668.223 t	Anual	48.198 t
Remoção total			
Anual		716.420 t	
Balanço de carbono total			
Emissão total		153.405 tCO <sub>2</sub> e/ano	
Remoção total		716.420 tCO <sub>2</sub> e/ano	
Balanço de carbono total		563.015 tCO <sub>2</sub> e/ano	

### 3.3.3.2 Relatório de Emissões da Siderurgia pela Carbonização

As atividades realizadas nas siderurgias provenientes de carvão vegetal estão relacionadas ao consumo do carbono fixo existente no carvão vegetal, gerado durante a etapa de carbonização. Sendo utilizado preponderantemente na produção de ferro gusa e aço, em que, para a produção de ferro gusa, o carvão

vegetal exerce duas funções de combustível para gerar calor necessário à operação do alto-forno e como agente químico redutor, retirando oxigênio durante o processo do minério de ferro (DE PAIVA et al., 2016; SOUZA et al., 2016; UHLIG et al., 2008).

Avaliando os dados de produção de carvão vegetal anuais da propriedade (Tabela 11), o mesmo, com rendimento médio de 75% aproximadamente, terá uma produção média de 87 toneladas de carbono fixo anual, isto terá um impacto da emissão pela siderurgia de 3 toneladas anuais de GEE para atmosfera, um valor considerável baixo, evidenciando a importância de se ter um sistema limpo de produção e com um carvão vegetal de elevada qualidade, visto que o percentual de carbono fixo, está diretamente relacionado com as etapas e fases de carbonização.

Grande parte da eficiência desse sistema de produção do carvão vegetal nos fornos-fornalha, é devida ao funcionamento constante da câmara de combustão presente na fornalha, durante todo ciclo de carbonização. Sabe-se que, nas duas primeiras fases há liberação de vapor d'água, o que necessita de seu abastecimento (com resíduos agrícolas, madeira, casca, etc.), mais frequente para auxiliar e manter a combustão na câmara, contudo nas duas últimas fases, há grande liberação de gases energéticos que mantém a queima sem necessidade de abastecimentos de resíduos (BRASIL, 2019; 2019a; SANTOS, 2017).

De forma geral, sabe-se que o queimador pode ser caracterizado como contínuo e não contínuo. Contudo, o utilizado pelo sistema fornos-fornalha da propriedade, se caracteriza por ser não contínuo, ou seja, considera-se uma redução de 50% de  $\text{CH}_4$ . Ele é caracterizado pela queima dos gases na câmara de combustão da fornalha durante as quatro fases da carbonização em que há somente um forno ou mais não sincronizados, havendo assim, uma maior intensidade de vapor d'água nas duas primeiras fases, limitando a emissão e queima de  $\text{CH}_4$  (CDM, 2019).

**Tabela 11:** Representação do balanço de emissão pela siderurgia, embasado na produção de carvão vegetal da propriedade, variando com os teores fixos do carvão vegetal.

Emissões da siderurgia pela carbonização			
Produção de carvão vegetal		Florestas nativas	
Anual	504.0 mdc/ano	Total de carbono fixo	75.3 (%)
Anual	115.2 t/ano	Total de carbono fixo	86.8 t/ano
Balanço de carbono		563.015 tCO <sub>2</sub> e/ano	
		6.4878 t	
Demanda para a produção de ferro gusa			
Total de carbono fixo		0.45 t/ferro gusa	
Emissão da siderurgia pela carbonização			
Anual		2.9195 t	

Contudo, sabe-se que alguns fatores são preponderantes para esta interferência direta ou indiretamente na emissão e ou remoção/estoque desses GEE da atmosfera, principalmente no que tange uma propriedade de área rural produtora de carvão vegetal. Fatores como tipos de fornos ou sistema de produção e temperatura de carbonização influenciam diretamente nas características do carvão e no rendimento gravimétrico; as características e propriedades da madeira influenciam no seu comportamento térmico; e o teor de umidade da madeira e carvão vegetal no rendimento gravimétrico. Ou seja, tais fatores influenciam diretamente nas emissões de GEE, sendo estas últimas as variáveis mais importantes para o monitoramento das emissões. Tais fatores foram estudados e avaliados em alguns estudos como Silva, (2019); Silva, (2019a); Soares et al., (2014); Oliveira et al., (2013) e Cardoso et al., (2010). Dessa forma, fica evidente a influência das propriedades da madeira frente a sua carbonização, a fim de obter um carvão vegetal de alta qualidade.

De forma geral o objetivo da quantificação e controle das emissões de GEE e de uma produção mais sustentável de carvão vegetal, tem inúmeros benefícios, tanto para os produtores, colaboradores, sociedade, empresas siderúrgicas (produto “verde” e de qualidade) quanto para o meio ambiente, sendo

imprescindível para elaboração de atividades que visam a preservação e desenvolvimento sustentável. Entre as aplicações e avaliações dos relatórios gerados pelo Charcoal System, estão, voltados para os órgãos/poderes públicos, os quais estabelecer limites máximos de emissão de GEE na carbonização e auxiliar no monitoramento das emissões; mas também os produtores, para a tomada de decisão, pois permite identificar quais variáveis mais influenciam diretamente na produção e emissões (VITAL & PINTO 2009; SILVA, 2019; SILVA, 2019a).

A produção de finos é dependente diretamente da umidade do carvão vegetal e madeira (influência em seu comportamento térmico), além das operações realizadas na unidade produtora, podendo variar com as atividades realizadas e qualidade final do carvão vegetal, como: carregamento e transporte; e peneiramento. A quantidade de atíço, já é dependente da qualidade da carbonização e controle de temperatura e das aberturas recorrente ou desordenada dos tatus durante a carbonização (favorece a entrada de oxigênio e aumenta o ritmo da queima de madeira, prejudicando a qualidade do carvão), isto tudo, durante todo processo de produção do carvão vegetal, bem como do comportamento térmico da madeira e suas propriedades (DAMASIO, 2015).

O Charcoal System calcula o balanço de carbono, de acordo com aspectos técnicos relacionados à madeira e à carbonização, possuindo caráter inovador, relevante, de fácil acesso e interpretação objetiva. Sendo pontos positivos para o auxílio no planejamento e gestão de atividades quanto as decisões e formas de produção mais limpas e com elevada qualidade do carvão vegetal gerado.

Contudo, sabe-se que os impactos ambientais negativos gerados por fornos tradicionais e de baixa tecnologias se devem, principalmente de que estes não possuem a instalação de fonalha para queima dos gases e utilização de controle empírico da temperatura durante os ciclos de carbonização. Corroborado a isto, comumente, as condições de trabalho são mais precárias, por consequência da maior exposição à fumaça e altas temperaturas sem devidas proteções (SILVA,2019a; CARDOSO et al., 2010; SANTOS & HATAKEYAMA, 2012). Somando-se a isto, aos resultados da quantificação do balanço de carbono e a qualidade do carvão vegetal gerado, esses sistemas mais sustentáveis de produção, como os

fornos-fornalha, vêm se tornando cada vez mais implantados e necessários perante suas escalas de produção e exigência para um mercado internacional e nacional, pelas siderurgias mais “limpas”/sustentáveis, oferecendo menor impacto negativo ao ambiente e com maior qualidade de trabalho na UPC, ou seja, atingir a sustentabilidade.

De forma geral, as discussões acerca das mudanças climáticas são permeadas de dúvidas e polêmicas. Alguns cientistas defendem que não existe consenso, entre a comunidade científica, de que essas alterações estejam realmente ocorrendo em razão das atividades desempenhadas pelo ser humano. Assim, as mudanças climáticas globais são temas de frequentes debates na comunidade científica mundial, com o intuito de discutirem acerca de medidas que visem à redução das emissões de GEE para a atmosfera. Ou seja, são temas que estão em constante desenvolvimento e que devem ser avaliados e incorporados em planejamentos e atividades de produção de carvão vegetal pelos produtores, bem como no uso nas siderurgias (COSTA et al., 2019).

Nota-se que o balanço de carbono foi positivo, com isto, o produtor possui crédito de árvores/carbono em sua propriedade, de acordo com sua produção e produtividade da unidade demonstrativa. Isto, pode ser observado ao final da quantificação e relatórios gerados, com os dados de cadastro do produtor, devido as informações detalhadas de cada uma das etapas do cálculo.

Os benefícios acerca dos créditos de carbono são inúmeros, tais como: estimular a mudança no modelo de produção sustentável do carvão vegetal; redução na emissão e aumento na retenção de carbono no meio rural (neutralização de carbono); ganho financeiro pela comercialização dos créditos de carbono; favorece o desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono; facilitar a obtenção de linhas de financiamento com juros subsidiados pelas agências governamentais e privadas; e maior acesso a mercados nacionais e internacionais mais exigentes (SANTOS, 2017; ALVES, 2014; SILVA, 2019a).

### 3.3.4 Conclusões

Avaliado o exposto acima, nota-se que o sistema de produção vinculado ao projeto Siderurgia Sustentável, com o queimador presente, cumpriu seu objetivo de reduzir as emissões de GEE na atmosfera, o que auxiliou na obtenção de um produto de elevada qualidade com produção mais sustentável e eficiente, mesmo que sob condições adversas climáticas sob intensas chuvas no período de carbonização. Foi verificado uma emissão de GEE referente a unidade produtora de aproximadamente 153 toneladas. Porém, a remoção dos GEE de acordo com a área do fragmento florestal nativo presente na propriedade e o percentual de área plantada necessária para seu abastecimento de madeira, juntos ficam em 716 toneladas, dessa forma, há um balanço positivo quanto a produção/remoção de GEE, de aproximadas 563 toneladas, tendo possibilidade de créditos em árvores/carbono, como: neutralização do carbono; o desenvolvimento de uma agricultura de baixo carbono; facilitar a obtenção de linhas de financiamento com juros subsidiados pelas agências governamentais e privadas; maior acesso a mercados nacionais e internacionais mais exigentes, dentre outros.

Para as informações geradas pelo relatório de emissões pelas siderurgias, a partir do carvão gerado desta unidade demonstrativa, evidenciaram um rendimento médio de 75% aproximadamente de teor de carbono fixo, resultando numa produção média de 87 toneladas de carbono fixo anual, isto terá um impacto da emissão pela siderurgia de 3 toneladas anuais de GEE para atmosfera, um valor considerável baixo.

### **3.4 Capítulo 3 - Medição e monitoramento de emissões pelo método**

#### **MRV**

#### **3.4.1 Materiais e métodos**

##### **3.4.1.1 Descrição do forno utilizado para a coleta de dados**

O experimento foi realizado no sistema fornos-fornalha instalado Campus da Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ/CSL) no município de Sete Lagoas, Minas Gerais, e se caracteriza como parte do projeto Siderurgia Sustentável. O Sistema Fornos Fornalha, é composto por quatro fornos circulares de superfície com capacidade volumétrica de aproximadamente 9,5m<sup>3</sup> ou 6,2m<sup>3</sup> de madeira cada forno. Os fornos são conectados por dutos atribuídos a válvulas borboletas que conduzem e controlam os gases gerados no processo da carbonização para uma fornalha. A fornalha é composta por uma câmara de combustão que tem como propósito queimar dos gases gerados no processo de carbonização e uma chaminé de 3,5 m de altura, responsável por direcionar os gases gerados na queima dos gases.

Os fornos possuem seis aberturas (tatus), ao nível do piso, que tem como objetivo o controle de entrada de ar e conseqüentemente o controle da temperatura do forno auxiliando na combustão. Além dos tatus, os fornos contêm sete cilindros metálicos sendo dois instalados na cúpula, a 170 cm do nível solo, quatro distribuídos na parede do forno entre as entradas de ar, a 60 cm do nível do solo, e um em cada ducto. Os cilindros metálicos têm a intenção de auxiliar no controle da temperatura do processo da carbonização.

##### **3.4.1.2 Processo de carbonização da madeira de eucalipto**

Foi utilizado *Eucalyptus* spp., com aproximadamente sete anos de idade, provenientes de área plantada junto a UFSJ/CSL e de um plantio comercial do clone 144 localizado no município de Paraopeba, Minas Gerais. O material foi enornado com comprimento de 1 metro, densidade variando entre 544 a 550 Kg/m<sup>3</sup>, umidade média de 53,21% e diâmetro de 10 a 20 cm, separados em três classes diferentes sendo considerados pequeno (<10cm), médio (10cm a 20cm) e grande (>20cm).

Os fornos foram carregados de forma manual, com a madeira na posição vertical distribuídas de forma em que as toras com classe de diâmetro maiores foram dispostas em lugares de maiores temperaturas dentro do forno e menores mais ao centro. A ignição do forno foi dada utilizando uma abertura superior localizada na porta do forno. Simultaneamente, com a queima de resíduos de biomassa, foi dada a ignição na câmara de combustão da fornalha que gera um gradiente de temperatura e pressão para exaustão dos gases do forno. A fornalha foi abastecida periodicamente até que os gases gerados na carbonização fossem capazes de manter a combustão em seu interior.

Foram realizadas três carbonizações de forma isolada, com a fornalha e queimador operando de forma não contínua. O controle de todo o processo foi realizado mediante o controle das temperaturas utilizando medidor infravermelho denominado pirômetro e a abertura e fechamento dos “tatus” e da válvula borboleta para o controle de entrada ar e saída dos gases do interior do forno. A temperatura foi registrada a cada 2h do período das 7h às 18h, durante o processo de carbonização e em 12 em 12h, para a etapa de resfriamento.

Para um melhor controle de todo o processo, utilizou-se como base metodológica divisão das fases da carbonização (Tabela 12). Material este disponível na Cartilha de Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha (BRASIL, 2019; 2019a).

**Tabela 12:** Faixas de temperatura para controle do processo de carbonização da madeira com suas respectivas faixas e tempos ideais.

Fase	Faixa de Temperatura (°C)	Tempo de Temperatura (horas)	Fenômeno
I	160 – 170	18 – 26	Liberação de vapor de água e secagem da madeira. Fase endotérmica
II	250 – 270	12 - 12	Degradação das hemiceluloses e eliminação dos gases. Fase do endotérmica
III	340 – 350	24 -24	Degradação da celulose, grande produção de gases. Formação de carvão vegetal. Fase exotérmica
IV	350 – 360	18 – 20	Redução da emissão de gases e aumento da concentração de carbono no carvão vegetal. Fase exotérmica

Fonte: (BRASIL, 2019; 2019a).

Ao final do processo de carbonização, ocorreu o fechamento do forno. Todas as entradas de ar e as válvulas borboletas foram completamente vedadas impedindo que ocorresse a entrada de oxigênio para o interior do forno. Considerou-se a temperatura de 40°C adequada para a abertura da porta.

Após o resfriamento, foi realizado a descarga do forno manualmente com o auxílio de um garfo metálico apropriado para separação dos finos. O carvão produzido, assim como os finos e atiços (madeira semicarbonizada) foi pesado e disposto sobre uma lona para evitar a umidade e a contaminação. O rendimento gravimétrico da carbonização foi determinado pela divisão das massas do carvão obtido pela massa seca da madeira enfiada.

### 3.4.1.3 Aplicação da Mensuração, Relato e Verificação (MRV) para avaliação do sistema fornos-fornalha

A metodologia de Mensuração, Relato e Verificação (MRV) para avaliação do sistema fornos fornalha ocorreu a partir de clusters de mitigação de rendimento gravimétrico, queimadores de gases e trocador de calor. Foram considerados dois cenários: Um baseado na redução de emissão de GEE a partir da utilização de atividade que permite o aumento do rendimento gravimétrico; E outro considerando o sistema de queima de gases emitidos no processo de carbonização da madeira.

O método implantado no presente trabalho utilizou-se os clusters de rendimento gravimétrico e queimadores de gases devido ao sistema fornos-fornalha, implantado na propriedade, não adquirir o cluster de troca de calor, mas também devido a carbonização ocorrer de forma isolada, sendo que a fornalha foi utilizada como queimador não contínuo.

#### 3.4.1.3.1 Linha de base

Para o desenvolvimento dos *clusters* é utilizado a metodologia de linha de base que define equações de regressão expressando a relação estatística entre as emissões de metano e o rendimento gravimétrico da carbonização. Foram consideradas as metodologias “ACM0021 - Reduction of emissions from charcoal production by improved kiln design and/or abatement of methane” e “AM0041 Mitigation of Methane Emissions in the Wood Carbonization Activity for Charcoal Production” descrito por (CDM, 2019a; CDM, 2011). O fator de emissão da linha de base fundamenta-se na média ponderada do rendimento gravimétrico ( $Y_{BL}$ ) das atividades da produção de carvão vegetal antes da implementação da atividade de mitigação. Seus parâmetros foram validados de acordo com estudos apresentado pela Organização das Nações Unidas - ONU (2010).

Foi considerado para a linha de base do *clusters* deste estudo o rendimento gravimétrico do carvão de 26% para fornos tipo “rabo-quente” conforme estudo apresentado pelo Centro de Gestão em Estudos Estratégicos (CGEE) (2015), que tem a emissão de 78 kg de CH<sub>4</sub> por tonelada de carvão vegetal produzido. E, para

os parâmetros da equação de regressão que expressa a relação estatística entre as emissões de metano e o rendimento gravimétrico da carbonização (A e B) os valores de 217,12 e 534,76 respectivamente. Além desses valores, nesse estudo, foi assumido o valor 21 toneladas de CO<sub>2</sub> como referência ao potencial de aquecimento global do gás metano (GWP) utilizado nas equações com a intenção de estimar as emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de CH<sub>4</sub>.

As equações para determinar as emissões da linha de base em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (PNUD, 2018) foram as seguintes:

$$BE_y = EF_{CH_4,BL} \times GWP_{CH_4} \times P_{charcoal,y} \quad (\text{equação I})$$

$$EF_{CH_4,BL} = (A - B \times Y_{BL,i}) \quad (\text{equação II})$$

em que:

**BE<sub>y</sub>** = Emissões da linha de base no ano y (tCO<sub>2</sub>e/ano);

**EF<sub>CH<sub>4</sub>,BL</sub>** = Fator de emissão do metano na linha de base (tCH<sub>4</sub>/t carvão vegetal);

**GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub>** = Potencial de aquecimento global do metano (tCO<sub>2</sub>e/tCH<sub>4</sub>);

**P<sub>charcoal,y</sub>** = Produção de carvão vegetal durante o ano y (t carvão vegetal/ano);

**Y<sub>BL,i</sub>** = Média ponderada do rendimento gravimétrico de linha de base da carbonização (tonelada de carvão vegetal/ tonelada de madeira/base seca);

**A, B** = parâmetros da equação de regressão que expressa a relação estatística entre as emissões de metano e o rendimento gravimétrico da carbonização.

#### 3.4.1.3.2 Cluster de MRV – Rendimento Gravimétrico do Carvão

O *cluster* com base no rendimento gravimétrico considerou a atividade de mitigação com base na inovação tecnológica e de processo na produção de carvão vegetal, que reduz as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e aumenta o rendimento gravimétrico conhecido pela relação da massa do carvão vegetal produzido pela massa seca da madeira enfiada.

Para estimar as emissões de GEE do sistema forno fornalha decorrentes do rendimento gravimétrico do sistema, aplicou-se as seguintes equações, obtidas a partir das metodologias ACM0021 e AM0041 (PNUD, 2018).

$$PE_y = EF_{CH_4, BP} \times GWP_{CH_4} \times P_{charcoal, y} \quad (\text{equação III})$$

$$EF_{CH_4, BP} = (A - B \times Y_{P, i}) \quad (\text{equação IV})$$

em que:

$PE_y$  = Emissões do projeto no ano y (tCO<sub>2</sub>/ano);

$EF_{CH_4, BP}$  = Fato de emissão do metano no cenário do projeto (tCH<sub>4</sub>/t carvão vegetal);

$GWP_{CH_4}$  = Potencial de aquecimento global do metano (tCO<sub>2</sub>e/tCH<sub>4</sub>);

$P_{charcoal, y}$  = Produção de carvão vegetal durante o ano y (t carvão vegetal/ano);

$Y_{P, i}$  = Média ponderada do rendimento gravimétrico da carbonização (tonelada de carvão vegetal/ tonelada de madeira/base seca);

**A, B** = parâmetros da equação de regressão que expressa a relação estatística entre as emissões de metano e o rendimento gravimétrico da carbonização.

#### 3.4.1.3.3 Cluster de MRV – Queimadores

O *cluster* com base no queimador considerou a atividade de mitigação com a instalação de queimadores para a degradação do metano (CH<sub>4</sub>), independentemente do valor do rendimento gravimétrico. Caso exista diferença entre o rendimento gravimétrico entre a linha de base e a atividade de projeto, é necessário utilizar o *cluster* do rendimento gravimétrico.

A eficiência para cada tipo de queimador foi verificada por meio da metodologia ACM0001 – *Flaring or use of landfill gas*, do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), CDM (2019). No sistema implantado o queimador foi caracterizado como não contínuo em decorrência da carbonização isolada de cada forno, considerando a eficiência do queimador com 50% de redução de gás metano de acordo com a metodologia ACM0001 do MDL, descrito e padronizado

por Methodologies Booklet - Eleventh edition - Information up to EB 105, CDM, (2019).

Para a estimativa e processamento dos dados do *cluster* de queimador, foi utilizado a *equação V* e *VI* determinada pela mesma metodologia utilizada para a definição da linha de base padrão “ACM0021” e “AM0041” (PNUD, 2018).

$$PE_y = EF_{CH_4,P} \times GWP_{CH_4} \times P_{charcoal,y} \times \left[ \frac{B_{total,y} - B_{qual,b,y} - B_{qual,c,y}}{B_{total,y}} + \frac{B_{qual,b,y}}{B_{total,y}} \times (1 - \eta_{PJ,c}) \right] \quad (\text{equação V})$$

$$EF_{CH_4,BP} = (A - B \times Y_{P,i}) \quad (\text{equação VI})$$

em que:

**PE<sub>y</sub>** = Emissões do projeto no ano y (tCO<sub>2</sub>/ano);

**EF<sub>CH<sub>4</sub>,BP</sub>** = Fator de emissão do metano no cenário do projeto (tCH<sub>4</sub>/t carvão vegetal);

**GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub>** = Potencial de aquecimento global do metano (tCO<sub>2</sub>e/tCH<sub>4</sub>);

**P<sub>charcoal,y</sub>** = Produção de carvão vegetal durante o ano y (t carvão vegetal/ano);

**Y<sub>P,i</sub>** = Média ponderada do rendimento gravimétrico da carbonização (tonelada de carvão vegetal/ tonelada de madeira/base seca);

**A, B** = parâmetros da equação de regressão que expressa a relação estatística entre as emissões de metano e o rendimento gravimétrico da carbonização.

**B<sub>total,y</sub>** = Número total de “fornadas” operadas pelo projeto durante o ano;

**B<sub>qual,b,y</sub>** = Número de “fornadas” que passaram pelo queimador de maneira não contínua. Caso não haja a operação de maneira não contínua, o número de “fornadas” = 0;

$B_{total,c,y}$  = Número de “fornadas” que passaram pelo queimador de maneira contínua. Caso não haja a operação de maneira contínua, o número de “fornadas” = 0;

$\eta_{PJ,b}$  = eficiência de destruição de metano pelo queimador em operações não contínuas = 50%;

$\eta_{PJ,c}$  = eficiência de destruição de metano pelo queimador em operações contínuas = 80%;

Para determinação da eficiência da fornalha, utilizou-se as informações da pesquisa de Mendes (2018). A partir dos dados coletados em campo quanto à emissão e queima dos gases, determinou a eficiência da fornalha da Unidade Demonstrativa de Produção de Carvão Vegetal no contexto do projeto Siderurgia Sustentável, obtendo a média ponderada (equação vii) com base no valor percentual de emissão de gases e no tempo de cada fase do processo de carbonização, uma vez que tem-se diferentes valores de emissão, e consequentemente queima, em função da fase em que se encontra carbonização, obtendo assim, maior precisão quanto aos dados de emissão e redução dos gases e consequentemente da eficiência da fornalha.

$$\frac{\sum [Gás_x] \times tempofase_n}{tempototal} \quad (equação VII)$$

Todos os dados foram inseridos nas planilhas referentes a cada *cluster*, utilizado o software Microsoft Excel, para processamento dos dados, desenvolvido no estudo de Mendes, (2018).

### 3.4.2 Resultados e discussão

As características da madeira e carvão vegetal, bem como o resultado da carbonização dos fornos 1, 2 e 3 para o sistema fornos-fornalha estão na, (Tabela 13), o qual nota-se que somente o forno 1, estava dentro do estipulado no que se

refere a propriedades da madeira e carvão vegetal quanto aos seus usos com umidade abaixo de 40% para madeira, conforme Deliberação Normativa COPAM Nº 227 DE 29 de agosto de 2018 e carvão vegetal abaixo de 8% (FORTALEZA, et al., 2019), ao contrário do forno 3, com comportamento totalmente o oposto. Essa variação de dados divergentes para a carbonização, pode ser explicada pelas condições climáticas no momento de cada carbonização, como também a umidade da madeira no momento da carbonização.

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal para os fornos 1, 2 e 3, foram de: 33,92%; 25,17% e 18,38% respectivamente, resultando em rendimento médio ( $Y_p$ ) de 25,82%. A umidade da madeira é uma variável importante para o processo de carbonização. Devido a intensidade de chuva durante o experimento, e a alta umidade do material enornado foi observado baixo rendimento gravimétrico, devido a combustão de parte do material lenhoso para a retirada de água na forma de vapor (Rousset et al., 2011). Canal et al. (2020) em seu experimento de impacto da umidade da madeira na produção e qualidade do carvão vegetal comprovou que o rendimento do carvão diminui com a utilização de madeiras com altos teores de umidade, recomendando ser menor de 20%, para a contribuição em qualidade, economia e sustentabilidade.

**Tabela 13:** Rendimento gravimétrico do carvão vegetal obtido no sistema forno-fornalha, para os 3 fornos, pelo método MRV.

Fornos	Madeira		Carvão Vegetal		Rendimento Gravimétrico $Y_{p,i}$ (%)	Umidade e Da Madeira (%)	Umidade e Do Carvão (%)
	Massa Úmida (Toneladas)	Massa Seca (Toneladas)	Massa Úmida (Toneladas)	Massa Seca (Toneladas)			
1	6,358	4,846	1,737	1,644	33,92	31,17	5,67
2	6,311	3,863	1,033	0,972	25,17	63,37	6,23
3	6,457	3,911	0,863	0,719	18,38	65,09	20,06
Total	19,126	12,621	3,634	3,333	-	-	-
Média	-	-	-	-	25,82	-	-

Em razão da tecnologia de conversão empregada esperava-se um melhor rendimento gravimétrico, porém devido a fatores como: as propriedades inadequadas da madeira enforada e condições climáticas chuvosas que os fornos estavam impostas, o resultado atingido no experimento foi 0,19% menor do que o rendimento médio de carvão obtido em fornos de linha de base segundo estudos do CGEE (2015). Conforme o mesmo estudo, os resultados médios de rendimento de carvão vegetal via controles mais eficientes do processo de produção foi 35% e 26% de rendimento em fornos tipo “rabo quente” utilizados como linha média de base nacional.

O controle da temperatura de carbonização também é outro fator importante e que influencia no rendimento gravimétrico e na qualidade do carvão vegetal produzido. Em virtude das condições climáticas de intensas chuvas durante as carbonizações e o controle realizado de forma empírica por um período da carbonização do terceiro forno, devido a um problema no pirômetro, fazendo-se necessário a aquisição de outro equipamento; não foi possível realizar o controle efetivo do processo da carbonização, como era o esperado.

Damázio (2015) em um estudo sobre o perfil térmico e controle da carbonização de forno circular por meio da temperatura interna, encontrou resultados médios de rendimento em carvão de 26,4% para carbonização sem controle de temperaturas e 33,2% com controle da temperatura interna. Assim, verifica-se a importância do controle da temperatura de todo o processo de carbonização e seu impacto no rendimento gravimétrico do processo e consequentemente na qualidade do carvão vegetal.

#### **3.4.2.1 Cluster de MRV – Rendimento Gravimétrico**

De acordo com os resultados dos cluster de mitigação da metodologia MRV adquiridos por meio das carbonizações dos fornos 1, 2 e 3 do sistema fornos-fornalha, juntamente com as informações disponibilizadas nas pesquisas de Souza et al. (2016); Adriana de Sousa et al. (2016) e Oliveira et al. (2017) comparando com fornos tradicionais tipo rabo quente, verifica-se na, (Tabela 14), a eficiência do sistema forno-fornalha para aumentar o rendimento gravimétrico e reduzir as

emissões de metano no processo de produção de carvão vegetal.

Em razão do intenso volume de chuvas em toda região sudeste do país, incluindo a cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais onde o projeto está instalado, interferindo no controle efetivo do processo da carbonização, nas condições dos fornos e do material enornado, os resultados obtidos no experimento não apresentam a eficiência do sistema forno fornalha para o rendimento em carvão vegetal e a emissão de gases poluentes.

**Tabela 14:** Dados das emissões da unidade demonstrativa (fornos-fornalha) e da linha de base para o cluster rendimento gravimétrico e queimadores.

Parâmetros	Unidade	Cluster Rendimento Gravimétrico		Cluster Queimadores	
		Linha de Base (Forno "Rabo Quente")	Projeto (Sistema Forno Fornalha)	Linha de Base (Forno "Rabo Quente")	Projeto (Sistema Forno Fornalha) - ACM0001
Soma da Produção de Carvão de Todas UPC ( $P_{\text{charcoal,y}}$ )	Toneladas	3,335	3,335	3,335	3,338
Rendimento Gravimétrico ( $Y_P$ )	%	26	18,38	26	18,39
Fator de Emissão	tCH <sub>4</sub> / t Carvão	0,078	0,1188	0,078	0.1188
Eficiência do Queimador	%	-	-	-	50,00
Metano Não Destruído	%	-	-	100	50,00
Emissão Total	toneladas CO <sub>2</sub> e	5,469	8,323	5,470	4,162
Redução Total de Emissões	toneladas CO <sub>2</sub> e	0	-2,855	0	1,307
Emissão por Tonelada	ton. CO <sub>2</sub> e/ ton. de Carvão	1,639	2,495	1,639	1,247
Redução de Emissões	ton. CO <sub>2</sub> e/ ton. de Carvão	-	-0,855	-	0,392

Com a produção total de 3,34 toneladas de carvão vegetal, o sistema alcançou um valor de rendimento gravimétrico de carvão de 7,62% menor do que produzido nos fornos tradicionais “rabo-quente”, que são considerados a linha de base sem a atividade de mitigação. O fator de emissão foi de 0,119 toneladas de metano por toneladas de carvão vegetal produzido, o fator de emissão do sistema forno fornalha foi maior do que o valor assumido na linha de base 0,078 toneladas de metano por toneladas de carvão produzido.

A emissão total de CO<sub>2</sub> por toneladas de carvão do sistema forno fornalha do projeto siderurgia sustentável foi 52,19% a mais que a emissão total na linha de base estimada por parâmetros definidos na metodologia. As emissões totais da linha de base foram de aproximadamente 5,47 toneladas de CO<sub>2</sub> para cada 3,34 tonelada de carvão produzido, enquanto no sistema forno fornalha as emissões foram de 8,32 toneladas de total de carvão produzido, ou seja, não houve redução da emissão de gases poluente.

Esses valores foram obtidos devido a heterogeneidade do material enforado. Vários fatores podem influenciar de forma negativa o processo de carbonização, a umidade da madeira é um deles. Segundo estudos realizados por Canal (2016), o alto teor de umidade na madeira contribui negativamente para o meio ambiente devido a geração de produtos nocivos a ele. Zanuncio (2014) relata que o alto teor de umidade retido na biomassa é o que mais provoca danos a produção de carvão vegetal no Brasil.

O Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) lançou em agosto de 2018 a Deliberação Normativa 227 que estabelece procedimentos para redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos fornos de carvão vegetal que exigem em seu art.3º manter a umidade da madeira a ser enforada (base seca) abaixo de 40%, o que não ocorreu na maioria dos fornos do presente trabalho.

A biomassa utilizada no experimento apresentava teores elevados de umidade 53,21%. Vale ressaltar que estes valores de umidade foram adquiridos devido a intensa precipitação na região, estando a madeira estocada em um ambiente aberto, não teve como evitar o fato. Esses resultados, apesar de não ser o esperado foi importante para reforçar a importância da qualidade material

utilizado para a carbonização.

Mendes (2018) realizou o mesmo experimento em outra unidade demonstrativa do projeto siderurgia sustentável na cidade de Lamim, Minas Gerais e encontrou resultados satisfatórios e que comprovam a eficiência do Sistema forno fornalha. A madeira utilizada em seu experimento apresenta uma média de 26,38% de umidade, o rendimento de carvão adquirido foi de 32,76%, ou seja, 26% maior em relação ao obtido na linha de base e uma redução de 21,91% das emissões de metano por tonelada de carvão vegetal produzido.

#### **3.4.2.2 Cluster de MRV – Queimadores**

As carbonizações foram realizadas de forma isolada, o que caracterizou o queimador como não contínuo fazendo-se a utilização da metodologia ACM0001, CDM (2019), considerando a redução de metano de 50%. Os resultados de eficiência dos queimadores de gases do sistema forno fornalha estão na Tabela 12, verificando a redução de 23,9% de CO<sub>2</sub> no processo de carbonização quando comparado à emissão na linha de base. O fator de emissão do sistema foi de 0,1188 toneladas de metano por tonelada de carvão produzido, resultando em 0,397 tonelada de metano para o total de carvão produzido.

Ao comparar o resultado do vigente trabalho ao fator de redução com outros trabalhos, verifica que há uma diferença explícita. Estudos como Mendes (2018) e Donato (2017), todos com resultados menores que dessa pesquisa, indicam que quanto menor o fator de redução mais benéfico (Mendes, 2018), o que evidencia a influência dos fatores na madeira e ambientais (estação de intensa chuva). Além disso, a redução de CO<sub>2</sub> foi de 73,15% das emissões quando se comparado com à emissão na linha de base, também inferior ao dessa pesquisa.

#### **3.4.3 Conclusões**

Os resultados encontrados na metodologia MRV no experimento não foram os esperados do Projeto Siderurgia Sustentável. O valor elevado da umidade da madeira e as condições do processo de carbonização, diminuiu a produção de carvão vegetal e aumentou a emissão de gases de efeito estufa. Assim, essas

condições adversas para o sistema fornos-fornalha resultaram em dados pouco inferiores ao método tradicional. Contudo, ainda assim é viável sua utilização para a produção de carvão vegetal devido a qualidade do carvão gerado, mesmo sob condições adversas e pontuais a uma estação do ano. Isso principalmente devido ao uso de madeiras com propriedades não recomendadas, tendo umidade acima de 40%.

O rendimento gravimétrico do carvão foi 7,62% menor quando comparado à linha de base, ocasionando assim, um aumento de 52,19% da emissão de CO<sub>2</sub> equivalente a tonelada de carvão produzido. O queimador “não contínuo”, com eficiência de 50% de queima de metano, proporcionou uma redução de 0,392 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente a tonelada de carvão produzido, este valor também é considerado baixo se comparado com resultados de projetos já realizados do Siderurgia Sustentável. O uso de madeira com baixo teor de umidade e controle efetivo da temperatura representa uma alternativa para melhorar a produção de carvão vegetal e consequentemente uma menor emissão de GEE para atmosfera.

Ficou evidente a importância de se respeitar as normas e propriedades da madeira quanto aos seus usos com umidade abaixo de 40% para madeira, conforme Deliberação Normativa COPAM Nº 227 DE 29 de agosto de 2018 que garante a qualidade da madeira e do carvão vegetal gerado. E apesar dos resultados não terem apresentados como ideal, nota-se que os queimadores (fornalha) exerce papel fundamental na degradação e combustão térmica dos GEE gerados, tendo expressiva redução, mesmo que funcione sob condições adversas climáticas.

Vale ressaltar que o processo de carbonização na unidade demonstrativa será continuado com a retomada das atividades presenciais na UFSJ/CSL, a partir do momento que as Portarias e Resoluções vigentes, determinadas pelos Conselhos Superiores forem suspensas. Portarias estas: a Portaria UFSJ nº 113, de 17 de março de 2020, que determina a adoção de medidas emergenciais no âmbito da UFSJ considerando a pandemia de COVID-19; e a Portaria UFSJ nº 122, de 21 de março de 2020, que determina que, a partir da segunda-feira, 23 de março de 2020, ficam suspensos os trabalhos presenciais nos campi da UFSJ; bem

como a Resolução UFSJ/CONEP nº 002, de 17 de março de 2020, que suspende o Calendário Acadêmico da Graduação e da Pós-graduação 2020 para os cursos presenciais da UFSJ.

## 5. Considerações finais

Analisado o exposto acima, nota-se que o fragmento florestal que está presente na propriedade na qual a unidade demonstrativa do sistema fornos-fornalha da UFSJ/CSL está instalada se mostrou extremamente diverso e com importantes funções ecológicas, sendo a *Q. Grandiflora* Mart. a espécie de maior frequência na área. Ressalta-se também a grande presença de *Eucalyptus* spp. (na borda da propriedade). A papel da manutenção das espécies arbóreas na propriedade é evidenciado pelos relatórios de quantificação para as emissões de GEE na unidade produtora, a qual cumpriu seu objetivo de reduzir as emissões de GEE na atmosfera. Assim, auxiliou positivamente na obtenção de um produto de elevada qualidade com produção mais “limpa” e eficiente, mesmo que sob condições adversas climáticas sob intensas chuvas.

Dessa forma, devido a estas condições adversas climáticas as quais os fornos estavam expostos, e a elevada umidade média da madeira de aproximadamente 60%, os resultados da avaliação MRV, não foram os esperados para o Projeto Siderurgia Sustentável. Em que, tais fatores externos, durante o processo de carbonização, diminuíram a produção de carvão vegetal e aumentaram a emissão de gases de efeito estufa. Entretanto, este trabalho serve como fomento inicial de pesquisa, voltado para a quantificação e controle das emissões durante o funcionamento da UPC, sendo recomendado atividades diárias, e utilizar madeiras dentro das propriedades requeridas, a fim de obter resultados desejados para este tipo de produção mais sustentável e com elevada qualidade de carvão vegetal.

Por fim, ressalta-se que os processos de carbonização na unidade demonstrativa serão continuados com a retomada das atividades presenciais na UFSJ/CSL, suspensas por meio da portaria nº 122 de 21 de março de 2020 devido a pandemia coronavírus (SARS-CoV-2). Novas carbonizações, análises e demais

atividades serão realizadas a partir do momento em que as Portarias e Resoluções vigentes na universidade e pelo Ministério da Educação/MEC, determinadas pelos Conselhos Superiores forem suspensas ou alteradas, visando a garantia da saúde e segurança de todos os atores envolvidos.

## 6. Referências

ADRIANA DE SOUSA, L. I. M. A., SANTOS, K. P. P., & CASTRO, A. A. J. F. (2016). **Aspectos socioambientais da produção de carvão vegetal de origem nativa em uma área de cerrado em Jerumenha, Piauí/Brasil.** *Revista ESPACIOS/ Vol. 37 (Nº 03) Año 2016.*

ALVES, E. B. B. M. (2014). **Mudanças climáticas: percepção do produtor, balanço de carbono em propriedades rurais e neutralização de evento da Universidade Federal de Viçosa.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal. 138p.

ANDRADE, M., & FEIDEN, A. (2017). **Custos socioambientais: A quantificação financeira dos créditos de carbono na agricultura e a sustentabilidade na relação da agroenergia produzida com a matriz energética utilizada.** In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC.*

Associação Brasileira De Produtores De Florestas Plantadas - ABRAF. 2012. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011.** Brasília: 2012. 145p

BAHU, A. M. (2015). **A comercialização de carvão vegetal versus insustentabilidade das florestas naturais baseado num estudo de caso das aldeias de Nazaré e Calombo nos Municípios de Lomgonjo e Caála, Província do Huambo, Angola.** Dissertação - Faculdade de Ciências Agrárias. Universidade José Eduardo dos Santos / Instituto Superior de Agronomia. 174p.

BARRETO, T. G., NETTO, S. P., DALLA CORTE, A. P., RODRIGUES, A. L., & SANQUETTA, C. R. (2017). **Influência das características químicas do solo na dinâmica de crescimento de um fragmento florestal.** *MAGISTRA*, 28(1), 1-12.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TOWNSEND, C. R. **Ecology: indivíduos, population and communities.** 3. ed. Oxford: Blakwell Science, 1996. 1068p.

BRASIL. (2019). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Produção sustentável de carvão vegetal: manual de construção de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente...** [et al.]. – Brasília, DF. MMA, 2019. 60p.

BRASIL. (2019a). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente...** [et al.]. – Brasília, DF. MMA, 2019. 114p.

BRAZ, E., CANETTI, A., BASSO, R., & de MATTOS, P. P. (2017). **Aplicando o conhecimento da dinâmica da floresta como subsídio para o manejo florestal sustentado de *Sextonia rubra* e *Jacaranda copaia*.** *Embrapa Florestas- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*.

BRIANEZI, D., JACOVINE, L. A. G., SCHETTINI, B. L. S., TORRES, C. M. M. E., DA ROCHA, S. J. S. S., VILLANOVA, P. H., & DE OLIVEIRA NETO, S. N. (2019). **Balço de carbono em monocultivo de eucalipto com diferentes arranjos espaciais.** *Revista brasileira de agropecuária sustentável*, 9(1).

CANAL W.D., CARVALHO A.M.M.L., CARNEIRO ACO, PEREIRA B.L.C., DONATO D.B. (2016). **Efeito do teor de umidade da madeira na emissão de gases de efeito estufa no processo de carbonização.** *Scientia Florestalis*. 44(112): 831-840. 10.18671/scifor.v44n112.05

CANAL, W. D., CARVALHO, A. M. M., FIGUEIRÓ, C. G., CARNEIRO, A. D. C. O., FIALHO, L. D. F., & DONATO, D. B. (2020). **Impact of Wood Moisture in Charcoal Production and Quality.** *Floresta e Ambiente*, 27(1).

CARDOSO, M. T., DAMÁSIO, R. A. P., CARNEIRO, A. D. C. O., JACOVINE, L. A. G., VITAL, B. R., & BARCELOS, D. C. (2010). **Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes.** *Cerne*, 16, 115-124.

CARNEIRO, A.C.O.; LANA, A.Q.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C.; SALLES, T.T. (2012). **Estudo da viabilidade técnica e econômica da produção de carvão vegetal em fornos circulares com baixa emissão de poluentes.** Centro de Pesquisas em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ. Viçosa.

CASTRO NETO, F. D., JACOVINE, L. A. G., TORRES, C. M. M. E., OLIVEIRA NETO, S. N. D., CASTRO, M. M. D., VILLANOVA, P. H., & FERREIRA, G. L. (2017). **Balço de**

**carbono–viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. *Floresta e Ambiente*, 24.**

CDM Methodologies Booklet - Eleventh edition - Information up to EB 105. (2019).

**ACM0001 Flaring or use of landfill gas, do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)** - pág.143 Disponível em:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/index.html>.

CDM Methodologies Booklet - Eleventh edition - Information up to EB 105.

(2019a). **ACM0021 Reduction of emissions from charcoal production by improved kiln design and/or abatement of methane.** - pág.162. Disponível em:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/documentation/index.html>.

CDM Methodology Booklet November up to EB 63 (2011). **AM0041 Mitigation of Methane Emissions in the Wood Carbonization Activity for Charcoal Production.**

- pág.143. Disponível em:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/B2SCH5WZLQYHTVSHQ4BIADMCBQ1P9U>.

COELHO JÚNIOR, L. M. (2017). **Análise temporal dos preços do carvão vegetal, no Estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 160p.

CORDEIRO, N. G., PEREIRA, K. M. G., TERRA, M. C. N. S., & MELLO, J. M. D. (2018). **Variação temporal do estoque de carbono e volume de madeira em um fragmento de cerrado sensu stricto.** *Enciclopédia Biosfera*, 15(28), 931-941.

COLGAN, M. S.; SWEMMER, T.; ASNER, G. P. (2014). **Structural relationships between form factor, wood density, and biomass in African savanna woodlands.** *Trees*, v. 28, p. 91–102.

CETEC, (1995). **Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de minas gerais e outras regiões do País.** Relatório final FAPEMIG/CEPEC. Belo Horizonte. 297p.

COELHO, F. D. A., PINTO, M. V. P., FERREIRA, F. N., & RUSCHEL, A. R. (2017). **Avaliação da eficiência do monitoramento de parcelas permanentes em uma unidade de manejo florestal.** In *Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de*

**congresso (ALICE).** In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 21., 2017, Belém, PA. Anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017.

COSTA, J. M. F. N., DE FREITAS, F. P., CANAL, W. D., DE MAGALHÃES, M. A., CARVALHO, A. M. M. L., & CASTRO, R. V. O. (2019). **Geração de créditos de carbono na queima de metano na carbonização.** *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 10(1).

DAMASIO, R.A.P. (2015). **Perfil térmico e controle da carbonização em forno circular por meio da temperatura interna.** *Ciência da Madeira - Brazilian Journal of Wood Science.*, Pelotas, v 61. p11 - 22, 2015.

DE PAIVA, M. C. S., GOMES, M. F. M., VALVERDE, S. R., LEITE, C. A. M., & da SILVA, M. L. (2016). **Variação cambial e competitividade financeira do carvão vegetal e do coque na atividade siderúrgica.** *Revista Científica Da Faminas*, 1(1).

DONATO, D. B. (2017). **Desenvolvimento e avaliação de desempenho de uma fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 101p.

DOUBRAWA, B., SANQUETTA, C. R., DALLA CORTE, A. P., & HENTZ, Â. M. K. (2014). **Remoção de CO<sub>2</sub> associada à dinâmica da cobertura florestal na bacia hidrográfica do rio Iguaçu no período 2000-2010.** *Interciencia*, 39(8), 562-569.

FERNANDES, L. M. (2013). **Estudo da rentabilidade e risco da produção de eucalipto para energia em Minas Gerais.** *Informações Econômicas*, 43(6), 28-35.

FERNANDES, R. S.; SOUZA, V. J.; PELISSARI, V. B.; FERNANDES, S. T. (2004). **Uso da percepção ambiental como instrumento de gestão em aplicações ligadas às áreas educacional, social e ambiental.** Disponível em: <[http://www.redeceas.esalq.usp.br/noticias/Percepcao\\_Ambiental.pdf](http://www.redeceas.esalq.usp.br/noticias/Percepcao_Ambiental.pdf)>. Acesso em: agosto de 2020..

FONTES, A. A., SILVA, M. L. D., & LIMA, J. E. D. (2005). **Integração espacial no mercado mineiro de carvão vegetal.** *Revista árvore*, 29(6), 937-946.

- FORTALEZA, A. P., CERETTA, R. P. D. S., BARROS, D. D. S., & SILVA, S. S. D. (2019). **Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal.** *Ciência Florestal*, 29(3), 1436-1451.
- GOMES, M. T. M., DA SILVA, M. L., VALVERDE, S. R., JACOVINE, L. A. G., SOARES, N. S., & PIRES, V. A. V. (2007). **Diagnóstico da Indústria Siderúrgica em Minas Gerais.** *CERNE*, 13, 60-66.
- HENRIQUE, R. P. B. (2018). **Análise fitossociológica em vegetação de cerrado sensu stricto em um gradiente topográfico no Brasil Central.** *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 13.
- IBÁ. (2019). Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2019.** 80p. Disponível em:< <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>.  
Brasília, DF. 2019.
- IBGE (2018). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2018.** Prod. Extr. veg. e Silv., Rio de Janeiro, v. 33, p. 1-8. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2018\\_v33\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2018_v33_informativo.pdf).
- IMAÑA, C. R., DE SOUZA, Á. N., ÂNGELO, H., DA SILVA, M. L., & REZENDE, J. L. P. (2015). **A tributação na produção de carvão vegetal.** *CERNE*, 21(1), 9-16.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES – IBA (2020). **Relatório Anual 2019: ano base 2018.** Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf> > Acesso em: 07 de Agosto 2020.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. (2013). **Climate Change 2013: the physical science basis.** Geneva, Switzerland, 2013. 126p.
- MACHADO, T. F. F. (2017). **O setor de carvão vegetal na região central de Minas Gerais: algumas informações econômicas.** Universidade Federal Do Paraná, Curitiba, 2012. 29p.
- MALARD, A. A. M. (2009). **Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. 216p.

MCGINNIES, W. G. (1934). **The relationship between frequency index and abundance as applied to plant populations in a semi-arid region.** Ecology, v. 15, n. 3, p. 263-282, 1934. <https://doi.org/10.2307/1932468>.

MCTIC. (2016) Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Disponível em: <http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/Volume+3.pdf/355d4a1e-9f3c-474a-982e-b4a63312813b>. Acesso em: 10 set. 2018.

MENDES. M. (2018) **Aplicação da metodologia mrv para quantificação das emissões do sistema forno-fornalha no contexto do projeto siderurgia sustentável.** Monografia. Universidade Federal De Viçosa. 57p.

MEDEIROS, P. C. A. D. O. (2018). **Modelos volumétricos e fator de forma na estimativa do volume de árvores em cerrado sensu stricto.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Gurupi. 57p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. (2013). **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura.** Brasília, 173p. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/download.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/download.pdf). Acesso em: agosto de 2020.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. (2008). **Manual de capacitação sobre Mudança do Clima e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).** Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2020). **Balanco Energético Nacional 2020 Relatório Síntese / Ano Base 2019.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> > Acesso em: agosto de 2020.

- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. (1974). **Aims and methods of vegetation ecology**. Nova Iorque: John Willey e Sons, 1974.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. **Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011.
- ODUM, E. P. (1988). **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988.
- OLIVEIRA, A. C., CARNEIRO, A. D. C. O., PEREIRA, B. L. C., VITAL, B. R., CARVALHO, A. M. M. L., TRUGILHO, P. F., & DAMÁSIO, R. A. P. (2013). **Otimização da produção do carvão vegetal por meio do controle de temperaturas de carbonização**. *Revista Árvore*, 37(3), 557-566.
- OLIVEIRA, A. C., PEREIRA, B. L. C., SALLES, T. T., CARNEIRO, A. D. C. O., & LANA, A. Q. (2017). **Análise de risco econômico de dois sistemas produtivos de carvão vegetal**. *Floresta e Ambiente*, 24.
- OLIVEIRA, A. C., SALLES, T. T., PEREIRA, B. L. C., CARNEIRO, A. D. C. O., BRAGA, C. S., & SANTOS, R. C. (2014). **Viabilidade Econômica Da Produção De Carvão Vegetal Em Dois Sistemas Produtivos**. *Floresta*, 44(1), 143-152.
- OLIVEIRA, A.C. (2012). **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- ONU. (2010). ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - MDL - DCP versão 4**. Projeto Energia Verde Carbonização. 2010, 209p.
- PAIVA, W. S. (2018) **Sequestro de carbono em um remanescente de floresta densa na Amazônia brasileira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas. 31p.
- PESSOA, S. T., & DE PÁDUA RIBEIRO, L. M. (2017). **Investment analysis in eucalyptus plantation in a small rural property in Bom Despacho City/MG**. *CEP*, 35701, 970.

- PICANCIO, A. C. S., ISBAEX, C., DA SILVA, M. L., SALLES, T. T., RÊGO, L. J. S., & DA SILVA, L. F. (2018). **Controle do Processo de Produção de Carvão Vegetal para Siderurgia**. *Caderno de Administração. Revista da Faculdade de Administração da FEA*, 12(1).
- PINHEIRO, P. C. C. et al. **A produção de carvão vegetal: teoria e prática**. Belo Horizonte, 2006.
- PIRES, A., FELFILI, J. M., & DE ABREU, A. R. (2018). **Florística e fitossociologia do cerrado stricto sensu na APA de Cafuringa-DF**. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 4.
- PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **SIDERURGIA SUSTENTÁVEL – Cartilha Siderurgia Sustentável**. Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha / Ministério do Meio Ambiente ... [et al.]. – Brasília, DF: MMA, 2019.
- REZENDE, J. L. P., COELHO, L. M., DE OLIVEIRA, A. D., & SÁFADI, T. (2005). **Análise dos preços de carvão vegetal em quatro regiões no estado de Minas Gerais**. *Cerne*, 11(3), 237-252.
- REZENDE, J., & SANTOS, A. (2010). **A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades**. Viçosa: EPAMIG, 2010. 80 p. *Boletim Técnico*, 95.
- RIBEIRO, G. B. D. D., CARNEIRO, A. D. C. O., LANA, A. Q., & VALVERDE, S. R. (2020). **Viabilidade econômica de quatro sistemas produtivos de carvão vegetal do estado de minas gerais**. *Revista Árvore*, 44.
- RICKLEFS, R. E. (2003). **A Economia da Natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.
- RIOS, M. N. D. S., SOUSA-SILVA, J. C., & MALAQUIAS, J. V. (2018). **Mudanças pós-fogo na florística e estrutura da vegetação arbóreo-arbustiva de um cerrado sentido restrito em Planaltina-DF**. *Ciência Florestal*, 28(2), 469-482.
- RODAL, M. J. N. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FIGUEIREDO, M. A. (1992). **Manual sobre métodos de estudos florísticos e fitossociológicos: ecossistema Caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1992.

ROSSI, C. V., DA SILVA JÚNIOR, M. C., & DOS SANTOS, C. E. N. (2018). **Fitossociologia do estrato arbóreo do cerrado (sensu stricto) no Parque Ecológico Norte, Brasília-DF.** *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, 2.

ROUSSET P, FIGUEIREDO C, DE SOUZA M, QUIRINO W. (2011). **Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: a statistical analysis approach.** *Fuel Processing Technology* 92(10): 1890-1897. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.05.005>

SAMPAIO, R. S. (2001). **Produção de metais com biomassa plantada.** In: Mello, M. G. (Org.). **Biomassa: energia dos trópicos em Minas Gerais.** Belo Horizonte: LabMídia. 2001, p. 164.

SANTOS, S. D. F. D. O. M., & HATAKEYAMA, K. (2012). **Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural.** *Production*, 22(2), 309-321.

SANTOS, S. F. O. M. (2017) **Modelo ambiental e econômico de produção de carvão vegetal.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. 144p.

SILVA, L. B., (2019). **Sistema para cálculo do balanço de carbono e viabilidade técnica e econômica na produção de carvão vegetal.** Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019.

SILVA, V. D. F. (2019a). **Neutralização de carbono: adaptabilidade e desenvolvimento de espécies florestais no ambiente urbano.** Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. 70p.

SILVEIRA, P. (2010). **Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial.** *Floresta*, 40(4).

SIMIONI, F. J., MOREIRA, J. M. M. Á. P., FACHINELLO, A. L., DE ALMEIDA BUSCHINELLI, C. C., & MATSUURA, M. I. D. S. F. (2017). **Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal da silvicultura no Brasil.** *Ciência Florestal*, 27(2), 731-741.

SINDIFER. (2020). SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Anuário Estatístico Ano Base: 2019**. Disponível em: <http://www.sindifer.com.br/institucional/anuario/anuario.php>. Acesso em: agosto de 2020.

SOARES, V. C., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., PEREIRA, A. J., & HÖFLER, J. (2014). **Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto**. *Revista Árvore*, 38(3), 543-549.

SOUZA, N. D. D., AMODEI, J. B., XAVIER, C. N., DIAS JÚNIOR, A. F., & CARVALHO, A. M. D. (2016). **Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico**. *Floresta e Ambiente*, 23(2), 270-277.

TEIXEIRA, G., & RODRIGUES, G. S. D. S. C. (2018). **Silvicultura e siderurgia a carvão vegetal: implicações na organização territorial no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais**. *Caminhos de Geografia*, 19(66), 297-312.

TITO, M. R.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. (2009). **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. 1. ed. Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 2009. 81 p.

TRUGILHO, P. F. (2009). **Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de Eucalyptus**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.33, n.5, p.1228-1239, 2009.

UHLIG, A. (2008). **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimativa do consumo**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Inter Unidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 156p.

UHLIG, A., GOLDEMBERG, J., & COELHO, S. T. (2008). **O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas**. *Revista brasileira de energia*, 14(2), 67-85.

VITAL, M. H. F., & PINTO, M. A. C. (2009). **Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 30, p. 237-297.

ZANUNCIO AJV, LIMA JT, MONTEIRO TC, TRUGILHO PF, LIMA FS. (2014). **Secagem ao ar livre da madeira para produção de carvão vegetal**. Floresta e Ambiente 2014; 21(3): 401-408. 10.1590/2179-8087.028713