



**Universidade de Brasília – UnB**

**Faculdade Unb Planaltina**

**Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural –**

**PPGMADER**

**GUSTAVO JOSÉ SOARES**

**INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS E NA CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO  
ATMOSFÉRICO**

GUSTAVO JOSÉ SOARES

**INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS E NA CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO  
ATMOSFÉRICO**

Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural - PPG - MADER da Universidade de Brasília - UnB, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural.

Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Suzi Huff Theodoro

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SSO676i Soares, Gustavo José  
Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas  
agroflorestais e na captura de dióxido de carbono  
atmosférico / Gustavo José Soares; orientador Suzi Huff  
Theodoro. -- Brasília, 2018.  
101 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Meio Ambiente e  
Desenvolvimento Rural) -- Universidade de Brasília, 2018.

1. Captura de CO2. 2. Remineralizadores. 3.  
Agrofloresta. I. Huff Theodoro, Suzi, orient. II. Título.

Dissertação de Mestrado

GUSTAVO JOSÉ SOARES

Título:

**“INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS E NA CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO  
ATMOSFÉRICO”**

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra Suzi Huff Theodoro

Universidade de Brasília – FUP/UnB

---

Prof. Dr Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

Universidade de Brasília – FUP/UnB

---

Prof. Dr Thomas Ludewigs

Universidade de Brasília – CDS/UnB

## AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos pela elaboração dessa Dissertação são para todos que dela participaram, a tudo que aconteceu na minha formação e que se voltou para o interesse pela Agroecologia.

Obrigado à Natureza, por todas as oportunidades oferecidas, e à Academia pela busca incansável de tentar sistematizar dez mil anos de agricultura.

Agradeço a meus pais, irmãos, filhos e agregados pelo apoio incondicional, pela companhia e pelo carinho.

À Orientadora, Professora Doutora Suzi Huff Theodoro, a gratidão pela acolhida nos corredores do campus em 2001 e por me orientar durante o processo de forma atenciosa e compreensiva.

Ao Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal, pela visão de oferecer capacitação aos servidores, visando melhorar a gestão dos recursos naturais.

Aos/a agricultores(a) – Juã Pereira, Maurício Hoffmann, Rômulo Araújo, Silvia Pinheiro Santos - envolvidos na pesquisa, pela aceitação da minha invasão em suas casas e por todo o ensinamento transmitido.

À Fundação dryGRow, pelo apoio financeiro que viabilizou as análises de solo. Ao prof. André Mundstock de Carvalho, da UFV, pelo suporte nas análises estatísticas.

Aos professores, em especial àqueles que participaram diretamente desse trabalho, participando da banca de qualificação e banca de defesa.

Aos amigos das turmas 2015, 2016 e 2017, aos servidores da Universidade de Brasília, Faculdade de Planaltina, por todos os momentos dentro e fora do campus e pela paciência.

*“Quem não respeita a natureza  
Não dá força pra beleza  
Não considera a vida  
É pedra, não é gente ainda”  
Pepeu Gomes, 1988*

## RESUMO

SOARES. G. J. **Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico.** 2018. 101p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) mostram-se como uma opção altamente viável para garantir a produção de alimentos de forma sustentável. Para potencializar este tipo de opção, o uso de remineralizadores de solo (pós de rocha), aplicados na implantação dos agroecossistemas, facilita a oferta de nutrientes e melhora o desenvolvimento das espécies vegetais inseridas no Sistema. A combinação dessas duas tecnologias ou práticas agroecológicas favorece o crescimento das espécies vegetais e a ampliação da captura e da retenção de CO<sub>2</sub> atmosférico. Com a finalidade de averiguar tal potencialidade, a presente pesquisa realizou estudo de caso em quatro propriedades localizadas no Distrito Federal, as quais utilizam SAFs como modelo de produção, todos instalados há três anos. O estudo comparou em que medida as práticas de manejo e o uso dos remineralizadores durante a instalação desses Sistemas contribuíram para a melhoria química e física da qualidade do solo e o incremento na retenção de CO<sub>2</sub> realizado por indivíduos arbóreos previamente selecionados. Para tanto, foram realizadas análises de solo (amostras com 20 cm) e inventários de sequestro de carbono em dez indivíduos de três espécies chaves em cada SAF (abacate, café, eucalipto, jaca, baru e jatobá). Das quatro áreas estudadas, somente o SAF 1 não utilizou pó de rocha na implementação da área. Outras duas áreas, SAF 2 e 3, utilizaram o remineralizador derivado de um calcoxisto (Remix) e o SAF 4 utilizou o MB-4 (serpentinó). Foi realizada análise de variância (ANOVA) e teste Tukey para verificar a ocorrência de diferenças entre os teores de nutrientes no solo, em amostragens que ocorreram no início e no final do estudo. Para verificar o crescimento vegetal acompanhou-se a variação do Diâmetro na Altura do Peito (DAP) que resultou no valor de acúmulo biomassa, de carbono e a fixação de CO<sub>2</sub>. Ao final do estudo foi possível mostrar que os Sistemas Agroflorestais, associados à tecnologia da Rochagem, contribuem de forma efetiva para alterar os índices de fertilidade e de qualidade do solo. Verificou-se que o desenvolvimento dos SAFs foi mais expressivo naqueles que utilizaram o pó de rocha, possibilitando, assim, o desenvolvimento de plantas mais vigorosas que se tornam capazes de ampliar o seu potencial de captura e de retenção de CO<sub>2</sub>. As plantas que mais se destacaram na retenção de carbono atmosférico são as espécies de crescimento rápido.

**Palavras-chave:** Captura de CO<sub>2</sub>, Remineralizadores, Agrofloresta.

## ABSTRACT

Agroforestry Systems (SAFs) are a highly feasible option to ensure sustainable food production. To optimize this type of option, the use of soil remineralizers (rock powders), applied in the implantation of agroecosystems, facilitates the supply of nutrients and improves the development of plant species inserted in the System. The combination of these two technologies or agroecological practices favors the growth of plant species and the increase of capture and retention of atmospheric CO<sub>2</sub>. With the purpose of ascertaining this potentiality, the present research carried out a case study in four properties located in the Federal District, which use SAFs as production model, all installed three years ago. The study compared the extent to which management practices and the use of remineralizers during the installation of these systems contributed to the chemical and physical improvement of soil quality and the increase in CO<sub>2</sub> retention performed by previously selected tree individuals. Soil analyzes (20 cm samples) and carbon sequestration inventories were performed in ten individuals of three key species in each SAF (avocado, coffee, eucalyptus, jaca, baru and jatobá). Of the four areas studied, only SAF 1 did not use rock dust in the implementation of the area. Two other areas, SAF 2 and 3, used the remineralizer derived from a calcoxist (Remix) and SAF 4 used MB-4 (serpentinite). An analysis of variance (ANOVA) and Tukey test were performed to verify the occurrence of differences between soil nutrient contents, in samplings that occurred at the beginning and at the end of the study. In order to verify the vegetal growth, the variation of the Diameter at the Height of the Chest (DAP) was followed, which resulted in the value of biosolid accumulation, of carbon and the fixation of CO<sub>2</sub>. At the end of the study it was possible to show that the Agroforestry Systems, associated to the Rochagem technology, contribute in an effective way to alter the fertility and soil quality indexes. It was found that the development of SAFs was more expressive in those who used the rock powder, thus enabling the development of more vigorous plants that are able to increase their capture and retention potential of CO<sub>2</sub>. The plants that stood out the most in the atmospheric carbon retention are fast growing species.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Capture, Remineralizers, Agroforestry.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Imagem com os recortes das bacias hidrográficas e localização dos 4 SAFs.....	30
<b>Figura 2</b> – Prática de poda e trituração da biomassa. SAF 2.....	31
<b>Figura 3</b> – Prática de poda e trituração da biomassa. SAF 2.....	32
<b>Figura 4</b> – Imagem mostrando a delimitação do SAF 1	34
<b>Figura 5</b> – Localização e conformação pedológica da região do SAF 1 .....	35
<b>Figura 6</b> – Imagem mostrando práticas de manejo para a implantação do SAF .....	36
<b>Figura 7</b> – Período de implantação do SAF.....	37
<b>Figura 8</b> – Cultivo agroflorestal (hortaliças e frutíferas).....	37
<b>Figura 9</b> – Detalhe de uma das espécies frutíferas do sistema agroflorestal .....	37
<b>Figura 10</b> – Imagem mostrando a delimitação do SAF 2.....	38
<b>Figura 11</b> – Localização e conformação pedológica da região do SAF 2 .....	39
<b>Figura 12</b> – Preparo do adubo na fase de implantação no Sítio Raíz.....	40
<b>Figura 13</b> – Reservatório de água e vista do SAF 2 há quatro anos (2014) .....	41
<b>Figura 14</b> – Vista aérea da delimitação do SAF 3 e SAF 3/5.....	42
<b>Figura 15</b> – Localização e conformação pedológica da região do SAF 3/5.....	43
<b>Figura 16</b> – Preparo do solo na fase de implantação do SAF 3.....	44
<b>Figura 17</b> – Adição de material triturado e restos de poda na implantação do SAF 3 .....	45
<b>Figura 18</b> – Vista geral de uma área interna (espécie monitorada café sobreado) do SAF 3 (abril de 2017) .....	46
<b>Figura 19</b> – Vista do SAF 3 (a direita) e SAF 3/5 (a esquerda) em abril de 2017 .....	46
<b>Figura 20</b> – Delimitação do SAF 4.....	47
<b>Figura 21</b> – Localização e conformação pedológica da região do SAF 4 .....	48
<b>Figura 22</b> – Preparo da área para a implantação do SAF 4 .....	49
<b>Figura 23</b> – Pilha de remineralizador (Remix) a ser aplicado nas novas áreas na propriedade	50
<b>Figura 24</b> – Disposição de uma das espécies frutíferas de alto valor comercial (pitaia- <i>Hylocereus undatus</i> ) em uma das linhas do SAF 4.....	51
<b>Figura 25</b> – Vista geral da distribuição das linhas de citrus e produção de biomassa do SAF 4 .....	52
<b>Figura 26</b> – Velocidade média dos ventos ( $\text{ms}^{-1}$ ) .....	52
<b>Figura 27</b> – Precipitação média (mm) .....	53
<b>Figura 28</b> – Temperaturas Máximas e Mínimas.....	53
<b>Figura 29</b> – Gráfico UR média .....	53
<b>Figura 30</b> – Análise temporal dos valores de pH (em água) do solo nos 4 SAFs.....	65

<b>Figura 31</b> – Análise temporal dos valores de MO (áreas de SAFs - dag/kg).....	66
<b>Figura 32</b> – Análise temporal dos valores de C. org. (dag/kg).....	66
<b>Figura 33</b> – Análise temporal da variação da concentração de P (mg/dm <sup>3</sup> ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas .....	67
<b>Figura 34</b> – Análise temporal da variação da concentração de K (mg/dm <sup>3</sup> ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas .....	67
<b>Figura 35</b> – Análise temporal da variação da concentração de Cálcio (cmol/dm <sup>3</sup> ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas .....	68
<b>Figura 36</b> – Análise temporal da variação da concentração de Magnésio (cmol/dm <sup>3</sup> ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas .....	68
<b>Figura 37</b> – CTC (cmol/dm <sup>3</sup> ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas .....	69
<b>Figura 38</b> – Teor de B (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	71
<b>Figura 39</b> – Teor de Zn (mg/dm <sup>3</sup> ).....	71
<b>Figura 40</b> – Teor de Fe (mg/dm <sup>3</sup> ).....	71
<b>Figura 41</b> – Teor de Mn (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	71
<b>Figura 42</b> – Teor de Cu (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	71
<b>Figura 43</b> – Disponibilidade de P (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) no solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo.....	73
<b>Figura 44</b> – Acidez ativa (pH em CaCl <sub>2</sub> ), CTC potencial, matéria orgânica (M.O.) e saturação de bases (V) no solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo.....	74
<b>Figura 45</b> – Postos do índice global Desirability dos parâmetros P, K, S, Ca, Mg, B, Mn e pH do solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo .....	75
<b>Figura 46</b> – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) – Abacate.....	78
<b>Figura 47</b> – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Café .....	78
<b>Figura 48</b> – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Eucalipto .....	78
<b>Figura 49</b> – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Outras espécies.....	78
<b>Figura 50</b> – Teor de pH .....	83
<b>Figura 51</b> – Teor de MO .....	83
<b>Figura 52</b> – C org.....	84
<b>Figura 53</b> – P (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	84
<b>Figura 54</b> – K (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	84
<b>Figura 55</b> – Ca <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) .....	84

<b>Figura 56</b> – $Mg^{2+}$ (cmolc/dm <sup>3</sup> ) .....	84
<b>Figura 57</b> – CTC (cmolc/dm <sup>3</sup> ).....	84
<b>Figura 58</b> – B (mg/dm <sup>3</sup> ).....	85
<b>Figura 59</b> – Zn (mg/dm <sup>3</sup> ).....	85
<b>Figura 60</b> – Fe (mg/dm <sup>3</sup> ) .....	85
<b>Figura 61</b> – Mn (mg/dm <sup>3</sup> ).....	85
<b>Figura 62</b> – Cu (mg/dm <sup>3</sup> ).....	85
<b>Figura 63</b> – Porcentagem de crescimento médio das espécies (%) .....	86
<b>Figura 64</b> – Desenvolvimento vegetal do Abacate para o período (kg/planta) .....	87
<b>Figura 65</b> – Desenvolvimento vegetal do Café para o período (kg/planta).....	87
<b>Figura 66</b> – Desenvolvimento vegetal do Eucalipto para o período (kg/planta).....	87

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Conteúdo de nutrientes exigidos como garantias mínimas, conforme IN 05/2016..	24
<b>Tabela 2</b> – Identificação do sistema, tipo de solo e remineralizador utilizado.....	54
<b>Tabela 3</b> – Análise dos dois remineralizadores - Remix e MB4. Macronutriente (%) e Micronutriente (ppm).....	55
<b>Tabela 4</b> – Principais características das espécies arbóreas analisadas .....	57
<b>Tabela 5</b> – Composição granulométrica para amostras de solo de 0-20 cm.....	61
<b>Tabela 6</b> – Análise de fertilidade (macro e micronutrientes) para amostras de solo de 0-20 cm coletadas nos meses de janeiro e outubro de 2017 na área testemunha e no SAF	64
<b>Tabela 7</b> – Valores de F das ANOVAs on Ranks para os efeitos dos manejos e das áreas de amostragem para os parâmetros de solo avaliados. ....	72
<b>Tabela 8</b> – Média dos DAPs do abacate nas quatro medições (jan, abr, jul e out/2017).....	75
<b>Tabela 9</b> – Valores médios de BA, EC (kg pl.-1) acumulados durante o período da pesquisa..	81
<b>Tabela 10</b> – Composição granulométrica (%) para amostras de solo de 0-20 cm.....	83

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>ATP</b>	Trifosfato de adenosina
<b>BA</b>	Biomassa de árvores vivas
<b>BTAV</b>	Biomassa de todas as árvores medidas e registrada
<b>CAP</b>	Circunferência do tronco a altura do peito
<b>CE</b>	Comércio de Emissões
<b>COP</b>	Conferência das Partes
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>CS</b>	Carbono sequestrado
<b>CTC</b>	Capacidade de troca de cátions
<b>DAP</b>	Diâmetro do tronco a altura do peito
<b>DF</b>	Distrito Federal
<b>EC</b>	Estoque de carbono
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FAO</b>	Organização das Nações Unidas para agricultura e alimentação
<b>GEE</b>	Gases de efeito estufa
<b>IC</b>	Implementação Conjunta
<b>ICRAF</b>	Centro Internacional de Pesquisa em Agrossilvicultura
<b>INDC</b>	Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
<b>MAPA</b>	Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento
<b>MBRE</b>	Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
<b>MDL</b>	Mecanismo de desenvolvimento limpo
<b>MO</b>	Materia orgânica
<b>NDC</b>	Contribuições Nacionalmente Determinadas
<b>OMM</b>	Organização Mundial de Meteorologia
<b>ONGS</b>	Organização não governamental
<b>PNAPO</b>	Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica
<b>PNMC</b>	Política Nacional de mudanças climáticas
<b>PNUMA</b>	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

<b>PPM</b>	Parte por milhão
<b>PH</b>	Potencial hidrogenionico
<b>SAF</b>	Sistema agroflorestal
<b>UNFCCC</b>	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercado
<b>V%</b>	Saturação de bases

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS</b> .....	xii
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>Relevância da pesquisa</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	6
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	6
1.1 Mudanças Climáticas e o Dióxido de Carbono .....	6
1.2 Sistemas Agroflorestais (SAFs).....	12
1.3 Tecnologia da Rochagem: os remineralizadores de solos .....	21
1.4 Estimativas de biomassa florestal .....	26
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	29
<b>DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS ESTUDADOS</b> .....	29
<b>2.1 Aspectos Gerais</b> .....	29
<b>2.2 Manejo agroflorestal</b> .....	30
2.2.1 Sitio Pinheiro - SAF 1 .....	33
2.2.2 Sitio Raiz - SAF 2 .....	38
2.2.3 Sitio Semente - SAF 3 /5.....	42
2.2.4 Fazenda Elo Florestal Inkora - SAF 4.....	47
<b>2.3 Dados climáticos para o período do estudo</b> .....	52
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	54
<b>METODOLOGIA</b> .....	54
<b>3.1 Caracterização das áreas de Estudo</b> .....	54

<b>3.2 Procedimentos Metodológicos</b> .....	55
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	60
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	60
<b>4.1 Solo (atributos físico-químicos)</b> .....	60
4.1.1 Atributos químicos do solo .....	61
<b>4.2.1 As plantas (estrato arbóreo)</b> .....	76
4.2.2 Análise do crescimento das plantas.....	77
4.2.3 Carbono Sequestrado (CS).....	80
<b>4.3 As espécies (enquanto elementos do sistema)</b> .....	82
<b>4.4 Análise adicional do sitio Semente</b> .....	82
4.4.2 Solo.....	82
4.4.3 Crescimento das plantas .....	86
<b>CONCLUSÃO</b> .....	89
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	93

## INTRODUÇÃO

### Relevância da pesquisa

Nas últimas décadas, a luta pela sobrevivência das populações que vivem em nações pobres ou em desenvolvimento, aliada à busca de dominação dos recursos naturais pelos países economicamente mais ricos, tem provocado uma enorme pressão sobre o meio ambiente. O Brasil, com uma economia ascendente nas duas últimas décadas, tem utilizado de forma intensiva seus recursos naturais, em especial o solo e as florestas, que acabam sendo sacrificados para garantir um modelo de produção baseada em *commodities* agropecuários.

Nesse aspecto, o Cerrado brasileiro tem sido alvo de intensas ações e modificações de sua fitofisionomia em função da demanda por terras planas ou suavemente onduladas e pelas suas dimensões para a instalação do pacote tecnológico agroquímico. Ocorre que esse bioma, localizado essencialmente no Centro-Oeste brasileiro, é considerado vital para a manutenção do equilíbrio ambiental do País e, em última instância, do planeta. Existe um consenso de que a região ocupada pela savana brasileira se constituiu em um rico patrimônio do Brasil, tanto do ponto de vista ecológico, como econômico. De acordo com Paiva (2011), nas últimas décadas, a substituição de extensas áreas da cobertura original por outros usos, envolvendo desmatamento e queimadas, vem ocorrendo num ritmo acelerado e, certamente, todo este processo de substituição da vegetação tem contribuído para o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

A falta de estudos relacionados à quantificação da biomassa total no Cerrado compromete o entendimento do processo de conversão e imobilização de gás carbônico atmosférico (CO<sub>2</sub>). O entendimento desse processo poderá fornecer indicadores importantes para atender as premissas relativas aos acordos sobre as mudanças do clima e emissão de gases de efeito estufa ratificados pelo Protocolo de Quioto (1997) e no recente Acordo de Paris, os quais limitam a emissão de gases causadores do efeito estufa pelas condições de desenvolvimento de cada País.

Considerando tais pressupostos, a presente pesquisa pretende contribuir no sentido de oferecer alternativas para reduzir a emissão de CO<sub>2</sub>, em especial quando derivadas do uso inadequado do território pelo setor agrícola. Para tanto, sugere-se a utilização e condução de práticas que promovam a melhoria dos espaços já desmatados com técnicas que garantam o retorno econômico. O investimento em pesquisas para o uso alternativo do solo e, conseqüentemente, o incentivo aos programas de agroecologia, poderá ter repercussão

favorável na redução na taxa de degradação do ecossistema cerrado e no auxílio aos agricultores na busca da sustentabilidade produtiva e da desvinculação com o setor agroquímico.

Nesse sentido, a agroecologia surgiu como uma alternativa ao modelo convencional de produção e atende a tal pretensão. No entanto, é fundamental que ocorram a execução e o apoio às pesquisas que qualifiquem e quantifiquem as experiências inovadoras. Do mesmo modo, é necessário que se amplie o apoio técnico, científico e estrutural, visando o alargamento da visão do agricultor sobre as possibilidades e as demandas da economia regional. De tal forma que os cultivos se tornem promissores com vistas ao desenvolvimento sustentável. Dentre as práticas (ou formas de manejo) dos agroecossistemas, os Sistemas Agroflorestais - SAFs despontam como iniciativas promissoras, uma vez que permitem o uso de diversas espécies cultivadas de forma simultânea, otimizando a utilização das terras, potencializando os rendimentos e recuperando áreas antropizadas, com custos menores. Esse Sistema permite, ainda, benefícios ambientais, dentre eles, o melhoramento dos solos e aumento da biodiversidade local (GUTMANIS, 2004).

King e Chandler (1978) conceituaram os SAF's como sistemas sustentáveis de uso da terra que combinam a produção de cultivos agrícolas com árvores frutíferas ou florestais e/ou animais, utilizando a mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo compatíveis com as práticas culturais. Essa conceituação torna-se bastante oportuna porque caracteriza os SAF's como arranjos produtivos ligados à sustentabilidade, à adotabilidade e, também, à classificação temporal dos sistemas agroflorestais. Hoje os SAFs estão se expandindo rapidamente no bioma Cerrado e chamam a atenção não somente dos agricultores e técnicos extensionistas, mas, também, de gestores de políticas públicas. Devido ao reconhecimento cada vez maior desses Sistemas, na última década começaram a ser propostas várias políticas públicas específicas para este tema.

Para além destas vantagens, as agroflorestas, quando implantadas em meio a pequenos agricultores, potencializa a fixação do homem ao campo, devido, principalmente, ao aumento da demanda de mão de obra e à melhoria das condições de vida, promovida pela diversidade de produção. Adicionalmente, os SAF's contribuem para a proteção contra erosão e degradação dos solos, conservação dos remanescentes florestais, conservação das espécies arbóreas de valor ecológico, conservação de nascentes e cursos d'água, substituição das matas ciliares, mantendo a função de proteção e atuação de corredores ecológicos interligando fragmentos florestais.

Atualmente, espera-se encontrar sistemas de produção eficazes no sequestro e

armazenamento de carbono na biomassa vegetal e no solo, em especial, em sistemas cujos principais componentes florísticos são arbóreos, devido ao seu rápido crescimento e à elevada produtividade (NAIR; KUMAR; NAIR, 2009). Essa demanda tem se intensificado a partir dos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), onde se destaca que atividades agrícolas, aliadas ao manejo florestal, podem reduzir de forma considerável as emissões de CO<sub>2</sub> e aumentar a sua remoção da atmosfera, com baixos custos.

Ao nível da economia, estudo coordenado por May (2008) indicou que a produção agroflorestal não tem sido bem equacionada nos debates. A falta de entendimento é baseada na crença de que a renda gerada por SAFs é menor do que aquela gerada por um sistema produtivo não agroflorestal, considerando a mesma unidade de área. Porém, o uso somente do indicador renda bruta pode não ser o mais apropriado para se mensurar os benefícios auferidos por um agroecossistema. Trabalhos recentes têm apontado custos menores na manutenção da produtividade de SAFs, a ordem de 10% da renda bruta (SANTOS, 2002). Em comparação, sistemas de produção convencionais têm renda líquida menor por incorrerem em custos muito mais significativos de insumos e operações mecanizadas. Os SAFs dependem muito mais dos conhecimentos e de manejo habilidoso do que da disponibilidade de insumos e equipamentos.

Nesse sentido, o solo é um dos parâmetros mais importantes na avaliação da eficácia dos sistemas de produção, uma vez que possui características definidoras do desenvolvimento das plantas, que necessitam dele para se fixar e retirar a água e os nutrientes minerais necessários a sua sobrevivência. A composição e compactação do solo determinam sua textura, a qual interfere nas relações entre o ar, a água, os nutrientes e a temperatura, fatores que influenciam na germinação e no desenvolvimento dos indivíduos. O pH e a Capacidade de Toca Catiônica (CTC) do solo também são fatores importante e relacionam-se com a oferta de nutrientes e de matéria orgânica.

Para ampliar a disponibilidade de nutrientes (sem o uso de insumos convencionais) tem sido sugerido a adoção da tecnologia da Rochagem, que prevê o uso de remineralizadores (pós de rocha) como forma de ampliar os níveis de fertilidade dos solos. Leonardos et al, (1976), sugeriram que a adição de determinados tipos de rochas ricas em macro e micronutrientes ao solo amplia a oferta de nutrientes. Theodoro (2000) sugere que o uso de tais materiais possibilita o rejuvenescimento dos solos pobres ou lixiviados e fundamentando-se na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos minerais e na produtividade sustentável. Importa destacar que este insumo pode estar disponível local/regionalmente, é mais barato que os insumos convencionais (na grande maioria

importados) e resulta em produções mais sustentáveis e ambientalmente mais seguras (THEODORO E LEONARDOS, 2013b).

A região do Distrito Federal possui requisitos significativos para a disseminação e adoção de sistemas agroflorestais e para a ampliação do uso de remineralizadores de solos, entre os quais se pode citar: a grande quantidade de áreas degradadas pela agricultura e pecuária; a alta densidade de pequenas propriedades; a deficiência nas práticas de conservação de solo e oferta de diferentes tipos de rochas que se prestam a este uso.

Considerando tais potencialidades e demandas, a presente pesquisa tem como objetivo principal avaliar a dinâmica dos atributos químicos do solo, bem como analisar em que medida o manejo de Sistemas Agroflorestais associado à prática da rochagem contribui para ampliação de tais atributos e, no extremo, ainda permite uma maior imobilização de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para tanto, serão analisados quatro Sistemas Agroflorestais (SAFs) instalados no Distrito Federal, implantados há cerca de três anos.

Para além disso, a pesquisa teve os seguintes objetivos específicos: (i) comparar os dados físico-químicos do solo nos quatro SAFs considerando o uso ou a ausência dos remineralizadores; (ii) estimar a retenção de CO<sub>2</sub> em três espécies chaves de cada SAF; (iii) avaliar a biomassa acima do solo dos quatro Sistemas Agroflorestais; (iv) sugerir algumas espécies potenciais para a composição de arranjos que favoreçam a captura de CO<sub>2</sub>, e (v) definir o manejo mais adequado dentre os quatro sistemas estudados com relação aos parâmetros avaliados.

Esses objetivos basearam-se na hipótese de que os Sistemas Agroflorestais que utilizam remineralizadores de solos na sua implantação possibilitam a ampliação dos níveis de fertilidade dos solos e no aumento da biomassa acima do solo, contribuindo decisivamente para o desenvolvimento florestal, que em última instância, permite maior eficiência na fixação de CO<sub>2</sub>.

Visando o atendimento de tais objetivos, na presente dissertação serão utilizados dados primários (estudo de caso de quatro Sistemas Agroflorestais implantados em diferentes regiões do Distrito Federal), bem como dados secundários. O estudo está estruturado em quatro capítulos assim distribuídos: (i) o capítulo 1: apresenta o referencial teórico que embasou, em grande parte, a condução da pesquisa, abordando as questões relacionadas às mudanças climáticas, à captura de CO<sub>2</sub> a partir do uso de diferentes formas de vegetação e, em especial, os SAFs, bem como aborda em que medida o uso da tecnologia da Rochagem poderá contribuir com a ampliação de resultados produtivos ou de alteração dos padrões físicos dos solos; (ii) o segundo capítulo exibe uma caracterização das áreas pesquisadas, indicando a sua localização,

as formas de manejo, as características do solo e as espécies florestais consideradas em cada Sistema; (iii) o capítulo 3 apresenta a metodologia da pesquisa, em suas diversas frentes de análise, de forma que se possa entender de modo mais amplo os resultados obtidos e (iv) o quarto capítulo trata dos resultados obtidos ao longo das pesquisas de campo, sempre correlacionando com as referências bibliográficas. Também são abordadas e discutidas as diferenças e semelhanças desses resultados, os quais embasaram as principais conclusões do trabalho. Por fim, são apresentadas as considerações finais que sintetizam as principais conclusões da pesquisa. As Referências Bibliográficas estão dispostas ao final.

# CAPÍTULO 1

## REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 Mudanças Climáticas e o Dióxido de Carbono

As mudanças climáticas são um dos problemas atuais mais cruciais a serem enfrentados devido ao seu potencial de causar impactos de dimensões globais e em diferentes contextos e escalas (climática, ecológica e socioeconômica). Muitos cientistas defendem que há evidências de que está em curso um processo de alteração do clima, no nível global. Baseiam suas convicções e pesquisas no fato de que vem ocorrendo um aumento na concentração de gases de efeito estufa (GEE), tais como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), além do próprio vapor d'água (H<sub>2</sub>O). Tais evidências têm se apresentado de forma cada vez mais consistente, o que resulta em maior consenso em meio à comunidade científica internacional (IPCC 2007).

Embora as mudanças climáticas sejam processos naturais numa escala de tempo geológico, a velocidade e a intensidade foram vigorosamente modificadas a partir da Revolução Industrial no século XVIII, com uma mudança maciça nos modos de produção e consumo de energia. O resultado disso foi o aumento das emissões de GEE para a atmosfera, em especial o dióxido de carbono (PAIVA, 2011).

Segundo a Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura (FAO), a produção mundial de alimentos deverá atingir quatro bilhões de toneladas em 2025, com uma produtividade média de 4,5 t.ha<sup>-1</sup>, quando a população mundial deverá atingir a marca de 8,3 bilhões de habitantes. Ao considerar o impacto do setor agrícola sobre o clima, conforme dados do ano de 2016, da FAO, nos últimos 50 anos, a área de produção cresceu de 561 milhões para 741 milhões de hectares (FAO 2016). Esse aumento resultou em uma ampliação considerável da degradação do solo, das águas e da biodiversidade, além da aceleração do desmatamento, que potencializa um desequilíbrio nos ciclos biogeoquímicos. A lógica de produção intensiva, baseada nos princípios da Revolução Verde e da lógica de mercado, converteu-se em uma ameaça, não apenas na qualidade e na disponibilidade dos recursos naturais, mas, também, nos meios de subsistência.

Esse ciclo controverso, que pode estar provocando as mudanças climáticas, ameaça a própria continuidade do modelo de produção agrícola, seja pela elevação da temperatura, ou pelas alterações no regime das chuvas e dos eventos climáticos extremos, que passaram a

ocorrer com maior frequência, tais como as secas e as inundações. Um efeito colateral dessa sinergia devastadora refere-se aos efeitos sobre pragas e doenças em ecossistemas frágeis, o que fatalmente influenciará outros aspectos do sistema produtivo agrícola.

A vulnerabilidade torna-se mais grave quando se trata dos impactos sobre os recursos ambientais que sustentam a agricultura de países em desenvolvimento, os quais são economicamente dependentes do sucesso da produtividade do setor agrícola (TILMAN, 2002).

Para além desse risco eminente à população planetária (ou ao seu modelo de vida), essa possível fragilidade favoreceu o consenso da necessidade de uma agenda mundial sobre mudança climática. Para atender e ampliar os estudos sobre este tema, foi criado, em 1988, pela Organização Mundial de Meteorologia – OMM, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA ligado às Nações Unidas: Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), cujo seu comitê científico é responsável por produzir periodicamente informações científicas relativas a este tema. O primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, divulgado em 1990, assumiu que a concentração de Gases Efeito Estufa (GEE) está aumentando na atmosfera em consequência das emissões causadas pela ação do homem.

As decisões do IPCC são obtidas durante a Conferência das Partes (COP), que é o órgão supremo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e que reúne os países em conferências mundiais. Suas decisões, coletivas e consensuais, só podem ser tomadas se forem aceitas unanimemente pelas partes, sendo soberanas e valendo para todos os países signatários. Um exemplo dessa ação ocorreu em 1997, quando foi aprovado o Protocolo de Kyoto, que estabeleceu um cronograma de limitações quantitativas para redução e limitação da emissão de GEE.

O Protocolo determinou que países desenvolvidos devessem reduzir pelo menos 5,2% de suas emissões de GEE em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012 (primeiro período de compromissos). Cada país signatário tinha a liberdade de definir suas metas individuais de redução. Países em desenvolvimento, como o Brasil, não tiveram obrigatoriedade de reduzir suas emissões de GEE.

Três mecanismos auxiliam os países desenvolvidos a atingirem as metas de redução previstas no Protocolo: Implementação Conjunta (IC), Comércio de Emissões (CE) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Desses três mecanismos, apenas o MDL tem aplicabilidade em países em desenvolvimento, uma vez que ele é um dos mecanismos de flexibilização para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa ou de

captura (ou sequestro) de carbono por parte dos países desenvolvidos.

Seguindo o alinhamento mundial, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), instituída pela Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 e regulamentada pelo Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, estabeleceu os princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos legais relativos a este tema. Segundo o art. 4º, essa Lei visa: (i) a compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático; (ii) a redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes; (iii) o fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa; (iv) a preservação, a conservação e a recuperação dos recursos ambientais; (v) a consolidação e a expansão das áreas legalmente protegidas e o incentivo aos reflorestamentos e a recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas; e (vi) o estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE (BRASIL 2009).

Segundo Theodoro (2011) o processo de discussão da elaboração da legislação relativa às mudanças climáticas ocorreu, no âmbito do Legislativo brasileiro, de forma inicialmente amena, uma vez que não havia grande interesse dos setores produtivos nessa questão, já que existia um entendimento de que a situação deveria ser resolvida de forma setorializada. Porém, quando grupos de pressão ligados às organizações não governamentais ambientalistas começaram a pressionar pelo estabelecimento de metas, o setor produtivo aderiu às discussões de forma a garantir, no mínimo, que alguns instrumentos e ações desenvolvidas no âmbito da sua cadeia de produção, tais como o apoio a projetos de MDLs e Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs), pudessem fazer parte de opções e de ações que o setor produtivo teria que implementar, como forma de facilitar o alcance de metas quantificáveis.

A Lei foi sancionada e apresentada como uma conquista brasileira na Conferência das Partes, em Copenhague, no ano de 2009. Importa destacar que, além dessa Lei, foi criado o Fundo Nacional de Mudanças Climáticas (Lei nº 12.114, de 09 de dezembro de 2009), que previu os recursos para executar a PNMC.

Após outros encontros do IPCC, em que foram sendo estabelecidos novos entendimentos entre os países signatários, em 2015, na 21ª Conferência das Partes, em Paris, foi definido um novo acordo com o objetivo de definir uma resposta global à ameaça da mudança do clima. Igualmente importante foi o entendimento mútuo que reforçou o papel dos países individualmente e de suas capacidades para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. A meta central do acordo foi o estabelecimento de um patamar para o aquecimento da temperatura média da Terra a menos de 2°C acima dos níveis de temperatura anteriores à

Revolução Industrial. Isso seria feito pelo incentivo ao uso de energias renováveis e pela redução da emissão de gases do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global.

Para o alcance do objetivo acordado, os governos se envolveram na construção dos próprios compromissos, a partir das chamadas Contribuições Pretendidas Nacionalmente Determinadas (iNDC, na sigla em inglês). Por meio das iNDCs, cada nação apresentou sua contribuição de redução de emissões dos gases de efeito estufa. Após a aprovação pelo Congresso Nacional, o Brasil concluiu, em 12 de setembro de 2016, o processo de ratificação do Acordo de Paris. No dia 21 de setembro, o instrumento foi entregue às Nações Unidas. Com isso, as metas brasileiras deixaram de ser pretendidas e tornaram-se compromissos oficiais, nomeadas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC).

Conforme Roriz (2010), o principal poluente atmosférico é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Ele circula entre quatro principais portadores de estoques de carbono: a atmosfera, o oceano, os depósitos de combustível fóssil e biomassa/solo, sendo que a atmosfera é o menor e o mais dinâmico dos reservatórios. Devido à estrutura de geometria linear e quantidade armazenada na atmosfera, o CO<sub>2</sub> apresenta o de aquecimento que mais retém calor no planeta. Chang (2004) observa que do total de 6,3 Gt C emitidos, no balanço global de carbono na atmosfera de planeta, 3,3 Gt C permanecem na atmosfera. Os outros 3.0 Gt C são reabsorvidos pelos oceanos e pela biota terrestre, aproximadamente em partes iguais.

Já de acordo com Theodoro (2009), apesar da mobilização mundial sobre o tema, poucas medidas concretas têm sido tomadas pelos diferentes países, uma vez que qualquer proposta de mudança, no sentido de redução das emissões causadoras do efeito estufa, fatalmente provocará alterações nos processos e nos negócios das grandes corporações, trazendo repercussões econômicas e acirrando os conflitos entre os diferentes interesses que permeiam a questão ambiental. Recentemente, como exemplo dessa disputa, o presidente dos Estados Unidos da América, EUA, Donald Trump, anunciou a retirada de seu país do Acordo de Paris. A decisão daquele País - o segundo maior poluidor do mundo - deve prejudicar de forma intensa o combate às mudanças climáticas (CARTA CAPITAL 2017).

Do ponto de vista das mudanças climáticas e do setor agrícola, qualquer atividade relacionada ao uso do solo que modifique a quantidade de biomassa na vegetação e no solo tem o potencial de alterar a quantidade de carbono armazenada e emitida para a atmosfera, o que influencia diretamente a dinâmica do clima da terra. Portanto, todas as mudanças que ocorrem nestes reservatórios têm uma estreita relação com as mudanças do ciclo global de carbono e do clima. (RÜGNITZ et al. 2009).

O Brasil tem utilizado de forma intensiva seus recursos naturais, em especial as

florestas que têm sido sacrificadas para garantir a expansão agrícola. Nesse aspecto, o Cerrado brasileiro é alvo de intensas ações e modificações de sua ecologia. De modo geral, os recordes das safras obtidos a cada ano no Brasil têm como efeitos colaterais a necessidade de maior carga de insumos - os quais, em sua grande maioria, são importados (cerca de 70%), e o aumento dos processos erosivos, já que as técnicas de manejo e conservação dos solos não são frequentemente observadas (THEODORO, 2013).

A esse respeito, de acordo com Castro (1996), a substituição de extensas áreas da cobertura original por outros usos, envolvendo desmatamento e queimadas, vem ocorrendo num ritmo acelerado e, certamente, todo este processo de substituição da vegetação e o uso dos pacotes tecnológicos da indústria agroquímica têm contribuído para o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Segundo Tilman (2002), a agricultura resultante dessas práticas incorre em custos relacionados à degradação ambiental, perda de biodiversidade, perda de serviços ecossistêmicos, emergência de patógenos e a instabilidade (no longo prazo) da produção agrícola. Ele ressalta que os impactos ambientais causados por práticas agrícolas inadequadas produzem custos que normalmente não são medidos e muitas vezes não influenciam o agricultor ou a sociedade nas escolhas sobre métodos de produção. Porém, tais questões acabam resultando em discussões sobre a sustentabilidade deste modelo, intensivo no uso dos recursos ambientais.

Desde o Protocolo de Kyoto reconhecia-se o papel de arborização, do reflorestamento e da regeneração natural de florestas como potencializadores do aumento da capacidade de armazenamento de C nos ecossistemas. As discussões foram orientadas para uma agenda de mitigação do aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico por meio do sequestro e da remoção do carbono da atmosfera e seu consequente armazenamento em reservatórios de longa duração (UNFCCC 2007).

A mitigação do efeito estufa, por meio de mecanismos de sequestro de carbono, como forma de compensação de um dano já causado, tem um papel de intervenção remediadora e paliativa. Ainda que muitas ações estejam sendo levadas adiante por conta da legislação, uma política ambiental preventiva requer que os recursos naturais sejam protegidos e utilizados com cuidado e parcimônia. Ela deve induzir à substituição de tecnologias agressivas ao meio ambiente por práticas que aliem a convivência com os recursos disponíveis. As medidas de mitigação devem considerar a prevenção e a redução das emissões mediante a utilização de fontes energéticas que não contribuam para o aquecimento global, introduzindo, ainda, mudanças técnicas nos processos de produção e nos padrões de consumo (CHANG, 2004).

A fotossíntese é uma das formas naturais de sequestrar CO<sub>2</sub> pela vegetação, cujo processo permite fixar o carbono em forma de matéria lenhosa nas plantas. De acordo com Chang (2004), quanto maior é o porte das plantas, mais biomassa se acumula e, conseqüentemente, mais carbono é fixado. As florestas são, portanto, a forma mais eficiente de facilitar o acúmulo de estoque do ciclo do carbono, em forma de madeira e no solo por centenas de anos antes de retornar à atmosfera através da respiração, decomposição, erosão ou queima.

Conforme colocado por Miccolis, et al (2016), apesar de fundamental para mitigação de mudanças climáticas, o mecanismo de sequestro de carbono não deve ser considerado como fator preponderante na tomada de decisão sobre os sistemas mais adequados para cumprir outras funções ecológicas essenciais. Por exemplo, monoculturas de eucalipto sequestram grandes quantidades de carbono, porém não necessariamente contribuem para a manutenção e aumento da biodiversidade, além de potencialmente favorecer novos desmatamentos, seja pela necessidade de expansão da área plantada, seja pela demanda.

Steenbock, et al (2013) adverte que o crescimento vegetal dá-se a partir da fotossíntese, que se constitui em um mecanismo gerado pela evolução natural, o qual permitiu que os organismos pudessem passar a produzir alimento e estrutura a partir de luz solar, água e gás carbônico, retirados da atmosfera e que o convertem em açúcar (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), devolvendo o oxigênio (O<sub>2</sub>) e fixam o carbono na biomassa da vegetação, conforme a seguinte equação:



Ainda de acordo com esse autor, juntamente com o fluxo de energia está o fluxo de matéria (composto pelo carbono e outros nutrientes), que, por meio da fotossíntese, os incorpora à matéria vegetal. E quando estes compostos são utilizados pela cadeia alimentar, eles passam para o sistema. À medida que ocorre a decomposição do material orgânico nos diferentes níveis de crescimento da vegetação, parte do carbono é transformada pela microbiota em CO<sub>2</sub>, que volta para a atmosfera, que posteriormente o absorverá por outras plantas por meio da fotossíntese, criando um ciclo virtuoso e equilibrado no sistema atmosfera-pedósfera. Além disso, os nutrientes, quando liberados no processo de decomposição, ficam disponíveis para uso dos organismos do solo ou de uma nova planta que se encontre em fase de absorção de nutrientes (STEENBOCK, et al. 2013 B).

De acordo com Chang (2004), quanto maior é o porte das plantas, mais biomassa se

acumula e, conseqüentemente, mais carbono é fixado. Entre todo o reino vegetal, as florestas proporcionam o mais longo estoque do ciclo do carbono, em forma de madeira e acumulação no solo por centenas de anos antes de retornar à atmosfera.

Buscando imitar este sistema virtuoso, atualmente, tem se buscado desenvolver sistemas de produção agrícola que possam ser mitigadores dos impactos ambientais (associados às mudanças climáticas) que possuam alto potencial de sequestro e estoque de carbono. Trata-se dos Sistemas Agroflorestais (SAF) que tem se apresentado como um grande potencial para viabilizar estratégias que resultem em um desenvolvimento mais sustentável, e que facilitem a conservação dos recursos naturais, em especial o solo e a água. Para além disso, os SAFs facilitam a diminuição do uso de fertilizantes e defensivos agrícolas e são mais adequados à pequena produção, possibilitando a conservação da biodiversidade e a recuperação de fragmentos florestais e matas ciliares (AMADOR e VIANA, 1998).

Montagnini e Nair (2004) destacam que a busca por sistemas e métodos de baixo custo para sequestrar Carbono está emergindo como um dos principais objetivos da política internacional, no contexto das mudanças globais do clima, uma vez que as atividades agrícolas de mitigação relacionadas às florestas podem reduzir as emissões e aumentar as remoções de CO<sub>2</sub> com baixos custos. Para fortalecer essa tendência, vem sendo proposta uma reconversão no modelo de produção de forma a viabilizar a manutenção e a autonomia dos agricultores. Trata-se da incorporação de técnicas e práticas menos intensivas no uso dos recursos naturais, baseadas nos princípios agroecológicos que oferecem metodologias que levem a uma maior compreensão das múltiplas interações que ocorrem nos ecossistemas (THEODORO 2009).

## **1.2 Sistemas Agroflorestais (SAFs)**

É possível afirmar que a paixão iluminista de utilizar a ciência e os conhecimentos adquiridos para dominar a natureza está se concretizando nesse início de século. A possibilidade não é só de domínio total, pela previsão, mas de transformação da própria essência da natureza e da vida (SAUER e BALESTRO 2010). Conforme colocado por Gotsch, (1997), o pensamento da civilização moderna ocidental é baseado nos princípios da física newtoniana, onde se tenta explicar, segundo uma forma rudimentar e simples, os processos físicos do movimento, da gravidade e da combustão. Essa teoria permitiu que se elaborasse um desenho lógico do mundo, o qual viabilizou um entendimento de dominação da espécie humana sobre o mundo. Segundo esse autor, o mundo está compulsoriamente

descartando tudo o que não cabe dentro dessa lógica, o que resulta no agravamento crescente dos problemas ecológicos e socioeconômicos.

Para reverter essa tendência (ou entendimento) é necessário repensar o papel dos sistemas de uso da terra para a estabilização dos níveis de CO<sub>2</sub>, bem como nos mecanismos que possibilitam um aumento do potencial de dissipação do gás carbônico (KUMAR et al. 2011). Nessa rota, Caporal (2009) sugere que a partir dos princípios da Agroecologia é possível impulsionar mudanças substanciais no meio rural e na agricultura. Iniciativas dessa natureza poderiam resultar em uma nova base para reorientar ações de ensino, de pesquisa e de assessoria ou assistência técnica rural, segundo uma perspectiva que assegure a sustentabilidade socioambiental e econômica para os diferentes agroecossistemas. Essa possibilidade, segundo o autor, agregaria, ainda, uma contribuição para a vida das atuais e das futuras gerações.

De acordo com Altieri (2002) a agroecologia fornece as bases científicas, metodológicas e técnicas para a expansão de um novo modelo de produção que agregue as preocupações ambientais e a produção segundo pressupostos mais sustentáveis. Os sistemas de produção fundados nestes princípios são, de modo geral, biodiversos, resilientes e eficientes do ponto de vista energético. Além disso, são vinculados aos pressupostos da soberania alimentar e justiça social. Conforme Theodoro (2009), o desafio de unir processos ecológicos com estruturas sociais e econômicas no desenvolvimento da agricultura sustentável faz com que a agroecologia seja essencialmente uma ciência interdisciplinar. Nesse sentido, a agroecologia apresenta uma série de princípios, conceitos e metodologias que permitem estudar, analisar, dirigir e avaliar os agroecossistemas.

Considerando essa perspectiva, o Brasil aperfeiçoou o seu arcabouço jurídico, por meio do Decreto Presidencial nº 7.794, de 20 de agosto de 2012, que institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO). Essa Norma legal teve o objetivo de integrar, articular e adequar políticas, programas e ações indutoras da transição agroecológica e da produção orgânica, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida da população, por meio do uso sustentável dos recursos naturais e da oferta e consumo de alimentos saudáveis (BRASIL 2012).

Com vistas à obtenção de um desenvolvimento mais sustentável, e também as metas estabelecidas pela PNMC, a PNAPO teve a intenção de viabilizar a implementação de sistemas de produção eficazes para o sequestro e o armazenamento de carbono na biomassa e no solo, em especial, nos sistemas cujos principais componentes florísticos são arbóreos (BOLFE 2011). Dentro desse cenário, o manejo de Sistemas Agroflorestais (SAF) de alta

diversidade já é considerado uma alternativa de uso mais adequado do solo, com mecanismos para alavancar níveis de produtividade interessantes, além da capacidade de fixar o CO<sub>2</sub>. Segundo Peneireiro (1999), as Agroflorestas podem ser uma opção interessante para a busca da sustentabilidade na agricultura nas áreas tropicais, uma vez que apresenta elementos que propiciam aliar a produção à conservação dos recursos naturais.

King e Chandler (1978) conceituaram os SAF's (ou Agroflorestas) como sistemas sustentáveis de uso da terra que combinam a produção de cultivos agrícolas com plantações de árvores frutíferas ou florestais e/ou animais, utilizando a mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo que são compatíveis com as práticas culturais da população local. Nair (1993) acrescenta que esta definição implica que os SAFs envolvam duas ou mais espécies de plantas (ou plantas e animais), onde pelo menos uma delas é lenhosa. Lembra, ainda, que eles possuem sempre dois ou mais produtos e, que mesmo em arranjos mais simples, são sempre mais complexos, ecológica (na sua estrutura e função) e economicamente, do que os sistemas de monocultivos. Uma das definições de Sistema Agroflorestal mais aceita atualmente é a proposta e adotada pelo *International Centre for Research in Agroforestry* (ICRAF) e abrange de modo amplo as mais diferentes e possíveis combinações (Nair, 1984):

“Sistema agroflorestal é o nome coletivo para sistemas de uso da terra e tecnologias em que plantas lenhosas perenes (árvores, arbustos, palmeiras, bambus etc.) são deliberadamente usadas na mesma unidade de manejo de culturas agrícolas e/ou animais, ambas na forma de arranjos especiais ou sequências temporais. Nos sistemas agroflorestais existem ambas as interações ecológicas e econômicas entre os diferentes componentes” (Nair, 1984).

Sistema Agroflorestal envolve princípios de uso da terra com o objetivo de otimizar tanto a produção agrícola quanto a florestal por meio da garantia de rendimento sustentado, baseado nas seguintes práticas agroflorestais: presença de árvores; interação positiva entre os componentes (florestais, frutíferas, culturas anuais, animais etc.); consideração dos processos de sucessão ecológica; eficiência na ciclagem de nutrientes e no uso dos recursos naturais; presença de espécies fixadoras de nitrogênio, cobertura de solo e da biodiversidade (ALVES et al, 2015).

Conforme Miller (2009), os sistemas biodiversos e sucessionais incorporam processos dos ecossistemas florestais. A linha dos SAFs Florestais “Agroecológica” caracteriza-se pela iniciativa de muitos técnicos jovens e de ONGs, trabalhando a partir da formação e

capacitação dos produtores, os quais são reconhecidos como observadores e experimentadores, cujos conhecimentos são explorados para definir o Sistema mais adequado. Um dos expoentes dessa abordagem é Ernst Gotsch, que desenvolveu sistemas complexos que combinam simultaneamente várias técnicas adaptadas da agricultura indígena ou tradicional, como o plantio vertical da rama de mandioca, consorciado com feijão, como também a semeadura a lanço de uma quantidade grande de sementes de árvores.

Na concepção de SAFs biodiversos e sucessionais, o conhecimento empírico da biologia das espécies e da dinâmica da sucessão natural é uma condição fundamental para o agricultor desenvolver a habilidade de manejo destes SAFs. Deve-se, ainda, considerar a existência de dinamização positiva por parte dos seres vivos e entre plantas. As plantas desempenham funções nos ecossistemas naturais, além de ocuparem diferentes nichos e estratos nos consórcios em sucessão. De outro lado, argumenta o autor, nos sistemas que utilizam monocultivos dificilmente pode ocorrer a ciclagem de nutrientes que potencializa a fertilização, sendo que o uso de insumos é a única forma de manter a produtividade (GÖTSCH 1997).

Nessa linha de pensamento, Arevalo et. al. (2002) sugere que o uso de práticas de manejo florestal e agroflorestal, bem como ações conservacionistas do preparo do solo podem mitigar e reduzir as emissões de carbono, sequestrando-o, capturando-o e mantendo-o, pelo maior tempo possível, na biomassa e no solo. Assim, as áreas de cultivo funcionam como reservatórios e fontes de carbono. Isto é dependente de como e com que propósito são manejados e como são utilizados seus produtos.

Pelegrino (2007) corrobora com este entendimento e enfatiza que as medidas de mitigação das mudanças climáticas devem se pautar pela análise de mudanças nos sistemas produtivos, com substituição, consorciamento e rotação de culturas que promovam a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa. Também se deve buscar métodos que aumentem o acúmulo e manutenção do carbono no sistema produtivo, tais como a manutenção de cobertura vegetal do solo ao longo do ano, aumento da incorporação de matéria orgânica, utilização de adubos minerais de baixo custo, implantação de culturas mais eficientes na fixação do carbono e a adoção de medidas para a redução das queimadas e desmatamentos de ecossistemas naturais.

É possível identificar tendências em relação aos estoques e incrementos anuais de carbono nos SAFs. Os estoques de carbono na fitomassa viva, por exemplo, quando avaliados por classe de idade, tendem a ser crescentes. Esse aumento gradativo dos estoques é consequência do maior crescimento das árvores mais velhas, tanto em diâmetro quanto em

altura, bem como da manutenção de densidades de indivíduos, em função, principalmente, do manejo e da poda. Entretanto, quando os estoques de carbono da fitomassa viva são considerados a partir de seus incrementos anuais, é possível perceber que há uma tendência de relativa homogeneidade entre os sistemas. Steenbock et al. (2013) sugere que a média do incremento anual de carbono na fitomassa viva dos SAFs é de  $3,3 \text{ t.C.ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , sendo possível inferir que a variação desse valor nas agroflorestas indica que as diferenças de manejo, de sítio, de espécies e de densidades, provavelmente, sejam mais determinantes do que a idade da parcela na análise dos estoques de carbono.

Mbow (2016) sustenta que os sistemas agroflorestais agrupam estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e fornecem caminhos para garantir a segurança alimentar. Nesse aspecto, as Agroflorestas devem atrair mais atenção em agendas globais sobre mitigação devido aos seus possíveis impactos positivos, tanto sociais quanto ambientais. Porém, a adição de árvores em sistemas de cultivo e/ou produção animal requer aprendizagem de métodos avançados de cultivo e apoio para garantir a rápida adoção.

Dentre os modelos de sucessão florestal em sistemas agroflorestais, destacam-se os modelos multiestratificados, que incluem práticas de diversidade de espécies e de grande produção de biomassa, onde a composição das espécies busca maximizar a oferta de luz e de nutrientes, tanto na escala horizontal quanto na vertical. Dessa forma, otimiza a utilização das terras e a retenção de carbono atmosférico. Permite, ainda, o melhor aproveitamento da mão-de-obra e da oferta de empregos, bem como diversos benefícios ambientais (melhoramento dos níveis de fertilidade dos solos e aumento da biodiversidade local) (GUTMANIS, 2004). Conforme Mbow (2016), as agroflorestas fornecem serviços ecossistêmicos e reduzem os impactos humanos sobre florestas naturais. Tem benefícios diretos para adaptação local, contribuindo para o esforço global de controle de concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa.

Quanto à classificação, Balbino, et al., (2011) menciona que os SAFs podem ser agrupados quanto aos seus elementos em: (i) Agrossilviculturais (uso de espécies agrícolas anuais e árvores); (ii) Silvopastoris (árvores e criações animais) e (iii) Agrossilvopastoris (espécies agrícolas anuais, árvores e criações animais).

Quanto à estrutura espacial e temporal dos SAFs, pode-se classifica-los em: (i) Consórcios Florestais (plantio de poucas espécies de árvores, geralmente em linhas, em meio a pastos ou a cultivos de espécies agrícolas anuais); (ii) Quintais Agroflorestais ou Quintais Produtivos (árvores, geralmente fruteiras para fornecimento de alimentos, plantadas nas proximidades das residências de maneira mais densa ou mais espaçadas, como nos pomares);

(iii) Cercas Vivas (uso de árvores para delimitar áreas, geralmente linhas adensadas de espécies com densa folhagem ou com espinhos); (iv) Quebra-Ventos (parecido com as cercas vivas, porém com propósito específico de diminuir a força e velocidade do vento); (v), Curvas de Contenção (linhas de árvores plantadas em curvas de nível, com propósito de conter erosão do solo) e (vi) Agrofloresta (plantio mais denso de espécies cultivadas anuais e florestais junto com espécies silvestres, seguindo um padrão que imita a sucessão natural das florestas nativas do lugar (PENEIREIRO et al. 2002).

Os consórcios florestais, segundo Hoffmann, et al (2010) são um conjunto de espécies que apresentam semelhantes tempos de vida na agrofloresta. Os estratos referem-se à altura da planta em relação às espécies do mesmo consórcio. Na mesma agrofloresta, tem-se diversos tipos de consórcios, com espécies que vivem até 4 meses (pioneiras I), até 1 ano (pioneiras II), até 3 anos (secundárias I), até 20 anos (secundárias II), até 50 anos (secundárias III) e até 80 anos (primárias). Em cada consórcio há espécies de porte baixo, médio, alto. Há, ainda, as espécies emergentes, que são aquelas que se destacam por serem as mais altas no consórcio. Miccolis, et al. (2016) acrescenta que cada espécie ocupa um estrato, que é equivalente a um andar na vegetação (altura em relação às outras plantas), o qual está relacionando à necessidade que cada espécie tem de receber luz do sol quando adulta.

Com tantas variáveis, não existe uma receita perfeita para a implementação de um SAF. Cada propriedade é diferente e a implantação desses Sistemas tem de ocorrer gradualmente, tendo como apoio as experiências de outros agricultores. Além de diferentes necessidades de luz, as plantas também têm diferentes exigências com relação à fertilidade do solo e disponibilidade de água e intensidade de manejo. Segundo Miccolis, et al (2016), quando diferentes espécies de distintos estratos são combinadas, otimiza-se a ocupação do espaço e permite-se o melhor aproveitamento dos recursos (água, luz, nutrientes e organismos simbióticos, como fungos e bactérias). Assim, é possível ter mais sucesso no estabelecimento dos SAFs.

Altieri (2002) cita que além das vantagens ecológicas e produtivas, os Sistemas Agroflorestais, superam os monocultivos em termos socioeconômicos: (a) pela eficiência ecológica da produção total por unidade de terra; (b) pelo fato de vários componentes ou produtos do sistema poder ser usados como inputs para a produção de outros e, com isso, a quantidade de inputs comerciais e investimentos podem ser reduzidos; (c) devido à inclusão de cultivares agrícolas, normalmente obtém-se resultados em uma maior produtividade de árvores e menores custos com o manejo florestal; (d) em função dos produtos florestais também poderem ser obtidos por todo o ano, oferecendo empregos permanentes e salários

regulares; (e) porque alguns produtos florestais podem ser obtidos com baixa atividade de manejo, dando a eles a função de reserva para períodos onde houver falhas nos cultivos agrícolas, ou necessidades sociais especiais (construir ou reformar uma casa, p.ex.); (f) devido à produção diversificada pode-se obter uma distribuição dos riscos, uma vez que esses produtos serão afetados de modo diferenciado por condições desfavoráveis; e (g) devido ao fato de que a produção pode ser direcionada para a autossuficiência ou para o mercado e a situação de dependência do mercado local pode ser ajustada de acordo com a demanda dos agricultores.

A capacidade de absorção e fixação de carbono pelas árvores é função da espécie, da taxa de crescimento, da longevidade, do sítio, do clima e do período de rotação, entre outros aspectos. Em geral, fixam mais carbono as florestas secundárias e as plantações jovens. De outro lado, as florestas primárias e as plantações maduras atingem um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono, mas podem, eventualmente, liberar grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, já que muitas espécies de árvores entram em estágio de senescência e em função da decomposição da madeira morta (AREVALO et al, 2002).

De acordo com Lunz e Melo (1998), a presença de um componente arbóreo, a diversidade de espécies e a grande produção de fitomassa favorecem a sustentabilidade do Sistema devido à ciclagem direta de nutrientes entre a vegetação e o solo. Também diminuem a demanda de fertilizantes em função da ciclagem e auto adubação (folhas e trocos que se decompõem), melhorando, assim, as propriedades físicas e biológicas do solo, permitindo, no extremo, a preservação da biodiversidade. Os Sistemas Agroflorestais são favorecidos pelo uso da biomassa (gerada no próprio Sistema) que é aplicada no solo pela prática da poda. Esse mecanismo desencadeia a ciclagem de nutrientes, promovendo o enriquecimento do solo. Primavesi (1999) aponta oito benefícios da matéria orgânica em decomposição:

- a) Fornece substâncias agregantes do solo, tornando-o grumoso, com bioestrutura estável à ação das chuvas;
- b) Libera ácidos orgânicos e alcoóis que servem de fonte de carbono aos microrganismos de vida livre fixadores de nitrogênio;
- c) Possibilita a vida de microrganismos que auxiliam no desenvolvimento vegetal;
- d) Alimenta organismos ativos no processo de decomposição produzindo antibióticos que protegem as plantas de doenças radiculares;
- e) Libera substâncias intermediárias (nutrientes) que podem ser absorvidas pelas plantas;
- f) Aumenta a capacidade de troca de cátions do solo (CTC);
- g) Aumenta o poder tampão (resistência contra modificação brusca do pH) e;

h) Fornece substância como fenóis que contribuem para respiração, maior absorção de fósforo e para uma maior sanidade vegetal.

De acordo com Peneireiro et al. (2002), a cobertura viva e morta do solo desempenha papel fundamental na promoção e manutenção da fertilidade do solo por impedir a lixiviação de nutrientes pelo impacto direto da chuva e aumentar e manter a atividade biológica do solo, além da matéria orgânica representar 90% da capacidade de troca catiônica, o qual configura-se como um mecanismo fundamental da promoção da nutrição adequada das plantas.

A Lei do "Fator Mínimo", de Liebig, menciona que a substância mineral em menor concentração relativa determina o limite para o crescimento e rendimento. No entanto, o rendimento não é limitado somente por uma substância mineral. Para a planta atingir um metabolismo balanceado, boa produção de matéria seca e desenvolvimento, não somente os nutrientes principais e os elementos traços devem estar disponíveis em quantidades suficientes, mas, também, devem ser absorvidos em proporções balanceadas (RONQUIM, 2010).

Para Primavesi (1999), pelo menos quinze elementos químicos (nutrientes) são considerados essenciais para o crescimento das plantas vasculares. O Carbono, o Hidrogênio e o Oxigênio (C, H e O) combinados nas reações de fotossíntese (que integram mais de 90% da matéria seca), além do Nitrogênio, do Fósforo, do Potássio, do Cálcio, do Magnésio e do Enxofre denominados como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S). Nutrientes requeridos em quantidades menores são denominados de micronutrientes e incluem Zinco, Manganês, Ferro, Boro, Cobre, Molibdênio, Cloro e Selênio (Zn, Mn, Fe, B, Cu, Mo, Cl e Se).

Götsch (1997) sugere que o objetivo do Sistema é criar mais vida e mais fertilidade no solo. Isto exclui o uso do fogo para a limpeza do campo, o uso de maquinaria pesada, o uso de agrotóxicos, o uso de qualquer adubo trazido de fora, ou qualquer insumo que não seja resultado direto do metabolismo do próprio subsistema. Com este tipo de manejo disponibiliza-se a biomassa do Sistema, influenciando a produção de matéria orgânica, que por sua vez favorece a dinamização da biota do solo e o desenvolvimento vegetal, principalmente em consórcios mais desenvolvidos, dispensando o uso de fertilizantes. Nesta mesma linha, Hoffmann, et al (2010) defende que a prática agroflorestal potencializa a produção com o decorrer do tempo, porque se podem diminuir os custos da produção, uma vez que são utilizados menos insumos de alto custo (adubos e agrotóxicos).

Portanto, tais Sistemas sinalizam com melhorias que caracterizam uma transição de um modelo de agricultura baseado em monocultivo (caracterizado pela grande dependência externa e pelos altos custos econômicos) para outra forma de praticar a agricultura, com

redução da dependência de insumos importados (em sua grande maioria) e dos custos de produção, maior autonomia e melhorias socioeconômicas. Iwata, et al (2012), que estudou os efeitos dos sistemas agroflorestais e os atributos químicos em um Argissolo Vermelho-Amarelo, do Cerrado piauiense, concluiu que o aporte de material orgânico e a grande biodiversidade dos Sistemas Agroflorestais aumentaram os teores de carbono e nitrogênio, garantindo maior permanência deste material e maiores efeitos benéficos promovidos pela matéria orgânica do solo. Houve a melhoria dos indicadores químicos do solo calcada no aumento do pH, redução da saturação por alumínio, aumento dos teores de nutrientes e maior estabilidade da qualidade química do solo sob efeito da sazonalidade.

A pesquisa de Silva, et al (2011) avaliou as alterações dos atributos químicos do solo em áreas com sistemas agroflorestais e floresta nativa na comunidade Riacho das Ostras, Prado, no sul do Estado da Bahia, em um Argissolo Amarelo. Com base nos resultados dos indicadores químicos, inferiu que a elevação da fertilidade do solo nos sistemas agroflorestais em relação ao sistema nativo foi semelhante. Porém, advertiu que a exportação de nutrientes por meio da retirada dos frutos, grãos e madeira para comercialização, contribui para a exaustão das reservas naturais de nutrientes do solo.

Diante desse quadro, existe a necessidade premente de implantação de práticas corretivas e de adubação objetivando suprir o sistema em níveis adequados de nutrientes, seja de forma orgânica ou mineral. Segundo Steenbock et al. (2013), para que o fluxo de energia e matéria nos sistemas agroflorestais ocorra em magnitude e velocidade adequadas, é preciso promover e estimular a diversidade do cultivo de plantas. A maior riqueza vegetal promovida pelas Agroflorestas proporciona a diversificação dos organismos vivos presentes e dos sistemas radiculares, que variam amplamente em arquitetura, magnitude, fisiologia, compostos exsudatos e associações com organismos. Nesse sentido, atuam de forma diferenciada nos processos ecológicos e na mineralogia do solo, plantas e organismos, favorecendo a dinâmica da estrutura biológica, física e química do sistema. Sendo assim, a diversidade potencializa relações não lineares entre os componentes e, conseqüentemente, a formação de estruturas mais complexas tanto acima como abaixo da superfície do solo.

De acordo com Miccolis, et al (2016), apesar dos inúmeros benefícios dos sistemas agroflorestais elencados, sua apropriação por técnicos e agricultores familiares enfrenta barreiras e limitações que precisam ser vencidas para aumentar a sua adoção e escala nas iniciativas de restauração. Algumas destas dificuldades são específicas ao contexto local, portanto precisam de soluções práticas desenvolvidas na escala da propriedade e da paisagem na qual está inserida.

Uma forma de suprimento de oferta de nutrientes minerais em solos sob manejo de sistemas agroflorestais pode se dar por meio da incorporação de remineralizadores, ou pós de rocha, segundo prevê a tecnologia da Rochagem.

### **1.3 Tecnologia da Rochagem: os remineralizadores de solos**

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, mas, ao mesmo tempo, é dependente da importação de fertilizante, com implicação direta nos custos e na competitividade da agricultura (THEODORO, 2000). Por isso, a busca por produtos com a capacidade de fornecer nutrientes em consonância com a demanda nutricional das culturas agrícolas e que, ao mesmo tempo promovam benefícios como o condicionamento físico e a remineralização do solo, adquire grande importância para o futuro da agricultura brasileira.

O uso de remineralizadores (pós de rocha) para alterar os padrões de fertilidade dos solos é o principal pressuposto da tecnologia da Rochagem, que pode ser definida como uma prática agrícola de incorporação de rochas moídas e/ou minerais ao solo, sendo a calagem e a fosfatagem casos particulares desta prática (Leonardos, et al., 1976). A Rochagem comporta-se como um tipo de rejuvenecedor dos solos pobres ou lixiviados, onde o pó de rocha é utilizado para garantir a sua remineralização (Leonardos e Theodoro, 1999). Essa técnica pode ser entendida como um “banco de nutrientes”, já que fornece somente a quantidade demandada pelas plantas. Pode também ser vista como uma “fertilização inteligente”, uma vez que parte do pressuposto de que a disponibilização (dissolução) mais lenta dos nutrientes (*slow-release*) assegura níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos (Theodoro e Leonardos, 2006). Pode-se dizer que a Rochagem é uma prática que induz a fertilização da Terra pela própria terra, viabilizando o equilíbrio de todo o agroecossistema (THEODORO, 2000).

Configura-se como uma tecnologia ou rota tecnológica capaz de auxiliar na recuperação e na conservação dos solos, além de reduzir ao mínimo o uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso das formulações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK)

Pode-se afirmar que a utilização da tecnologia da rochagem apresenta vantagens significativas, quando comparadas à adubação convencional. Entre estes resultados positivos, Theodoro e Leonardos (2006) destacam: (a) melhor ou similar desempenho de produtividade (para culturas de ciclo longo, os ganhos podem ser até 30% superiores); (b) melhor enraizamento das plantas; (c) maior quantidade de massa verde; (d) aumento de umidade no

solo e (e) menores custos.

O uso desses insumos, amplamente disponíveis no Brasil (em função de sua biodiversidade), permite restaurar a soberania alimentar e econômica de países agrícolas. Fundamenta-se, basicamente, na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade naturalmente sustentável (THEODORO, 2000).

Segundo dados de Leonardos et al. (1976) e Theodoro & Leonardos (2006) e Theodoro, et al. (2013), alguns tipos de rochas fornecem os nutrientes demandados para o pleno crescimento das plantas, por um intervalo de tempo de até cinco anos posteriores a sua incorporação aos solos. Como as plantas absorvem somente aquilo que necessitam para o seu desenvolvimento, os demais nutrientes ficam retidos na estrutura cristalina das argilas que compõem os remineralizadores adicionados aos solos, formando uma espécie de estoque de nutrientes, os quais serão disponibilizados nas safras subsequentes.

Pode-se considerar a prática de Rochagem como um mecanismo de fertilização sustentável ao longo do tempo, com a vantagem de devolver aos solos parte dos constituintes perdidos, sem afetar o equilíbrio químico natural. Além disso, trata-se de uma prática ambientalmente saudável e ecologicamente menos demandadora de energia, ao contrário do que ocorre na agricultura convencional (THEODORO, 2000).

Essa autora salienta, ainda, que para que os nutrientes fiquem disponíveis para as plantas, eles precisam ser liberados da estrutura cristalina dos minerais, processo que ocorre principalmente pela ação de ácidos orgânicos produzidos pela microbiota do solo e pelas raízes das plantas. Por essa razão, o estímulo ao desenvolvimento de densa rede biótica no solo, por meio de manejos que reponham biomassa de forma sistemática ao sistema, favorecerá a criação das condições bioquímicas adequadas para a liberação dos nutrientes dos minerais aportados com a Rochagem.

De acordo com Steenbock et al. (2013), os responsáveis por fazer o fluxo ocorrer neste grande sistema solo-plantas-organismos são os constituintes edáficos, que compreendem os microrganismos (bactérias, actinomicetos, fungos, algas, protozoários, vírus - destacando-se as Micorrizas para o caso do Fósforo) e a fauna (ácaros, nematoides, aranhas, insetos, formigas, minhocas, centopeias, caramujos, camundongos).

Outro aspecto ambiental é que o uso de tais materiais assegura que não haverá o risco de contaminação do solo e dos corpos hídricos pelo excesso de oferta, tal como vem ocorrendo com as formulações NPK, onde o potássio não consumido acaba lixiviado para os rios, facilitando a eutrofização das águas. O fósforo tende a ficar retido na estrutura das argilas ricas em alumínio e ferro e o nitrogênio acaba liberando óxido nitroso, contribuidor do

efeito estufa (THEODORO e LEONARDOS, 2011). Contudo, alguns remineralizadores podem apresentar concentrações elevadas de certos elementos que podem levar a situações indesejáveis, como desequilíbrio nutricional tanto no solo como nas plantas cultivadas (MOREIRA et al,2006).

Diversos resultados obtidos a partir de trabalhos de prospecção, estudos mineralógicos e petrográficos, bem como de experimentos para avaliação da eficiência agrônômica, segurança ambiental e dos alimentos têm possibilitado a seleção de fontes com potencial de uso. Tais resultados levaram o Congresso Nacional a aprovar um projeto de lei que visou a alteração da Lei dos fertilizantes (Lei nº 6.894/1980).

Após a sanção, pela Presidência da República, a Lei nº 12.890/2013 inseriu os remineralizadores como uma categoria de insumos passível de uso agrícola. Mais recentemente, em março de 2016, foi aprovada a Instrução Normativa Nº 5, que estabeleceu as regras para classificação, especificações e garantias (Tabela 1), tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, que no seu Art. 4º estabelece que os remineralizadores devam apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:

- I. Em relação à especificação de natureza física, nos termos do Anexo I da Instrução Normativa pode ser classificado como Filler, Pó, ou Farelado;
- II. Em relação à soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;
- III. Em relação ao teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso.
- IV. Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo e micronutrientes, os seus teores podem ser declarados somente se forem iguais ou superiores aos valores expressos os teores mínimos de nutrientes conforme Tabela 01.
- V. Em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores: a) para Arsênio (As): 15 ppm; b) para Cádmio (Cd): 10 ppm; c) para Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e d) para Chumbo (Pb): 200 ppm

**Tabela 1** – Conteúdo de nutrientes exigidos como garantias mínimas, conforme IN 05/2016

<b>NUTRIENTE</b>	<b>TEOR TOTAL MÍNIMO (% em peso/peso)</b>
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,1
Manganês (Mn)	0,1
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,05
Zinco (Zn)	0,1

Fonte: Anexo II da IN 05

Conforme Theodoro, et al. (2013) a abundância de rochas no Brasil, em diferentes regiões, garante a oferta de remineralizadores para a produção de alimentos, que pode ser obtida segundo padrões mais sustentáveis, incluindo as perspectivas econômicas, mas principalmente, garantindo a soberania alimentar no Brasil, com a vantagem de produzir alimentos saudáveis e sem o uso de fertilizantes químicos.

Após a elaboração do marco legal dos remineralizadores, os maiores desafios para ampliar o seu uso são os seguintes, conforme Theodoro (2016): (i) Implementar a regularização no MAPA (escritórios estaduais); (ii) Elaborar mapas geopedológicos e de uso do solo para facilitar a oferta de remineralizadores para diferentes culturas; (iii) Alcançar um balanço energético positivo; (iv) Obter alta relação entre níveis de produção e de investimento (gastos); (v) Reduzir as perdas de nutrientes e melhorar a reciclagem; (vi) Minimizar a degradação dos solos e (vii) Estimular a produção local de culturas adaptadas ao ecossistema e às condições socioeconômicas e culturais. Ainda que existam tais desafios a serem vencidos, é inegável os benefícios obtidos para o meio ambiente com o uso dos remineralizadores.

No entanto, não se pode negar que a atividade de mineração afetara, em diversos graus, o ambiente natural, sendo função da localização das jazidas, da escala das atividades de mineração e da caracterização do material utilizado (THEODORO, 2000). Dessa forma, a

indicação de uso atual recai sobre rochas e minerais disponíveis em pilhas de descarte de mineração, de maneira a favorecer o emprego a curto-médio prazo dos insumos, promovendo benefícios ambientais quanto à disposição de rejeitos, e ainda abrindo a perspectiva de subprodutos que possam ser aditados à substância mineral objeto da lavra (BERGMANN, 2016).

De outro lado, conforme Steenbock et al. (2013), a produção dos fertilizantes solúveis necessita de uma grande quantidade de energia para concentrar os elementos no produto final. Por isso, quando as energias de origem industrial são utilizadas nos sistemas agrícolas, existe um aporte de energia muito grande e, para o sistema ser eficiente, seria necessário retirar uma quantidade de energia na forma de produto muito maior. De acordo com Theodoro (2013), o impacto do uso da rochagem como fonte mineral para o setor da agroalimentação pode representar uma série de benefícios, para além da produção, entre os quais cita; (i) ambiental, já que os remineralizadores derivam de rochas moídas que sofreram apenas um processamento mecânico, (ii) econômico, pois diminui a pressão pela importação de fertilizantes, dos quais o Brasil é dependente e (iii) soberania na produção de insumos, diminuindo a dependência.

Tilman (2002) sugere ainda que a sociedade compartilhe e recompense os agricultores que utilizem rotas tecnológicas ou práticas mais sustentáveis, particularmente, para aqueles que colaboram para fortalecer e potencializar os serviços ecossistêmicos. Em última análise, a agricultura sustentável deve ser um esforço de base ampla, que ajude a assegurar a equidade, fluxos seguros, suficientes e estáveis de alimentos e serviços ecossistêmicos para os aproximadamente nove bilhões de habitantes do planeta.

Com o objetivo de obter maior produtividade ao sistema com vistas ao alcance da sustentabilidade econômica e ambiental da sociedade, essa pesquisa preconiza a utilização de Remineralizadores como tecnologia simples, de fácil assimilação de seus pressupostos que pode ser rapidamente incorporada nos vários níveis de produção. A remineralização tem a vantagem adicional de favorecer a regeneração do solo, o que impactará positivamente no aumento do armazenamento de carbono nos solos e em ambientes florestais. A alternativa da Remineralização do solo associada aos Sistemas Agroflorestais criará abundância em uma era de recursos decrescentes.

Os SAFs dependem muito mais dos conhecimentos, manejo habilidoso e do olhar dos proprietários, do que da disponibilidade de insumos e equipamentos. Com isso, a vantagem econômica comparativa da rochagem aparece de forma mais relevante, especialmente nos dias atuais, em função do ritmo dos aumentos recorrentes nos preços dos fertilizantes solúveis e na

necessidade de escoamento do subproduto da mineração, o que o torna de preço acessível à comunidade rural (THEODORO e LEONARDOS, 2011).

#### **1.4 Estimativas de biomassa florestal**

A Fotossíntese absorve o dióxido de carbono atmosférico que é fixado na biomassa vegetal, e que conforme conceito de Martinelli et al. (1994), apud Silveira (2010), significa a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta, sendo que os seus componentes, geralmente estimados, são: biomassa viva acima do solo (composta de árvores e arbustos), morta acima do solo (composta pela serapilheira e troncos caídos) e abaixo do solo (composta pelas raízes).

As estimativas florestais são informações imprescindíveis nas questões de manejo florestal e de clima (KUMAR et al. 2011). De acordo com Higuchi et al. (1998), no primeiro caso, relaciona-se com os estoques de macro e micronutrientes oriundos da vegetação, obtida pelo produto da massa versus concentrações de cada mineral. No caso do clima, é usada para estimar os estoques de Carbono que, por sua vez, são utilizados para avaliar a quantidade de CO<sub>2</sub> que é absorvida, durante o ciclo de vida, e a que é liberada para a atmosfera, durante um processo de queimada ou decomposição.

As metodologias para estimar o estoque de carbono em SAFs são bastante distintas, principalmente quanto aos cálculos utilizados para a quantificação da fitomassa. Segundo Nair et al. (2009), a diversidade de espécies vegetais encontradas nesses Sistemas dificulta o estabelecimento de métodos precisos para a estimativa de carbono estocado. Apesar das dificuldades, segundo esses autores, é fundamental que se busque metodologias para tornar possível o entendimento do processo de conversão de CO<sub>2</sub> nesses ambientes.

De acordo com Rüginitz et al. (2009), existem dois métodos para medir e estimar a biomassa arbórea acima do solo: o direto e o indireto. O método direto (ou destrutivo), utilizado para a construção de equações alométricas e fatores de expansão da biomassa, consiste em cortar um ou mais indivíduos (árvores), determinar a biomassa por meio do peso direto de cada um dos componentes (fuste, ramos e folhas) e extrapolar os resultados para a área total. Já o método indireto consiste em utilizar equações ou fatores de expansão que permitam relacionar algumas dimensões básicas obtidas em campo (de fácil medição) com características específicas, de forma que não seja necessário medir todos os indivíduos de interesse.

Equação alométrica de biomassa é uma ferramenta matemática que permite conhecer,

de forma simples, a quantidade de biomassa de uma árvore por meio da medição de variáveis. Estima-se a biomassa arbórea acima do solo em função do tipo de vegetação e espécie medida - plantações florestais em monocultivo, capoeira e bosques naturais, ou até mesmo para árvores dispersas - e tipo de componente (RÜGNITZ et al. 2009). São geradas a partir da análise de regressão (onde se examinam as relações entre a massa - geralmente em peso seco - das árvores e seus dados dimensionais – como, por exemplo, altura e diâmetro).

Pode-se ainda considerar o Diâmetro na Altura do Peito (DAP), altura da árvore ou altura comercial e densidade de madeira, como independente, e peso seco total como variável dependente (KUMAR et al. 2011). Com relação ao número de variáveis independentes, Higuchi et al. (1998) citam que modelos de equações alométricas, com apenas uma variável independente (DAP) apresentaram resultados tão consistentes quanto os modelos que utilizavam DAP e altura (h). De acordo com Brown, et al. (1989), quando não existem equações específicas para a área estudada, as estimativas podem ser obtidas a partir de equações gerais para florestas tropicais.

#### **1.4.1 Estoque de carbono, fixação de dióxido de carbono**

Conforme colocado por Roriz (2010), utilizando-se do método hipotético-dedutivo e dos métodos auxiliares comparativo, histórico e estatístico, formula-se o sequestro florestal de carbono como atividade agrária típica, que, explorável na forma de manejo sustentável, inclusive no cerrado e em áreas protegidas, como as de reserva legal e de preservação permanente, contribui para um novo conceito de produtividade do imóvel agrário. Chang (2004) conclui em pesquisa que o sequestro de carbono florestal, como mecanismo de desenvolvimento limpo, pode constituir uma oportunidade de contribuir para o desenvolvimento rural e para o uso sustentável dos recursos, de forma a atender às demandas socioambientais das populações rurais.

No presente estudo, o cálculo da Biomassa Arbórea viva (BA) acima do solo foi realizado para as espécies e os indivíduos selecionados com o uso da equação de Biomassa Aérea Viva, da metodologia proposta por Arevalo, et al. (2002), no documento nº 73 Embrapa, do Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. A equação utiliza apenas a variável DAP para a determinação do estoque de carbono, onde  $BA = 0,1184 * (DAP^{2,53})$ . Essa equação também foi utilizada em pesquisa realizada por Rocha (2016), no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande (Mato Grosso), que obteve o valor médio de biomassa vegetal de  $37,85 \text{ t.ha}^{-1}$ ,  $17,03 \text{ t.ha}^{-1}$  para carbono estocado e  $62,514 \text{ t.ha}^{-1}$  para  $\text{CO}_2$  sequestrado.

A partir da equação selecionada foram estimados os valores de biomassa arbórea aérea viva acima do solo, estoque de carbono e CO<sub>2</sub> fixado, por hectare. Utilizou-se a convenção de que uma tonelada de biomassa florestal possui aproximadamente 0,5 tonelada (t) de carbono, e que uma tonelada de Carbono equivale a 3,67 t.CO<sub>2</sub>, obtido em razão dos pesos moleculares do carbono e do CO<sub>2</sub> (RÜGNITZ et al. 2009).

Outros exemplos de quantificação de C em agrossistemas foram apresentados em estudo realizado por Paiva, et al. (2011) para estimar o estoque de carbono da parte aérea e subterrânea da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto*, localizado na Fazenda Água Limpa, da Universidade de Brasília, Distrito Federal. O estoque de carbono total na biomassa aérea viva (troncos e galhos, com diâmetro mínimo de 3 cm, dos indivíduos lenhosos arbóreos-arbustivos, com Db > 5 cm), foi de 7,55 t.C ha<sup>-1</sup>. Outro estudo, dessa feita de Silva (2013) que avaliou a biomassa epígea do SAF implantado no Sítio Dagrofloresta, localizado em Planaltina, Distrito Federal, encontrou valores entre 28,4 e 39,5 tCha<sup>-1</sup>. Vieira et al (2004) analisou áreas de floresta amazônica e encontrou valores máximos entre 120 a 180 tCha<sup>-1</sup>.

Nesse sentido, esse estudo constitui-se em mais uma contribuição nas pesquisas envolvendo a estimativa de biomassa e o carbono armazenado para espécies chaves de SAF's no cerrado. Tais dados podem fortalecer os resultados anteriormente obtidos, uma vez que nessa pesquisa buscou-se avaliar espécies chaves, presentes em quatro sistemas agroflorestais implantados no Distrito Federal, bem como a sua correlação com uso de remineralizadores de solos como alternativa para reverter o estágio atual de degradação dos ecossistemas, provocada pela agropecuária. Para além desses pontos, a presente pesquisa poderá representar uma forma de promover, difundir e consolidar modelos de sistema produtivo agrossilvicultural e desenvolvimento rural, praticados em bases sustentáveis. Os dados obtidos na presente pesquisa poderão, no futuro próximo, ressaltar a importância dos Sistemas Agroflorestais como um dos mecanismos de fixação de dióxido de carbono, que hoje tem pouco reconhecimento nos fóruns sobre o Clima.

Por fim, é importante ressaltar que essa metodologia não se propõe a ser definitiva para resolver todos os problemas gerados pelas ações antrópicas de nossos modelos de produção e de consumo, nem espera ser a solução para as mazelas causadas pelas estruturas econômicas globalizadas.

## CAPÍTULO 2

### DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS ESTUDADOS

#### 2.1 Aspectos Gerais

Existem inúmeros exemplos de práticas tradicionais de uso da terra envolvendo produção combinada de árvores e de espécies agrícolas no mesmo espaço de terra em muitas partes do mundo e, muito frequentemente, essas práticas são conhecidas como agrosilviculturais. Nesses casos, as árvores são parte integrante dos sistemas agrícolas, onde deliberadamente ficam preservadas nas áreas agrícolas para apoiar a agricultura. Inicialmente, o objetivo final dessas práticas não era a produção de árvores, mas a produção de alimentos (NAIR, 1993).

Nas últimas décadas, pesquisadores e agricultores de diversas regiões do país e, em particular do Distrito Federal, vêm construindo estratégias de manejo alternativas ao padrão científico-tecnológico predatório da modernização agrícola e industrial. Nesse sentido, processos de experimentação têm sido realizados por muitos agricultores, como forma de aprimorar as estratégias de manejo, que permitam conciliar a redução na dependência de insumos externos, sobretudo os agroquímicos, com a manutenção de produções em níveis adequados e agregando o bem estar das famílias.

Até há pouco tempo, os benefícios dos policultivos eram ignorados pelos pesquisadores, entretanto os ganhos potenciais se avolumaram e ficaram evidentes (ALTIERI, 2002). Entre as diversas iniciativas, o primeiro passo relacionado à transição agroflorestal tem sido o aumento da diversidade dos cultivos, ou seja, o consorciamento de plantas, como hortaliças, frutas, madeiras, entre outras, com espécies leguminosas anuais e perenes para adubação verde. Em geral, os agricultores têm se utilizado do potencial de espécies florestais para a produção de biomassa.

A avaliação contínua do manejo que o agricultor utiliza é de grande relevância na medida da sustentabilidade do agroecossistema e na qualidade do solo. Sua avaliação e monitoramento podem ser feitos tanto em bases científicas quanto por avaliações fundadas no saber empírico desenvolvido pelo agricultor (CASALINHO 2004). A sistematização dos conhecimentos acumulados sobre manejo da biomassa e uso de remineralizadores (pós de rochas), conservação e melhoramento de variedades nativas, entre outros, estão sendo compartilhados nas comunidades rurais, favorecendo sua ampliação e uso.

Como forma de registrar algumas iniciativas de manejos, que estejam sendo



A forma de manejo dos sistemas seguiu os princípios propostos pelo agricultor-pesquisador Ernest Gotsch, entre os quais se citam a sucessão ecológica e a ampliação da concentração de biomassa no solo, principalmente por meio da poda e posterior trituração do material, que deve ser disposto na linha de plantio, como cobertura do solo tanto nos canteiros quanto nos espaços entre os canteiros.

A capina seletiva é manual ou mecanizada, podendo ser realizada a cada três ou quatro meses, dependendo do desenvolvimento do sistema e da disponibilidade de mão de obra. Também são feitos aceiros para proteção ao fogo. Entre os equipamentos de manejo, os mais utilizados são: a roçadeira costal, a motosserra, o triturador, o facão e escada, os quais facilitam o processo de trituração da biomassa que deverá otimizar a ciclagem de nutrientes. As Figuras 2 e 3 mostram como tem sido efetuado este processo de poda, e disposição do material nos canteiros.

**Figura 2** – Prática de poda e trituração da biomassa. SAF 2



Fonte: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

**Figura 3** – Prática de poda e trituração da biomassa. SAF 2



Fonte: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

O desbaste ou raleio é feito quando o plantio está adensado e no período em que as plantas passam pelo processo de seleção dos indivíduos, deixando-se os mais vigorosos e saudáveis. O desbaste geralmente é realizado quando as copas das árvores que ocupam o mesmo estrato estão sobrepostas e há concorrência por luz. As podas desempenham papel importante para manter a produtividade e as funções ecológicas importantes para a conservação ambiental. As podas podem ser de formação, de estratificação, de limpeza, de renovação e de regeneração (MICCOLIS, et al 2016).

O uso recorrente da poda das árvores e fruteiras é essencial para a melhoria do sistema produtivo. A decisão de poda depende muito do processo de manejo e da demanda de produtos que cada propriedade priorize, em diferentes momentos.

A poda de Formação e Estratificação ocorre quando são suprimidos os galhos laterais e inferiores visando à estruturação da copa da planta, direcionamento do caule e formação da copa. São supressões feitas também para sincronizar o sistema, quando a intenção é a realização de plantios nos estratos inferiores (solo). Poda de Limpeza é realizada para retirar as partes secas e velhas da planta, folhas amareladas e galhos doentes. Poda de produção ou frutificação é feita geralmente em espécies frutíferas visando aumentar a produtividade. Podas de renovação são intervenções no sistema como um todo e visam produzir grande quantidade de biomassa.

Os quatro SAFs que compõem o objeto dessa pesquisa possuem sistema de irrigação por aspersão. A água é captada em poços artesianos e distribuída por meio de mangueiras,

tubos e aspersores, ampliando a eficiência quanto ao fluxo hídrico e uso da água. Conforme Altieri (2002), entre outros benefícios dos Sistemas Agroflorestais, ocorre a redução das oscilações de temperatura (em comparação com áreas a pleno sol), a redução da evaporação e o aumento do balanço hídrico. O solo coberto é muito mais úmido na camada superficial, o que pode ser atribuído a menor evaporação e maior infiltração. A cobertura com palhadas e materiais derivados da poda das árvores do SAF favorece a manutenção da umidade, o que resulta na redução do tempo de irrigação e amplia o equilíbrio ecológico no sistema, bem como diminui a incidência de plantas invasoras e/ou doenças. O solo mais úmido permite melhor absorção de nutrientes como, por exemplo, o fósforo e o potássio (PRIMAVESI, 1999).

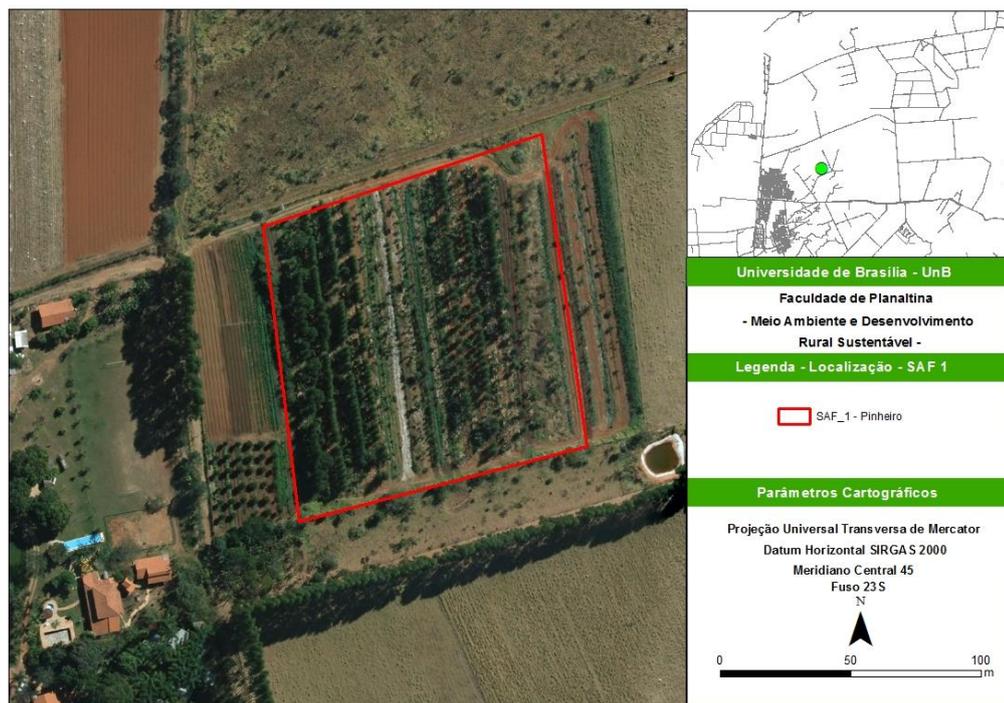
A diferença principal entre os casos estudados refere-se à aplicação ou não de pó de rocha no solo no início da implantação do Sistema. O SAF 1 foi o único que não utilizou nenhum tipo de remineralizador. Ressalta-se que a aplicação desses insumos deu-se no momento da implantação do Sistema, no ano de 2013. Com relação às características químicas dos remineralizadores utilizados nos SAFs 2, 3 e 4, foi realizado contato por email com as empresas, e ainda pesquisa bibliográfica sobre as características dos pós de rocha utilizados, os quais são denominados Remix e MB-4. Para sistematização dos dados utilizou-se o nome do fruto para denominar a espécie analisada.

### **2.2.1 Sítio Pinheiro - SAF 1**

O Sistema Agroflorestal desenvolvido no Sítio Pinheiro localiza-se no Núcleo Rural Capão da Onça, Chapadinha/Brazlândia, Brasília-DF, o qual está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, nas coordenadas UTM 802.846,43 mE 8.267.377,88 mS e possui aproximadamente um hectare. Nessa pesquisa foi denominado SAF 1. A gestão é feita pela proprietária, Silvia Pinheiro Santos.

Possui relevo levemente inclinado com 15% de declividade, altitude de 1.145 m e a paisagem do entorno consiste em áreas de pastos, lavouras e cerrado. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a precipitação média anual é de 1469 mm (últimos 3 anos), com distribuição concentrada no período de outubro a maio. A Figura 4 mostra uma visão aérea da área do SAF.

**Figura 4** – Imagem mostrando a delimitação do SAF 1



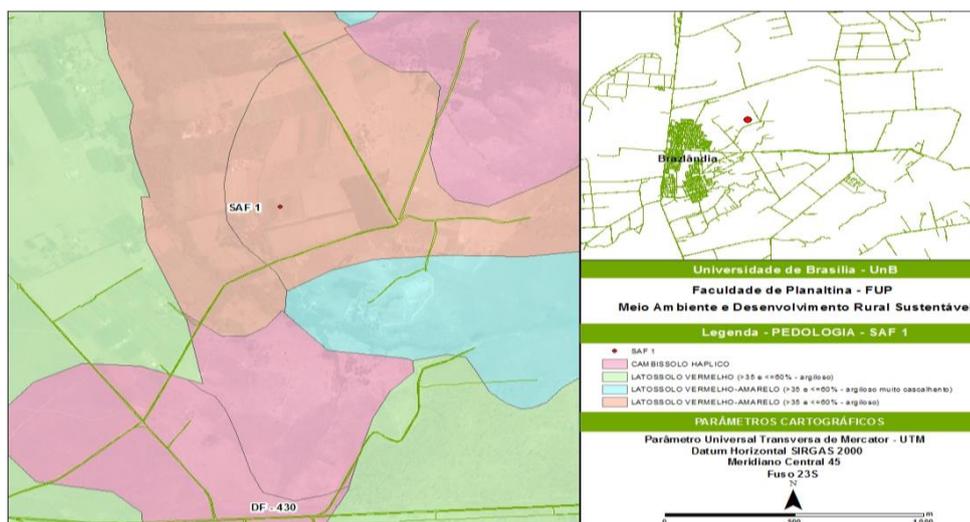
Fonte: Imagem Arqgis Fonte: Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 235

O Sítio Pinheiro dista aproximadamente 45 km do Plano Piloto (Brasília- DF). Entre outras atividades agrícolas, essa propriedade conta com um espaço pedagógico, cujo foco principal é a capacitação em atividades relacionadas à educação ambiental. Possui uma infraestrutura que comporta espaços para treinamentos. Também possui atividades de pecuária, onde integra a criação de gado leiteiro, ovelhas e aves. Os resíduos desses animais são utilizados para alimentar um sistema de compostagem e minhocário. O produto final resulta em um insumo que é utilizado na adubação das áreas agrícolas. Os principais produtos comercializados pelo sítio Pinheiro são leite, hortaliças, húmus e frutas derivadas da agrofloresta. O que o diferencia dos demais se refere ao fato de que não foi utilizado nenhum tipo de remineralizador de solo antes de sua implantação. As espécies monitoradas no SAF1 foram: dez indivíduos de Abacate (*Persea americana*), dez indivíduos de Café (*Coffea L.*) e dez indivíduos de Jaca (*Artocarpus heterophyllus*).

De acordo com o mapa pedológico elaborado pela Embrapa (2004), o SAF 1 possui solo latossolo vermelho amarelo, de textura areno-argiloso, formado por um pacote de solos com horizonte A moderado, horizonte B latossólico distróficos, bem drenados e de acidez variando de moderada a forte. Apresentam perfis com sequência de horizontes A, B e C, com espessura total da ordem de 300 cm, com pouca diferenciação entre os horizontes (Embrapa,

1978). Essas características demonstram que sua formação se deu por processo de intenso intemperismo do material originário, acentuada lixiviação de bases, pequena eluviação de argila e pouca acumulação de matéria orgânica nos horizontes superficiais. A Figura 5 apresenta a localização e a conformação pedológica da região onde está inserido o SAF1.

**Figura 5** – Localização e conformação pedológica da região do SAF 1



Fonte: EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal.  
Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 235

### 2.2.1.1 Histórico

Antes da implantação das atividades agroecológicas, a área em análise era composta por pasto de braquiária. A propriedade foi adquirida em 1980, mas somente em 2011 ocorreram as ações para implantação de um sistema de agroflorestal em uma área de duas hectares. Conforme relatado por sua proprietária, o conhecimento sobre o tema era precário e não havia muitos interessados em participar da adesão ao sistema agroecológico, o que dificultou a formação de parcerias. A idéia inicial era implantar um sistema agrossilvopastoril, tendo em vista que a propriedade já contava com experiência no manejo de gado leiteiro, que seria um dos elementos do sistema. A partir da decisão de mudar a forma de produção, investiu-se na aquisição de sementes e mudas, em especial de espécies frutíferas como banana, abacaxi, jaca, abacate, manga, além de outras espécies que fornecessem alimentação adicional ao gado. Na implantação da área foram inseridas espécies de árvores nativas do cerrado (sementes) e capim para o gado, além de feijão guandu e crotalária. Como era necessário gerar renda para manter o sistema, optou-se pela inserção de hortaliças, de ciclo curto, o que ampliou as possibilidades de renda, desde o curto prazo.

Considerando o uso anterior da área (braquiária com baixa produtividade, baixa regeneração, solo bem drenado e incidência de fogo), a partir de 2013, sob as orientações de Namastê Messerschmidt, intensificou-se o manejo agroflorestal com a introdução de plantas de cobertura: feijão guandu, crotalária, mucuna, capim mombaça, andropogom, além da adição de cobertura morta a partir de matéria orgânica obtida na propriedade e, adicionalmente, pela compra de material triturado, derivado da poda das árvores de Brasília.

### 2.2.1.2 Implantação

Em 2013 foi efetuada uma amostragem e análise de fertilidade do solo, a fim de se conhecer as características e as necessidades do solo. A partir dos resultados dessa análise, foi recomendado e aplicado quatro toneladas de calcário por hectare. A seguir, o solo foi preparado com grade, subsolador e motocultivador. O plantio foi realizado por meio da abertura de sulcos e berços. Além desses materiais, foram adicionados 10 litros/m<sup>2</sup> de húmus, 10 litros/m<sup>2</sup> de esterco de gado e cama de frango (Figura 6 e 7).

**Figura 6** – Imagem mostrando práticas de manejo para a implantação do SAF



Fotos: Arquivo da produtora (2012)

**Figura 7 – Período de implantação do SAF**



Fotos: Arquivo da produtora (2012)

### 2.2.1.3 Elementos e desenho do sistema

O critério de seleção das espécies e variedades considerou as culturas de alta produtividade, com maior valor econômico agregado, maiores índices nutricionais e que fossem de uso cotidiano nas atividades do Estabelecimento. Além dessas, optou-se pela incorporação de outras espécies que produzissem biomassa para facilitar a adubação.

O desenho agrossilvicultural foi definido pela repetição de parcelas divididas em dezenove linhas que alternaram os elementos chaves (banana- família *Musaceae*, e abacaxi - *Ananas comosus* L), cada uma composta por dois canteiros, sendo que o primeiro apresentava uma linha dessas espécies juntamente com hortaliças e os outros somente consórcios de hortaliças e culturas anuais (Figuras 8 e 9).

**Figura 8 – Cultivo agroflorestal (hortaliças e frutíferas)**



**Figura 9 – Detalhe de uma das espécies frutíferas do sistema agroflorestal**



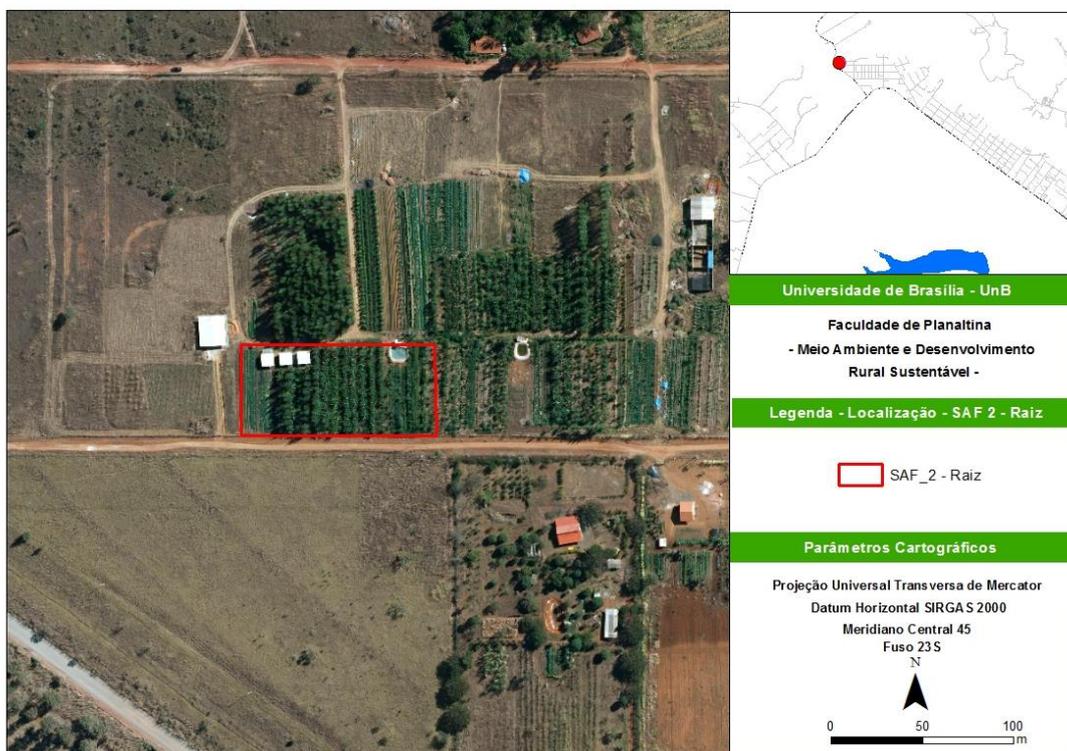
Fonte: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

### 2.2.2 Sítio Raiz - SAF 2

O Sítio Raiz está localizado no Núcleo Rural Lago Oeste, chácara 23, no Distrito Federal e encontra-se inserido na Bacia Hidrográfica do rio Maranhão, nas coordenadas UTM 818.406,84 mE 8.276.969,59 mS. O seu proprietário é o Engenheiro Agrônomo Rômulo Araújo. Essa área foi denominada SAF 2 (Figura 10), dista cerca de 40km do centro de Brasília. A área em análise possui meio hectare e as espécies monitoradas para se calcular o estoque de C foram: dez indivíduos de Abacate, dez indivíduos de Café, dez indivíduos de Eucalipto.

O SAF foi implantado em 2013. Entre as inúmeras ações de manejo efetuadas inicialmente na área, destaca-se a substituição do calcário pelo uso de remineralizadores de solo para ampliar a oferta de componentes minerais e, em consequência, a sua fertilidade. Desde o início de sua implementação, os seus produtos agrofloretais (hortaliças e frutas), resultantes das atividades agrícolas, vem sendo comercializados em feiras livres do Plano Piloto, em Brasília.

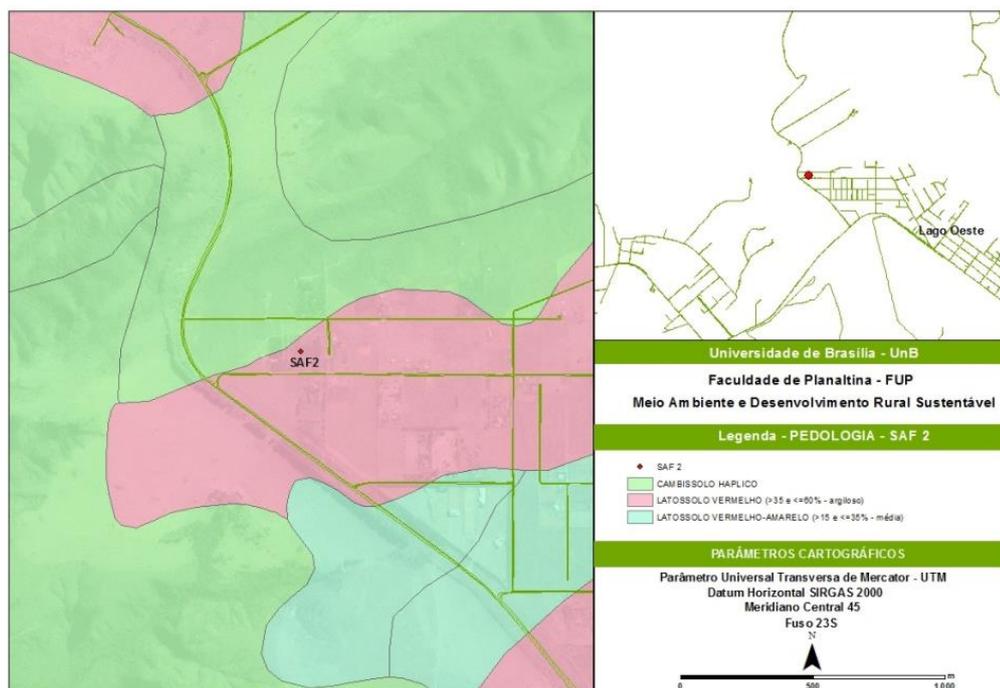
**Figura 10** – Imagem mostrando a delimitação do SAF 2



Fonte: Imagem Arqgis Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 235

A conformação pedológica da região onde a área está inserida é apresentada na Figura 11. Foi possível averiguar que essa área possui relevo levemente inclinado com declive suave, menor que 10%, e altitude de 1.145 m. A paisagem do entorno da gleba consiste em áreas de lavouras, pastagem e cerrado. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (2017), a pluviosidade média anual é de 1469 mm, sendo que os índices médios anuais dos últimos três anos foi de 1.560 mm.

**Figura 11** – Localização e conformação pedológica da região do SAF 2



Fonte: EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal. Planaltina, DF.  
 Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 235

O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1978, 2004), muito profundo, com horizonte A moderado, horizonte B latossólico, textura argilosa e rico em sesquióxidos. É um solo muito poroso, bastante permeável e acentuadamente bem drenado. As características marcantes deste solo são o baixo teor de silte e a absoluta ausência de minerais primários pouco resistentes, que se constituem como fontes ou reservas potenciais de nutrientes para as plantas.

### 2.2.2.1 Histórico

Até 2013 a área do SAF era ocupada por pastagem de baixa produtividade, baixa

regeneração, predominância de gramíneas exóticas andropogom e, não raro, apresentava incidência de fogo. Em 2013, foi efetuada uma análise química do solo, que revelou que se tratava de um solo de baixa fertilidade natural.

### 2.2.2.2 Implantação

Para implementação do manejo da gleba de agrofloresta foram efetuadas uma série de ações, entre as quais cita-se a roçagem e reserva da palha, aplicação de remineralizador Calcoxisto, com dose equivalente de sete toneladas por hectare e gradeagem, para facilitar a incorporação do pó de rocha. Posteriormente, efetuou-se a formação dos canteiros (com moto cultivador), além da adição de cobertura morta reservada e adquirida (cerca de 30 toneladas de biomassa por hectare). Também foram adicionadas cerca de 800g/m<sup>2</sup> do adubo composto termofosfato Yoorim (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>MgO, CaO, SiO<sub>2</sub> B, Zn, Mn, Cu) e oito l/m<sup>2</sup> de esterco de frango. Para finalizar a preparação, foram adicionadas 400g/m<sup>2</sup> de cinza aplicadas no sulco e berços onde foram introduzidas as plantas. Não se utilizou calcário.

A partir do segundo ano, a dosagem foi diminuída, uma vez que o próprio sistema tende a se alimentar com a biomassa produzida, principalmente pela poda do eucalipto e da banana. Sendo a adubação externa apenas complementar conforme a necessidade da cultura. Importa mencionar que o efeito dos remineralizadores, segundo Theodoro et al, 2013a é de cerca de cinco anos, a depender do manejo utilizado na área. As Figuras 12 e 13 mostram as fases iniciais da implantação do SAF2.

**Figura 12** – Preparo do adubo na fase de implantação no Sítio Raíz



Fonte: Fotos da Internet, <https://es-la.facebook.com/Sítio-Raiz>, acesso em julho de 2016

**Figura 13** – Reservatório de água e vista do SAF 2 há quatro anos (2014)



Fonte: Fotos da Internet, <https://es-la.facebook.com/Sítio-Raiz>, acesso em julho de 2016

### 2.2.2.3 Elementos e desenho do sistema

O delineamento agrossilvicultural foi definido pela repetição de parcelas de cinco por cinquenta metros (5,0 x 50,0 metros), cada uma composta por quatro canteiros. Ao primeiro canteiro (denominado de linha das árvores) foram acrescentadas as mudas de café e eucalipto e os bulbos de banana, juntamente com hortaliças. Nos outros três canteiros, foram inseridos somente consórcios de hortaliças e culturas anuais. Na base desse consórcio plantou-se mandioca e hortaliças (ervilha, vagem, beterraba, brócolis). Nesses mesmos canteiros foram acrescentadas sementes de manga (*Mangifera indica* L.), citros (*Citrus sinensis* L. Osbeck), abacate (*Persea americana*) e forrageiras: canafistula (*Peltophorum dubium*), embaúba (*Cecropia pachystachya*), assa peixe (*Vernonia polysphaera*).

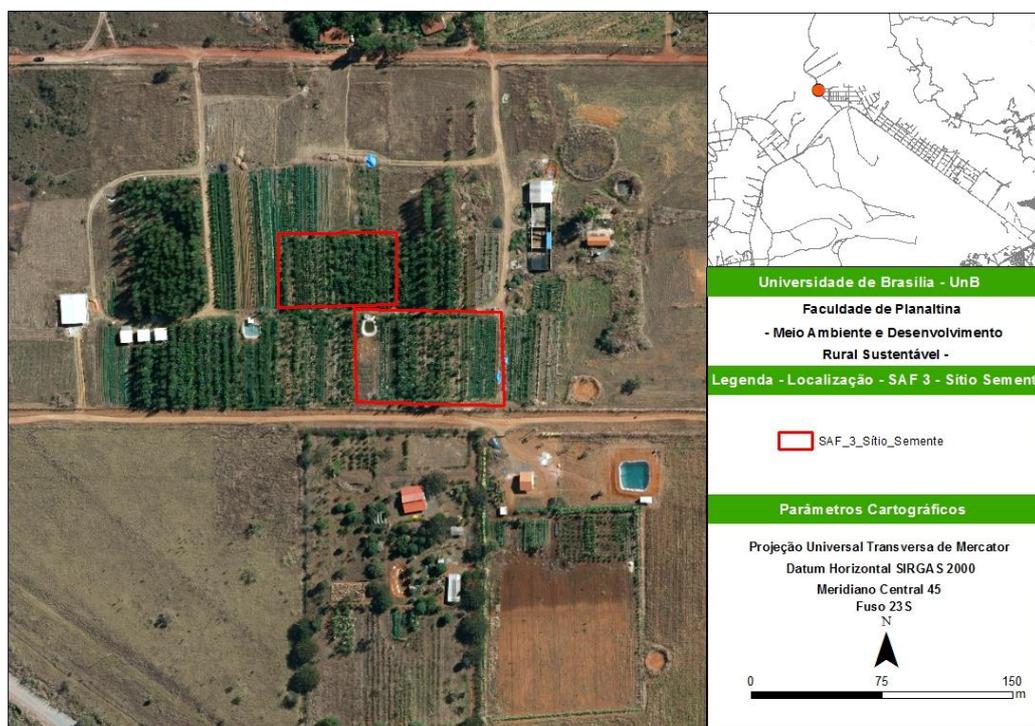
As linhas das árvores e frutas (banana, café e eucalipto) formam a base do sistema. O espaçamento das bananeiras é de três metros e o eucalipto e o café são plantados a cada 1,5m. Já o distanciamento das frutíferas escolhidas para permanecer no sistema pode variar de três ou seis metros, dependendo da espécie. Os critérios para seleção levaram em consideração o porte das espécies e se a mesma era uma variedade de alta produtividade, com alto valor econômico agregado. Também permaneceram no sistema algumas variedades voltadas para conservação, e que possuíssem grande potencial de produção de biomassa.

### 2.2.3 Sítio Semente - SAF 3 /5

O Sítio Semente localiza-se no Núcleo Rural Lago Oeste, em Brasília- DF, na Bacia Hidrográfica do rio Maranhão, nas coordenadas UTM 818.406,84 mE 8.276.969,59 mS. O delineamento e manejo desse Sistema Agroflorestal vêm sendo desenvolvidos por seu proprietário, Juã Pereira, que é biólogo. O sistema foi implantado na estação chuvosa de 2013.

A análise nesta propriedade está sendo feita em duas glebas de aproximadamente meio hectare, SAF 3 (a área com três anos de implantação) e SAF 3/5 (a área com cinco anos). As espécies monitoradas em cada área foram: dez indivíduos de Abacate, dez indivíduos de Café, dez indivíduos de Eucalipto (Figura 14).

**Figura 14** – Vista aérea da delimitação do SAF 3 e SAF 3/5



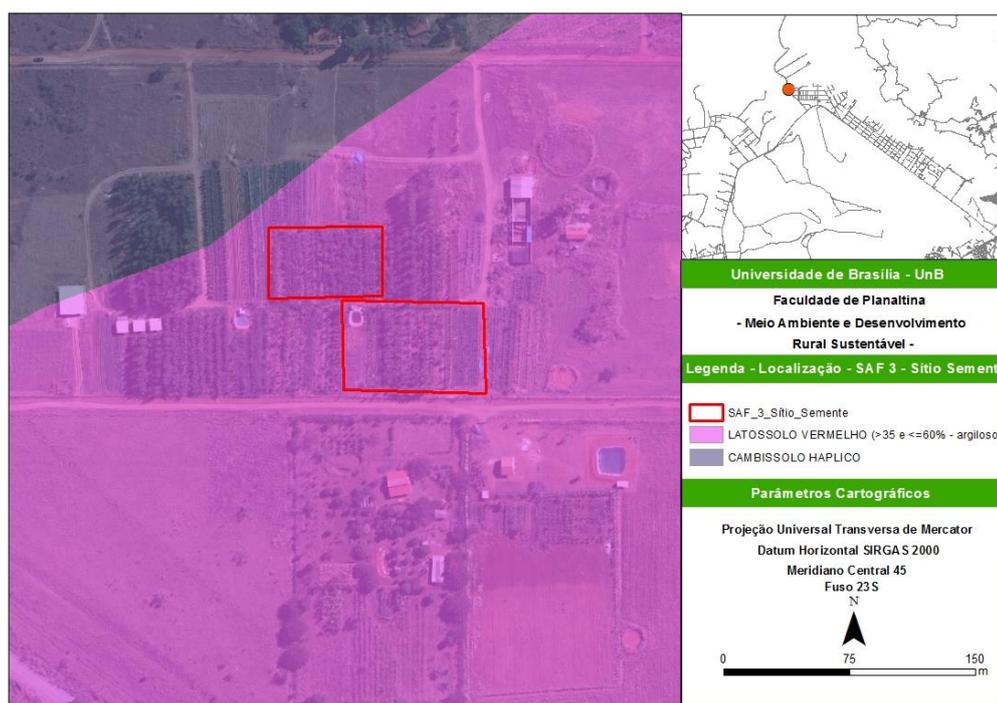
Fonte: Imagem Arqgis. Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 235

O SAF 3 situa-se aproximadamente a 40 km de Brasília- DF e é especializado na produção de hortaliças e frutas agroecológicas, que vem sendo comercializada em feiras livres da cidade. Assim como ocorre no SAF 2, as duas glebas acompanhadas no SAF 3 possuem relevo levemente inclinado, com declive suave e menor que 10%, apresentando solo do tipo Latossolo (Figura 15), altitude de 1.145 m. A paisagem do entorno da gleba consiste em áreas de lavouras, área de cerrado. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET, a pluviosidade média anual é de 1469 mm, a pluviosidade média anual dos últimos 3 anos foi

de 1.560 mm.

O Latossolo Vermelho é solo mineral, profundo, com horizonte A moderado, horizonte B latossólico, textura argilosa e rico em sesquióxido. É muito poroso, bastante permeável e bem drenado. Constituem características marcantes deste solo o baixo teor de silte e a absoluta ausência de minerais primários pouco resistentes, que constituem fonte ou reserva potencial de nutrientes para as plantas (EMBRAPA, 2013).

**Figura 15** – Localização e conformação pedológica da região do SAF 3/5



Fonte: EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal.  
Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 23S

### 2.2.3.1 Histórico

Antes da implantação do Sistema Agroflorestal, a área possuía solo bastante degradado, com baixa regeneração natural, onde havia a predominância de gramíneas exóticas, tais como andropogon e braquiária. Por tais características o solo apresentava-se bastante drenado. Segundo informações do proprietário, a área é bastante suscetível à incidência de fogo, porém há doze anos o fogo não atinge a propriedade. Também é relativamente simples encontrar mão de obra e os produtos são facilmente comercializados no mercado de Brasília, em função da proximidade com a cidade. No ano de 2011 foi iniciado o manejo agroflorestal do SAF 3/5 com a introdução de plantas de cobertura: feijão guandu, crotalária, mucuna, capim mombaça, andropogon e baquearia, além da adição de cobertura

morta, derivada de matéria orgânica triturada obtida interna e externamente (do serviço de limpeza pública local). Em 2013 iniciou-se o manejo do SAF 3, que seguiu os mesmos procedimentos de 2011.

### 2.2.3.2 Implantação

A partir dos resultados da análise físico-química do solo, efetuada em um laboratório de análise de solos, foram determinadas as principais características relativas à fertilidade. Posteriormente, foi efetuado o preparo do solo com subsolador e motocultivador, que incorporou os insumos aplicados. Nesse aspecto, segundo pode-se averiguar junto ao proprietário, houve a aplicação de duas toneladas de calcário por hectare, o qual foi misturado a 500 gramas/m<sup>2</sup> de termofosfato Yoorim (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>MgO, CaO, SiO<sub>2</sub> B, Zn, Mn, Cu), 500 gramas/m<sup>2</sup> de Remineralizador Calcoxisto, 10 litros/m<sup>2</sup> de húmus, 10 litros/m<sup>2</sup> de esterco de gado/ cama de frango. O plantio foi realizado por meio de abertura de berços e, canteiros, conforme pode ser verificado nas Figuras 16 e 17.

**Figura 16** – Preparo do solo na fase de implantação do SAF 3



Fonte: Fotos da Internet, <http://www.sitiosemente.com/> acesso em julho de 2016

**Figura 17** – Adição de material triturado e restos de poda na implantação do SAF 3



Fonte: Fotos da Internet, <http://www.sitiosemente.com/>, acesso em julho de 2017

### 2.2.3.3 Elementos e desenho do sistema

O desenho foi definido pela repetição de parcelas de 40 x 5 metros, compostas por quatro canteiros, onde está inserida uma linha de árvores e frutas juntamente com hortaliças. Os outros três canteiros são compostos por um consórcio de hortaliças, culturas anuais e culturas para produção de biomassa.

Conforme relatado por Miccolis, et al (2016), nas linhas das árvores e frutas plantou-se banana, café e eucalipto, formando a base do sistema. Além dessas, foram adicionadas sementes de árvores frutíferas e florestais, próximas às mudas de eucalipto, tais como Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Copaíba (*Copaifera langsdorfii*), Cedro (*Copaifera langsdorfii*), Xixá (*Sterculia apetala* (Jacq) H.), Caju (*Anacardium occidentale*), Mogno (*Swietenia mahagoni*), Manga (*Mangifera indica* L.), Jaca (*Artocarpus heterophyllus*) e Cinamomo (*Melia azedarach*). O espaçamento entre os bulbos de bananeira foi de três metros. Já as mudas de eucaliptos e de café foram plantadas a cada metro e meio (1,5m). O espaçamento de cada frutífera que permaneceu no Sistema pode variar entre três ou seis metros, a depender da espécie.

Nos três canteiros que contém o consórcio de culturas anuais, foram inseridas as seguintes espécies agrícolas: mandioca, inhame e batata-doce, além de seis tipos de hortaliças (rúcula, alface, couve, brócolis, couve-flor, tomate e outras.). O espaçamento entre as manivas

de mandioca e as sementes de milho foi de 1 m. Já entre as mudas de alface e de couve foi de 0,5 m. A rúcula, adicionadas nas bordas dos canteiros, teve um espaçamento de vinte e cinco centímetros. Quando inseridas no centro do canteiro esse espaçamento foi de 50 cm. Os critérios para seleção de espécies levaram em consideração os seguintes pré-requisitos: (i) alta produtividade; (ii) alto valor econômico agregado e (iii) alto potencial de produção de biomassa, com fins de uso para cobertura das áreas (Figuras 18 e 19).

**Figura 18** – Vista geral de uma área interna (espécie monitorada café sobreado) do SAF 3 (abril de 2017)



Fonte: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

**Figura 19** – Vista do SAF 3 (a direita) e SAF 3/5 (a esquerda) em abril de 2017



Fonte: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

## 2.2.4 Fazenda Elo Florestal Inkora - SAF 4

A Fazenda Elo Florestal Inkora, localiza-se no Núcleo Rural Taquaras, em Planaltina-DF, na Bacia Hidrográfica do rio Preto, nas coordenadas UTM 244.850,00 mE e 8.275.995,59 mS. Esse Sistema Agroflorestal é de propriedade do engenheiro agrônomo Mauricio Rigon Hoffmann Moura. Foi aqui denominado SAF 4 (Figura 20). Possui aproximadamente dois hectares. Segundo informações do proprietário, no preparo da área foi utilizado o Remineralizador MB-4. Nessa pesquisa, optou-se em fazer o monitoramento das seguintes espécies: dez indivíduos de Abacate, dez indivíduos de Baru (*Dipteryx alata*), dez indivíduos de Jatobá (*Hymenaea courbaril*).

**Figura 20** – Delimitação do SAF 4



Fonte: Imagem Arqgis Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 23S

A Fazenda situa-se a aproximadamente 70 km de Brasília-DF, e tem com principal perfil produtivo a produção de fruticultura agroecológica. A comercializada da produção dá-se em feiras livres de Brasília, ou é vendida diretamente aos restaurantes da capital.

A área do SAF 4 possui relevo levemente inclinado com declive suave menor que 10%, apresentando solo do tipo Latossolo e altitude de 920 m (Embrapa, 2013). A paisagem do entorno da gleba consiste em áreas de lavouras, áreas abertas sem cultivo e cerrado. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a pluviosidade média anual de 1.371 mm, a pluviosidade média anual dos últimos anos foi de 1.560 mm. A sua área é

composta por Latossolo Vermelho, muito profundo, com horizonte A moderado e horizonte B latossólico, ricos em sesquióxido, com textura argilosa (Figura 21). É muito poroso, bastante permeável e bem drenado. Constituem características marcantes desse solo, o baixo teor de silte e a absoluta ausência de minerais primários pouco resistentes, que constituem fonte ou reserva potencial de nutrientes para as plantas (EMBRAPA, 1978).

**Figura 21** – Localização e conformação pedológica da região do SAF 4



Fonte: EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal  
Parâmetros cartográficos: UTM, Datum horizontal Sirgas 2000, Meridiano Central 45, Fuso 23S

#### 2.2.4.1 Histórico

A propriedade rural possui aproximadamente cinquenta hectares e pertence à família Hoffmann desde 1985, sendo que foi administrada por Roberto Bueno Hoffmann até 2001, com produção de grãos e hortaliças. Anteriormente, havia um galpão de avicultura de aproximadamente 400 m<sup>2</sup> na parte nordeste da área do SAF em análise.

Desde 2001 Mauricio conduz sistemas agroflorestais baseados na metodologia agroflorestal de Ernst Götsch. Durante os anos de 2001 a 2005, foram implantados anualmente diferentes desenhos de sistemas agroflorestais, com técnicas de implantação manuais e mecanizadas.

#### 2.2.4.2 Implantação

Com base nas experiências agroflorestais anteriores desta propriedade rural, em 2013, o delineamento agroflorestal visou à ampliação da escala de produção. A implantação foi realizada em duas fases. Na primeira, em 2013 foram implantadas as linhas espaçadas de 8 metros com as culturas de abacaxi (*Hymenaea courbaril*), laranja (*Citrus X sinensis*), atemóia (*Annona × atemoya*), gueroaba (*Syagrus oleracea*), cajá (*Spondias mombin* L.), baru (*Dipteryx alata*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), samaúma (*Ceiba pentandra*) e mogno (*Swietenia mahagoni*); na segunda fase, em 2014, foram plantadas, nas entrelinhas, as culturas de tomate (*Solanum lycopersicum*), mamão (*Carica papaya* L), abacaxi, maracujá (*Passiflora edulis*), abacate e pitaia (*Hylocereus undatus*). Foram utilizadas três toneladas de calcário e grade aradora passada duas vezes. A distância entre os berços para as fruteiras enxertadas foi de 3 x 4 metros. O sistema implantado recebeu adubações de correção e de cobertura no primeiro ano, de acordo com as regulamentações para agricultura orgânica. A área vem sendo irrigada durante os períodos de seca.

Conforme resultado da análise físico-química do solo, efetuada pelo agricultor em laboratório credenciado, foi necessária a aplicação de 20 litros de esterco por berço, 50 g de FTE BR 4,2 kg boro  $\text{ha}^{-1}$  1,5 toneladas do Remineralizador MB4 por hectare, 1,3  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$  de Yorin ( $\text{P}_2\text{O}_5\text{MgO}$ , CaO,  $\text{SiO}_2$  B, Zn, Mn, Cu) e  $20\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de esterco de gado com cama de frango. O plantio foi realizado em sulcos e berços após a roçagem para formar as leiras de palhada com equipamento tratorizado (Figura 22), enquanto a Figura 23 ilustra o remineralizar de calcoxisto, recém-adquirido pelo proprietário para a aplicação na área.

**Figura 22** – Preparo da área para a implantação do SAF 4



Foto: Arquivo do produtor (2012)

**Figura 23** – Pilha de remineralizador (Remix) a ser aplicado nas novas áreas na propriedade



Foto: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

As mudas de bananeira foram plantadas manualmente e, em seguida, com uma plantadora convencional adaptada, foram semeadas três linhas com coquetel de sementes. Somente após o acréscimo da cobertura de palhada derivada do corte do capim é que foram introduzidas as outras espécies, como mandioca, cana-de-açúcar e estacas de amora. O enleiramento da palhada foi de aproximadamente  $40 \text{ t.ha}^{-1}$ , entre as linhas plantadas com ancinho e com uma enleiradora de feno, depositando o material cuidadosamente entre as linhas de plantio, com leve cobertura sobre as linhas de árvores, evitando-se assim que o solo ficasse descoberto em algum ponto.

O espaçamento utilizado foi o seguinte: a cada vinte metros roçados, plantou-se uma faixa de quatro metros com agrofloresta e uma faixa de dezesseis metros com plantio direto de leguminosas, em janeiro de 2004; e em dezembro de 2004, realizou-se outro plantio com área roçada de trinta metros e enleirada em quatro metros. Para as faixas florestais utilizaram-se os seguintes espaçamentos: cada faixa compõe-se de três linhas com árvores. Essas linhas estão espaçadas, no plantio de 1,5 metros (janeiro) e 1,3 m (julho). Na linha central plantou-se banana e mamão, alternando a cada 1,5 metros na linha. Entre a linha central e as laterais foi plantada uma linha de mandioca a 0,7 metros da linha central e uma de abacaxi a 1,1 metros, esta última está a 0,4 metros da linha lateral de árvores. Dessa forma, após roçar a área, acumulou-se o material vegetal em faixas, nas quais se concentrou o plantio do sistema agroflorestal. Assim restam faixas roçadas que podem ser enriquecidas com espécies pioneiras do sistema de acumulação ou com lavoura desde que produza material suficiente

para o próximo ano agrícola (fonte de palhada para a faixa) que será implantado ao lado do primeiro, aumentando assim gradativamente a área agroflorestanda até completar o plantio na área toda.

#### 2.2.4.3 Elementos e desenho do sistema

O desenho agrossilvicultural foi definido pela repetição de vinte linhas, cada uma composta por dois canteiros, sendo que o primeiro contém as espécies arbóreas frutíferas, madeireiras e outras utilizadas com plantas adubadeiras de ciclo anual, que depende da época do ano e do interesse da Propriedade. (Figuras 24 e 25).

**Figura 24** – Disposição de uma das espécies frutíferas de alto valor comercial (pitaia-*Hylocereus undatus*) em uma das linhas do SAF 4



Foto: Essa pesquisa (o autor, 2017)

**Figura 25** – Vista geral da distribuição das linhas de citrus e produção de biomassa do SAF 4



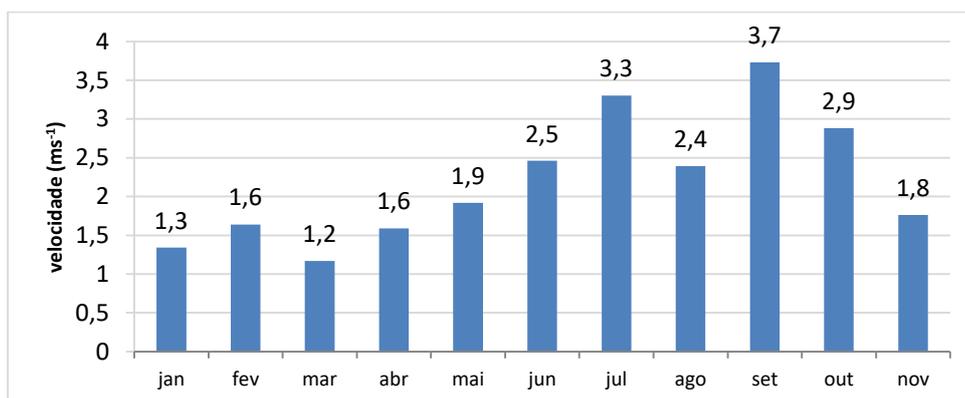
Foto: Essa pesquisa (foto do autor, 2017)

Para a seleção das espécies, considerou-se principalmente variedades de alta produtividade, com alto valor econômico, outras voltadas para conservação e espécies com alto potencial de produção de biomassa.

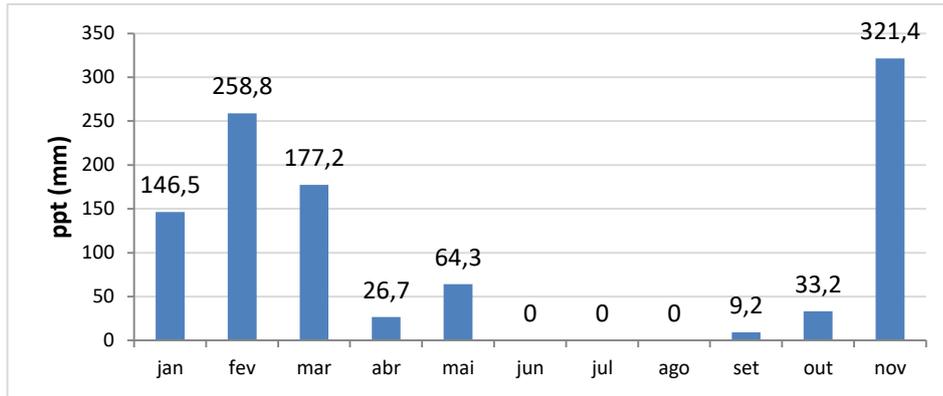
### 2.3 Dados climáticos para o período do estudo

Conforme dados fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponível para a região central de Brasília, em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>, apresenta-se os Gráficos de velocidade média do vento, precipitação, temperaturas máximas e mínimas e umidade relativa para o período entre janeiro e novembro de 2017 (Figuras 26, 27, 28 e 29). Ressalta-se que foi um ano típico em se tratando de seca e geada.

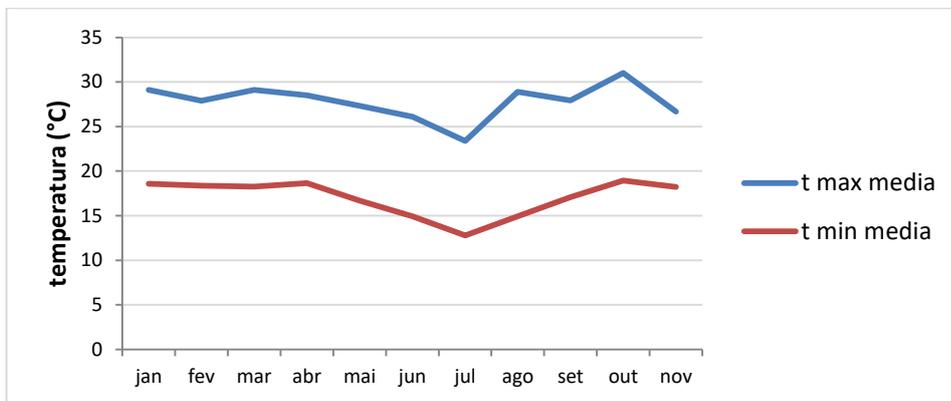
**Figura 26** – Velocidade média dos ventos ( $\text{ms}^{-1}$ )



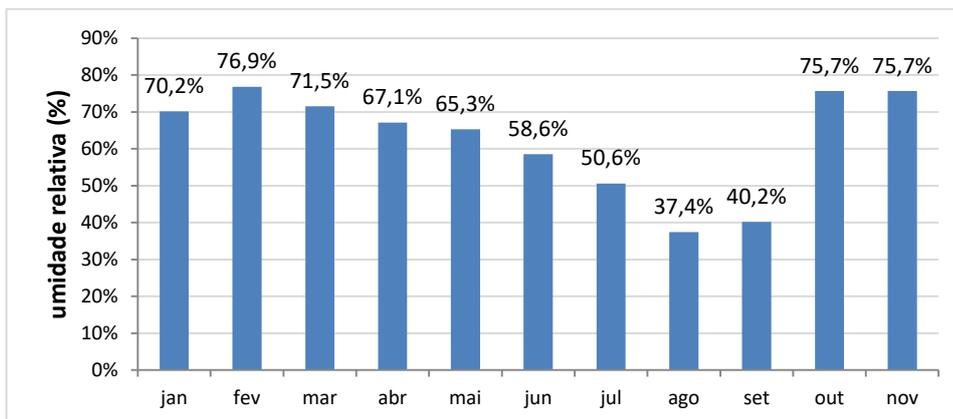
**Figura 27 – Precipitação média (mm)**



**Figura 28 – Temperaturas Máximas e Mínimas**



**Figura 29 – Gráfico Umidade Relativa média**



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização das áreas de Estudo

A presente pesquisa consiste em um estudo de caso conduzido em quatro Sistemas Agroflorestais implantados em três diferentes regiões administrativas do Distrito Federal, descritas no capítulo anterior, denominados como SAF 1, SAF 2, SAF 3 e SAF 4. Todas as glebas estão inseridas no bioma Cerrado, apresentando solos do tipo Latossolo (EMBRAPA, 2013), conforme Tabela 2. O clima da região é, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo AW, característico de áreas com clima úmido tropical, com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão).

**Tabela 2** – Identificação do sistema, tipo de solo e remineralizador utilizado

<b>SAF</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>Remineralizador</b>
<b>SAF 1</b>	Latossolo vermelho amarelo	Ausente (calcário)
<b>SAF 2</b>	Latossolo vermelho	Remix
<b>SAF 3</b>	Latossolo vermelho	Remix (calcário)
<b>SAF 4</b>	Latossolo vermelho	MB-4 (calcário)

As propriedades rurais selecionadas configuram-se como referências na produção agroecológica local sob sistema de produção agroflorestal sucessional, multiestratificados e manejados sob a orientação da sucessão ecológica. Todas as glebas possuem três anos de implantação. A diferença mais marcante entre os SAFs estudados refere-se ao uso de remineralizadores (conforme prevê a tecnologia da Rochagem) em três deles. Somente o SAF 1 não utilizou este insumo mineral na implantação da área.

Ainda que os distintos tipos de análises tenham sempre considerado essa distinção, as formas de aferição e medida dos parâmetros foram padronizados. Nesse aspecto, foi analisado o comportamento das plantas e do solo submetidos (ou não) aos remineralizadores denominados REMIX e MB-4. O primeiro é produzido pela Mineração Santa Terezinha Ltda (MISTEL) localizada em Luziânia (GO). No seu processo para a obtenção do registro, a Mistel informou, a partir de laudos técnicos, que a assembleia mineralógica dessa rocha metamórfica (calcissilicática) é essencialmente composta por CaO, K<sub>2</sub>O, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

FeO (total), TiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. A soma de bases (CaO, K<sub>2</sub>O, MgO) está entre 21,69% e 24,28%, portanto bem acima do que é estabelecido como valor mínimo, pela IN 05/2016. A rocha possui xistosidade marcada pela alternância de cristais de muscovita (KAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>1</sub>(OH,F)<sub>2</sub>) e clorita (Mg<sub>5</sub>Al(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub>) em textura lepidoblástica intercalados milimetricamente com cristais de calcita (CaCO<sub>3</sub>), dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) e quartzo (SiO<sub>2</sub>) em textura granoblástica.

Conforme o Relatório, e pela proporção de minerais como calcita, dolomita, muscovita e clinocloro, essa rocha apresenta uma mineralogia com grande potencial para uso tanto na remineralização de solos como para corretivo de acidez. Tal potencial facilitará o aumento da fertilidade dos solos.

De acordo com Souza (2008) a farinha de rocha MB-4, o segundo produto comercial utilizado no SAF 4, é composto pelos minerais constituintes das rochas que lhe dão origem (Biotitaxisto e o Serpentinó), misturados em proporções iguais e triturados. Quimicamente, o 'MB-4' apresenta uma composição rica em muitos elementos, vários deles detectados apenas como traços (totalizando 29 elementos), dentre os quais destacam-se: Sílica em SiO<sub>2</sub> (39,73%) Alumínio em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (7,10%) Ferro em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,86%) Cálcio em CaO (5,90%), Magnésio em MgO (17,82%) Sódio em Na<sub>2</sub>O (1,48%) Potássio em K<sub>2</sub>O (0,84%) Fósforo em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,075%), Manganês em Mn (0,074%), Cobre em Cu (0,029%) Cobalto em Co (0,029%) Zinco em Zn (0,03%) Enxofre em S (0,18%). A Tabela 3 apresenta uma média da composição química dos dois remineralizadores que foram utilizados nas áreas pesquisadas no presente estudo.

**Tabela 3** – Análise dos dois remineralizadores - Remix e MB4. Macronutriente (%) e Micronutriente (ppm)

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	P	Mn	Cu	Co	Zn	S
Remix*	43,7	3,6	8,35	6,48	7,39	8,5	2,14	-	20	-	60	-
MB4**	39,7	7,1	6,9	5,9	17,8	0,8	0,1	0,1	0,02	0,02	0,03	0,18

\* Fonte: Relatório técnico.

\*\* Fonte: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/3-biomineralizacao-uso-de-pos-de-rocha-ou-rochagem.pdf>. Acesso em junho 2017.

### 3.2 Procedimentos Metodológicos

Com o objetivo de acompanhar as alterações do solo no período da pesquisa, foram realizadas duas análises de solo em cada área sobre o perfil de 20cm. A primeira amostragem para análise físico-química ocorreu em janeiro de 2017 (período de chuva mais intensa),

enquanto a segunda coleta ocorreu em outubro de 2017 (final do período de seca na região).

O procedimento da coleta foi mediante a eliminação da serrapilheira de superfície e para a coleta de amostras de solo utilizou-se pá-de-corte, observando-se os seguintes procedimentos: Localizar as linhas onde o adubo foi aplicado; Fazer uma cova em forma de V e retirar da parede da cova uma fatia de espessura uniforme entre 2 e 3 cm até a profundidade de 20cm. Foram coletadas cerca de 500g de amostras em seis pontos de cada área que, após uniformizadas, compuseram uma amostra composta para cada uma das quatro áreas. As amostras foram submetidas à análise de fertilidade no Laboratório Campo Análises, localizado no município de Paracatu/MG, e os resultados foram emitidos sob os certificados nº 1557/17 e 76316/17.

A partir dos resultados, foram comparados os seguintes atributos químicos: pH, matéria orgânica, CTC, nutrientes: P, K, Ca, Mg, além de uma abordagem sobre os micronutrientes B, Zn, Mn, Fe, Cu. Também foram considerados os atributos físicos: porcentagem de silte, argila, areia, classificação e tipo de solo.

O estudo foi conduzido buscando-se comparar duas formas de manejo de solo (áreas com “SAFs” e sem SAFs, aqui denominadas Testemunhas) nas quatro áreas. A amostragem efetuada nas duas estações/épocas do ano (verão e inverno) foram consideradas como repetições. A estrutura amostral, portanto, seguiu um esquema fatorial aninhado 2x4, sendo o efeito das particularidades de cada SAF desdobrados.

É importante alertar que devido a natural complexidade dos SAFs estudados, aliados às limitações para a condução de experimentos controlados convencionais, foi necessário impor ao presente estudo observacional um limitado tamanho amostral. Dessa forma, considerando as limitações para a verificação da normalidade dos resíduos nestas condições, os dados foram submetidos ao procedimento não-paramétrico “ANOVA on Ranks” (Conover, 2012). Adicionalmente, uma análise multivariada por função Desirability (sem atribuição de pesos ou limites para os parâmetros) foi realizada para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas isoladamente. As médias foram comparadas entre si pelo teste “Tukey on Ranks” a 5 e 10 % de probabilidade de erro. Um contraste complexo foi adicionado às comparações de interesse ( $\hat{C}_1$ : SAFs com remineralizadores vs Testemunhas) e testado pelo teste t a 1 (\*\*) ou 5 (\*) % de probabilidade. A medida de Effect Size “d Cohen” foi calculada para algumas comparações de interesse (SAF vs testemunha dentro de cada área). Magnitudes de efeito “d Cohen” maiores que 0,8 foram considerados como “high effect” (Cohen, 1988).

Para estimar o estoque de carbono e a fixação de dióxido de carbono na biomassa

arbórea para diferentes formas de uso do solo em cada uma das parcelas (SAFs 1, 2, 3 e 4), foram selecionados dez indivíduos não bifurcados de três espécies chaves, em acordo com o interesse econômico e agrônômico de cada caso. Para o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação seguiu-se (em parte) a metodologia desenvolvida pelo ICRAF (Centre for Research in Agroforestry), descrita e adotada por Arevalo et al (2002), publicada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Apesar da diversidade de espécies utilizadas nos quatro Sistemas, foram selecionados dez indivíduos de três espécies chaves em cada SAF para acompanhar o DAP, o acúmulo de biomassa e de C e a fixação de CO<sub>2</sub>. As seis espécies vegetais monitoradas nessa pesquisa (Tabela 4) são exigentes em macro e micronutrientes. Utilizou-se o nome do fruto para discriminar a espécie em análise. Para o abacate, o café, o eucalipto e a jaca a literatura recomenda adubação de instalação, formação e manutenção, enquanto para o baru e o jatobá, apesar do reduzido espectro de informações, entende-se que as mesmas não dispensam tais adubações. Importa destacar que a adubação adequada deve repor o material exportado pela colheita ou lixiviado, além dos nutrientes absorvidos nos tecidos vegetais (ALMEIDA, 1990).

**Tabela 4** – Principais características das espécies arbóreas analisadas

<b>Espécie</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Família</b>	<b>Origem</b>	<b>Luminosidade</b>	<b>Altura</b>	<b>Ciclo de vida</b>	<b>Presente SAF:</b>
<b>Abacate</b>	<i>Persea americana</i>	<i>Lauraceae</i>	América Central	Sol Pleno	> 12 m	Perene	1, 2, 3 e 4
<b>Baru</b>	<i>Dipteryx alata</i>	<i>Fabaceae</i>	América do Sul	Sol Pleno	> 12 m	Perene	4
<b>Café</b>	<i>Coffea Arábica e Coffea Canephora</i>	<i>Rubiaceae</i>	África	Sol pleno e tolera sombra	< 5 m	Perene	1, 2, e 3
<b>Eucalipto</b>	<i>Eucalyptus Spp</i>	<i>Mirtáceas</i>	Oceania	Sol pleno	> 12 m	Perene	2 e 3
<b>Jaca</b>	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	<i>Moraceae</i>	Índia	Sol pleno	> 12 m	Perene	1
<b>Jatobá</b>	<i>Hymenaea sp</i>	<i>Fabaceae</i>	América do Sul	Sol pleno	> 12 m	Perene	4

O abacate está presente nos quatro SAFs analisados. O café, que reúne diversas espécies, está presente nos SAFs 1, 2 e 3, enquanto que o eucalipto aparece nos SAFs 2 e 3. A terceira espécie acompanhada no SAF 1 foi a jaca e no SAF 4, o baru e o jatobá, que são espécies nativas do cerrado, de crescimento mais lento. Segundo Müller (1981), dificilmente são encontradas informações a respeito da fertilização das fruteiras regionais e/ou tropicais disseminadas no bioma Cerrado.

Os indivíduos amostrados foram marcados com uma fita plástica e locados sob um plano cartesiano entre número de linhas e distâncias em metros do ponto inicial da linha. Os dados biométricos coletados nos meses de janeiro, abril, julho, outubro de 2017 foram Circunferência na Altura do Peito (CAP) com fita diamétrica para acompanhamento do crescimento e posterior uso em equações para estimar o carbono fixado onde os valores da circunferência foram divididos por  $\pi = 3,14$ , para se chegar ao Diâmetro na Altura do Peito (DAP). Para a análise de crescimento das árvores no período da pesquisa nos diferentes tratamentos utilizou-se a média da porcentagem das medidas do DAP da cultura do abacate por ser a espécie que ocorreu nos quatro sistemas. Para isso, utilizou-se a metodologia Anova e teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para estimar o valor da biomassa arbórea viva (BA) utilizou-se o método indireto, seguindo a metodologia proposta por Arevalo et al. (2002), por meio da equação alométrica para os indivíduos selecionados, onde é utilizada apenas a variável DAP.

$$BA \text{ (kg árvore}^{-1}\text{)} = 0,1184 \text{ DAP}^{2,53}$$

Onde:

BA = biomassa de árvores vivas.

0,1184 = constante

DAP= diâmetro da altura do peito DAP (cm)

2,53 = constante

Embora exista alguma controvérsia sobre porcentagens precisas de conversões em carbono (C), estima-se que 50% do peso seco (ao forno) do caule e nos ramos das árvores amostradas representam a quantidade de carbono (KUMAR, 2011). Em geral, os métodos de estimativa do estoque de C orgânico fazem uso de modelos de regressão cujas variáveis independentes são a biomassa total e o fator de conversão (0,50), pressupondo-se que 50% da biomassa é constituída por C (BROWN et al., 1986). Considerando o teor de carbono nas árvores é de aproximadamente 50% do peso seco da biomassa, para o cálculo do Estoque do Carbono (EC) foi usado índice 0,5 (1 ton do peso seco da biomassa representa 0,5 ton. de C).

Considerando as informações de Brown et al. (1986) e de Rüginitz et al. (2009), uma molécula de CO<sub>2</sub> possui um átomo de carbono (massa atômica = 12) e dois de oxigênio (massa atômica = 16), tem-se sua massa molecular é 44. Para se encontrar o valor de CO<sub>2</sub>, considerou-se que uma tonelada de carbono corresponde a 3,67 toneladas de CO<sub>2</sub>. Vale dizer

que: 1 tonelada de biomassa possui aproximadamente 0,5 t.C (500 Kg) e 1t.C possui 3,67 t de CO<sub>2</sub>. Portanto, para obter o valor de CO<sub>2</sub> sequestrado da atmosfera, foi adotada a seguinte equação:

$$CS \text{ (kg árvore-1)} = EC * 3,67$$

Onde:

CS (kg arv. -1) = dióxido de carbono sequestrado (quilo por planta),

EC (kg arv.1-1) = carbono na biomassa aérea viva,

3,67 = constante.

Ressalta-se que, conforme já abordado anteriormente e de acordo com Nair et al. (2009), as metodologias para estimar o estoque de carbono em SAFs são bastante distintas, principalmente quanto aos cálculos utilizados para a quantificação da fitomassa. Os modelos de estimativa devem se aproximar da realidade, para não subestimar e nem tampouco superestimar a quantidade de biomassa de uma árvore, conjunto de árvores ou floresta. Além disso, a diversidade de espécies vegetais encontradas nesses Sistemas dificulta o estabelecimento de métodos precisos para a estimativa de Carbono estocado.

Por esse motivo, diferentemente de outros trabalhos sobre retenção de Carbono em agroecossistemas que utilizam a escala de toneladas por hectare, na presente pesquisa optou-se em usar a unidade kg por planta evitando assim extrapolação de valores uma vez que a amostra de dez indivíduos talvez não seja suficientemente representativa para uso generalizado na conversão dos valores de estoque de C por hectare.

A partir dessas informações, e em acordo com a hipótese da pesquisa, foi analisado em que medida as espécies estudadas comportam-se como potenciais mecanismos de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub> em sistemas agroflorestais que fizeram (ou não) uso da tecnologia da rochagem. De forma complementar, escolheu-se o sítio Semente para realizar a comparação entre os solos em três momentos: área testemunha, SAF com três anos e SAF com 5 anos, onde fez-se a análise dos atributos do solo e levantamento de biomassa das espécies selecionadas para três e cinco anos e a correlação com a qualidade do solo. Tal comparação visa averiguar o comportamento dos nutrientes no decorrer dos anos, uma vez que o tempo de análise dessa pesquisa é curto para aparecer diferenças significativas.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme colocado por Caporal (2004), toda mudança se refere a um processo de evolução contínua e crescente no tempo, porém sem ter um momento final determinado. A prática agroecológica implica na busca de uma maior racionalização econômico-produtiva, com base nas especificidades de cada agroecossistema e, também, numa mudança nas atitudes e valores dos atores sociais em relação ao manejo e conservação dos recursos naturais.

A agroecologia consolida-se como enfoque científico na medida em que este campo de conhecimento se nutre de outras disciplinas e experiências empíricas dos agricultores, o que permite o estabelecimento de marcos conceituais, metodológicos e estratégicos com maior capacidade para orientar, não apenas o desenho e manejo de agroecossistemas, mas, também, processos de desenvolvimento rural sustentável.

A presente pesquisa buscou trilhar este caminho, ao analisar os resultados da associação da prática agroflorestal à rotação quanto à qualidade do solo, o desenvolvimento arbóreo e a retenção de CO<sub>2</sub> no sistema em pequenas e médias propriedades. Na análise dos quatro sistemas agroflorestais com três anos de implantação, as análises de solo revelaram melhorias nas características física e química do solo. Ainda que de forma empírica, pode-se averiguar que nas áreas sob SAFs (comparadas às testemunhas) ocorreu uma descompactação efetivamente do solo (que tornou-se mais escuro e mais argiloso), um aumento de retenção de umidade e um aumento dos indicadores de fertilidade. Aliada à tais observações, os proprietários também mencionaram que ao longo do tempo perceberam que ocorreu um significativo aumento da ocorrência de minhocas, insetos e outros organismos de pequeno e médio porte, bem como a diminuição do ataque de pragas e doenças. Nesse aspecto, a teoria da trofobiose, defendida por Chaboussou (1987), sugere que a nutrição com produtos naturais não permite a produção de nutrientes em excesso e o seu consequente armazenamento nos tecidos das plantas. Tais resultados serão discutidos a seguir.

#### 4.1 Solo (atributos físico-químicos)

No que se refere ao solo, as Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos atributos físicos, químicos e os teores de macro e micronutrientes presentes nas amostras de solos coletadas no período da pesquisa.

**Tabela 5** – Composição granulométrica para amostras de solo de 0-20 cm

Atrib.	Silte		Argila		Areia		Classificação*	Tipo**
	Test	SAF	Test	SAF	Test	SAF		
<b>Área</b>								
<b>SAF 1</b>	47,1	41,7	42	46	10,3	12,3	Argila siltosa	3
<b>SAF 2</b>	25,4	29,9	40	36	34,6	34,1	Franco argilosa	3
<b>SAF 3</b>	25,4	30,6	40	40	34,6	29,4	Franco argilosa	3
<b>SAF 4</b>	29,8	33,9	65	60	5,2	6,1	Argila pesada	3

\* Classificação com base nas frações granulométricas da terra fina seca ao ar.

\*\* IN n° 02 de 09/10/2008.

Os resultados das análises efetuadas ao longo da pesquisa visaram ampliar o entendimento acerca dos aspectos nutricionais relativos à evolução e ao desenvolvimento dos sistemas agroflorestais em cada uma das áreas analisadas. A principal hipótese era de que o uso de remineralizadores no solo (adicionados na implantação dos blocos) ampliaria a oferta de nutrientes ao longo do tempo, podendo ser potencializada pelos tratos culturais e pela quantidade de matéria orgânica disponível em cada sistema. Segundo esse entendimento, buscou-se observar o efeito potencializador das práticas de manejo, utilizadas nas quatro áreas, sobre a química do solo, bem como a sua possível relação com o crescimento vegetal e, conseqüentemente, com a captura de CO<sub>2</sub> atmosférico. Tais indicadores poderiam dar uma pista mais completa sobre a sustentabilidade da agricultura de pequeno e médio porte, no âmbito das propriedades rurais, o que contribuirá de forma efetiva com ajustes e novos parâmetros para as políticas de Mudanças Climáticas.

#### **4.1.1 Atributos químicos do solo**

O pH indica a quantidade de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) disponíveis na solução dos solos. Um solo é tanto mais ácido quando maior for a disponibilidade de íons H<sup>+</sup> e menor for a presença de íons básicos cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca (TIBAU, 1983). Ele é importante pelo efeito indireto sobre a concentração de elementos disponibilizados para as plantas e para a microvida. (PRIMAVESI, 1999).

Igualmente importante é a presença de matéria orgânica (MO), a qual é indispensável para a manutenção da vida no solo. De modo geral, a MO possui em média 58% de carbono (C), que deriva de troncos, folhas e raízes em processo de decomposição e em substâncias húmicas. A bioestrutura e produtividade do solo se baseiam na presença de matéria orgânica

em decomposição ou humificada. Os ácidos húmicos resultam do processo oxidativo na presença de Ca, K, P e de micronutrientes enriquecidos pela presença de nitrogênio (N), fixado do ar. As substâncias húmicas não são solúveis em água e possuem estrutura grande e complexa com carga negativa, as quais se ligam às cargas positivas das argilas: Al, Fe, Ca, Mg (PRIMAVESI, 1999). Possuem a função de complexar os cátions  $H^+$  e  $Al^{+3}$  livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e adicionar bases (Ca, Mg e K) que reduzem a acidez do solo e aumentam o pH (PAVINATO, 2008). Após alguns anos de cultivo, o teor de matéria orgânica se estabiliza em torno de 2,5 a 3,0 dag/kg em solos argilosos (RONQUIM, 2010).

De acordo com Primavesi (1999) as plantas são as principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos primários sintetizados no processo de fotossíntese. Tais compostos são dependentes da quantidade de resíduos depositados no solo, bem como são influenciados pelas práticas de manejo, podendo resultar no aumento no teor de carbono orgânico do solo. O teor de Carbono Orgânico Total (COT) é diretamente responsável pela principal fonte de N e tem a função de determinar a sua qualidade no solo. De outro lado, os processos de degradação do solo influenciam diretamente no teor de N. Assim, o fornecimento contínuo de material orgânico pelos restos culturais e /ou excreções radiculares atua como um agente de formação e estabilização dos agregados, proporcionando melhor estruturação do solo. Em geral as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são estimadas pela fração orgânica.

A disponibilidade de macronutrientes (elementos) é igualmente importante para a fertilidade dos solos. Um dos maiores problemas da agricultura tropical é a fixação do fósforo (P), principalmente em solos mais intemperizados, que possuem complexos poucos estáveis às plantas. Sem fósforo não ocorre fotossíntese. Um dos mecanismos utilizados para potencializar este macronutriente no solo é a calagem (adição de  $CaCO_3$ ) que tende a potencializar a absorção de uma adubação fosfatada posterior. A disponibilidade de P é favorecida em solos com o pH acima de 5,5, que estejam bem arejados e com microvida ativa. Também é dependente da solubilização na água do solo, a qual pode ser rica em ácidos orgânicos, facilitando a absorção pela planta (PRIMAVESI, 1999). A presença do P é essencial na formação da molécula do Trifosfato de Adenosina (ATP), um mononucleotídeo fosforado responsável pelo armazenamento e transferência de energia para partes da planta.

Conforme Tibau (1983), o ciclo do P passa por reversões que tornam o elemento ora assimilável, ora insolúvel, conforme a reação do meio ou a presença de colóides. Esse fenômeno é responsável por falsear os resultados de análise de solo quando ocorrem causas

atenuantes. Na rizosfera está assimilável, mas quando ocorre o excesso de cálcio, sua solubilização pode ser dificultada. De acordo com Gama Rodrigues (2004) os sistemas agroflorestais podem ser autossuficientes em N pelo uso de leguminosas florestais. Mas, para o caso do P é necessário que ocorra o suprimento de quantidades suficientes para manter a produção dos cultivos.

Igualmente importante, o potássio (K), é um tipo de cátion que não é encontrado livre na natureza. De modo geral, ele ocorre na forma de silicatos e nas cinzas dos vegetais (TIBAU, 1983). De acordo com Primavesi (1999), o K contribui para o crescimento rápido e vigoroso das plantas. A resistência vegetal ao frio, seca e doenças depende muito do abastecimento de K que facilita a respiração e com isso a absorção de outros nutrientes, contribuindo para a viscosidade maior do plasma celular. Segundo a autora, a presença de K facilita a catalisação de outros nutrientes nos tecidos. Por isso o efeito do K depende da quantidade de outros nutrientes no solo, especialmente do N, P, Ca e Mg.

De acordo com Primavesi (1999), o efeito do nutriente cálcio (Ca) no solo e nas plantas depende do equilíbrio com os demais cátions, especialmente K, Mg, Zn, Mn, B, Cu e Fe. No solo, o Ca tem a função de ocupar as cargas negativas no complexo de troca, neutralizando o Al e o Mn tóxico e atuando na floculação e agregação. Ele também atua como elemento de equilíbrio, aumentando a absorção de nitrogênio e de potássio e beneficia a absorção de Mg, Na e Mn. Parte do Ca do solo é consumido pela vegetação e parte é lixiviado facilitando o processo de acidificação. É deficiente em quase todos os solos tropicais por ser o primeiro cátion a ser lixiviado.

Ainda que atualmente a Lei do Mínimo, proposta pelo biólogo alemão Justus Liebig, seja bastante discutível, em função de seus pressupostos, pode-se ficar em acordo parcial com suas propostas, já que o sucesso de uma planta no solo depende de que nenhum fator de sobrevivência exceda seu limite de tolerância, pois para condições de estado constante, o nutriente presente em menor quantidade (concentração próxima à mínima necessária) tende a ter efeito limitante sobre a planta. Considerando que o perfil nutricional do solo é fundamental para o pleno desenvolvimento das plantas, as análises do solo nas quatro áreas, realizadas nos dois períodos (jan. e out. de 2017), serviram para averiguar em que medida a presença de remineralizadores (acrescentados, ou não no início da implantação dos SAFs) e a presença de MO facilitaram e/ou influenciaram nos resultados no desenvolvimento das plantas analisadas. Os parâmetros de fertilidade (pH, MO e C) e a disponibilidade dos principais macro e micronutrientes (K, P, Ca e Mg, Zn, B, Cu, Mn e Fe) e CTC foram analisados e podem ser averiguadas na Tabela 6

**Tabela 6** – Análise de fertilidade (macro e micronutrientes) para amostras de solo de 0-20 cm coletadas nos meses de janeiro e outubro de 2017 na área testemunha e no SAF

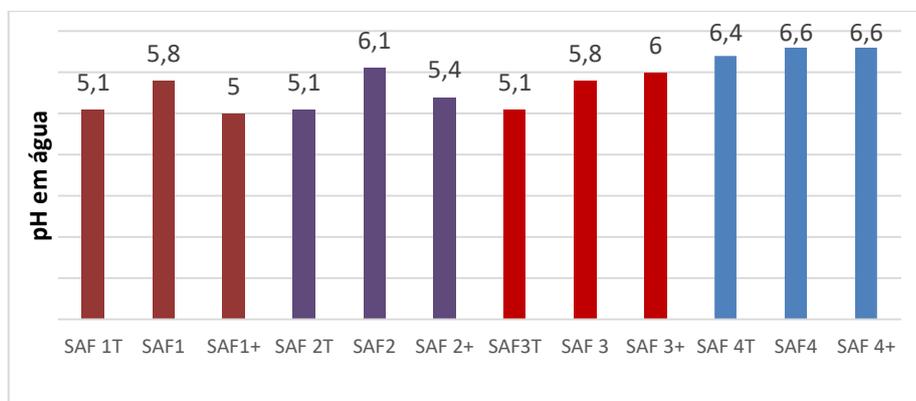
	SAF 1T	SAF1	SAF1+	SAF 2T	SAF2	SAF 2+	SAF3T	SAF 3	SAF 3+	SAF 4T	SAF4	SAF 4+	SAF 3 5
<b>pH água</b>	5,1	5,8	5	5,1	6,1	5,4	5,1	5,8	6	6,4	6,6	6,6	6,7
<b>pH CaCl2</b>	4,3	4,8	4,2	4,5	5,6	4,9	4,5	5,3	5,7	5,4	5,7	6,2	5,8
<b>M,O,dag/kg</b>	3,1	2,8	3,9	3	3,3	4,1	3	4,4	2,3	3,3	3,5	3,9	4,1
<b>C org</b>	1,8	1,6	2,2	1,7	1,9	2,1	1,7	2,6	1,3	1,9	2,0	2,2	2,3
<b>S mg/dm3</b>	3,7	6,3	3,8	3	12,4	5,5	3	12,8	4,3	3,5	3,5	4,2	8,4
<b>P mg/dm3</b>	1,8	1,8	1,9	1,7	8,5	4,4	1,7	16,4	9,7	4	5,0	14,7	6,8
<b>K mg/dm3</b>	63,2	71,3	52,6	47,3	156,1	130,1	47,3	200,5	198	115,3	231,8	243	250,3
<b>Ca<sup>2+</sup> cmolc/dm3</b>	0,8	2,3	0,2	0,7	3,2	2,5	0,7	4,9	6,4	2,7	4,8	6,1	4,1
<b>Mg<sup>2+</sup> cmolc/dm3</b>	0,4	0,7	0,2	0,1	0,9	0,9	0,1	1,2	1,6	1,1	1,3	1,7	1,1
<b>Al<sup>3+</sup> cmolc/dm3</b>	0,3	<0,1	0,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1
<b>H + Al cmolc/dm3</b>	6,8	4,8	8,4	4,9	3,1	6	4,9	3,1	2,4	5,5	2,8	2,7	4
<b>CTC<sub>t</sub> cmolc/dm3</b>	8,2	8	8,9	5,8	7,6	9,7	5,8	9,7	10,9	9,5	9,6	11,1	9,8
<b>V %</b>	17	40	6	16	59	38	16	68	78	43	71,0	76	59
<b>m %</b>	18	3	57	10	2	0	10	1	0	2	1,0	0	2
<b>Ca/Mg</b>	2	3,3	1	7	3,6	2,8	7	4,1	4	2,5	3,7	3,6	3,7
<b>Ca/K</b>	4,9	12,6	1,5	5,8	8	7,5	5,8	9,6	12,6	9,2	8,1	9,8	6,4
<b>Mg/K</b>	2,5	3,8	1,5	0,8	2,3	2,7	0,8	2,3	3,2	3,7	2,2	2,7	1,7
<b>B mg/dm3</b>	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,7	1,2	0,4
<b>Zn mg/dm3</b>	0,8	0,7	0,5	0,8	17,5	2,1	0,8	11,6	6,4	3	7,3	31	9,9
<b>Fe mg/dm3</b>	47,6	32,2	98	76,3	58,1	84,9	76,3	37,5	85,5	14,9	15,5	37,4	56,7
<b>Mn mg/dm3</b>	7,5	4,6	9,4	3,3	12,7	9,3	3,3	16,1	31,5	12,2	14,2	33,8	13,5
<b>Cu mg/dm3</b>	0,5	0,4	0,8	0,1	1,7	1	0,1	1,2	0,5	0,8	0,9	2,4	0,6

Area 1: (SAF 1T, SAF 1 (jan/2017) e SAF 1<sup>+</sup> (out/2017)). Area 2: (SAF 2T, SAF 2 (jan/2017) e SAF 2<sup>+</sup> (out/2017)). Area 3: (SAF 3T, SAF 3 (jan/2017) e SAF 3<sup>+</sup> (out/2017)). Area 4: (SAF 4 (jan/2017) e SAF 4<sup>+</sup> ((out/2017) e Saf 3 5).

Verificou-se após as análises que o pH do solo foi superior nas áreas onde os sistemas florestais haviam sido implantadas, quando comparados às respectivas testemunhas, sugerindo que a adoção da agrofloresta promoveu aumento do pH, em especial nos três SAFs que haviam sido adubados com os remineralizadores. Percebeu-se que houve uma pequena acidificação nos valores entre as análises de janeiro e outubro. Uma das possíveis explicações para esse fato pode estar relacionada com a maior disponibilidade da matéria orgânica do solo, uma vez que se constatou um acréscimo no teor de M.O. Porém, essa diferenciação (decréscimo do valor) ocorrida no período estudado não ocasionou a mudança de categoria de acidez. O pH do solo no SAF 1 (sítio Pinheiro) variou entre 5,0 na testemunha e 5,8 na área sob SAF. No SAF 2 (sítio Raiz) verificou-se uma variação de 5,1, na parcela testemunha para 6,1 na área de agrofloresta, o que foi praticamente idêntico ao que ocorreu no SAF 3 (sítio Semente), que foi de 5,1 (testemunha) e 6,0 (na área reflorestada com agrofloresta). No âmbito do SAF 4 verificou-se que a variação foi de 6,4, na parcela testemunha e 6,6 na área comparada (Figura 30).

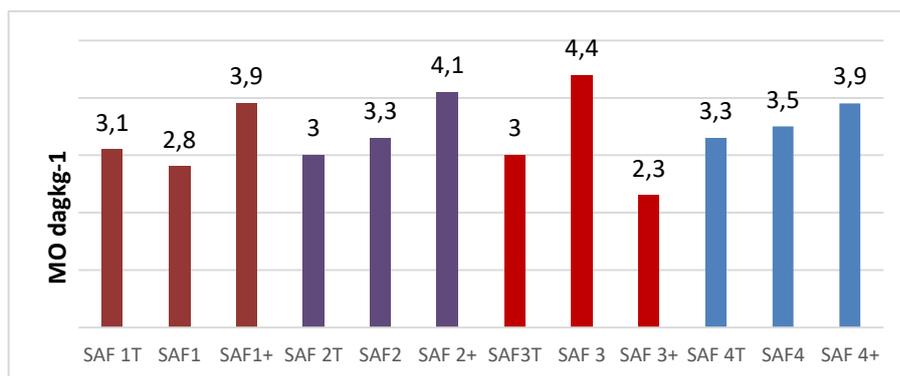
Adicionalmente, constatou-se elevação nos teores de MO nas áreas de SAFs os maiores valores na análise de janeiro, porém apresentaram teores inferiores ao controle nos SAFs 2 e 3 nas amostras de outubro (Figura 31). Solos com elevado teor de MO são capazes de sustentar maiores produtividades (MARIN, 2002). Os valores nos SAFS analisados variaram entre 2,3 e 4,4 dag/kg. Com excessão do SAF1, as demais áreas estudadas mostraram valores superiores nas análises de janeiro, quando comparadas às áreas testemunhas. Os resultados dos SAFs 2 e 3 na análise de outubro mostrou redução da disponibilidade de alguns nutrientes/indicadores, o que pode estar relacionado ao manejo em tempos de seca.

**Figura 30** – Análise temporal dos valores de pH (em água) do solo nos quatro SAFs



Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

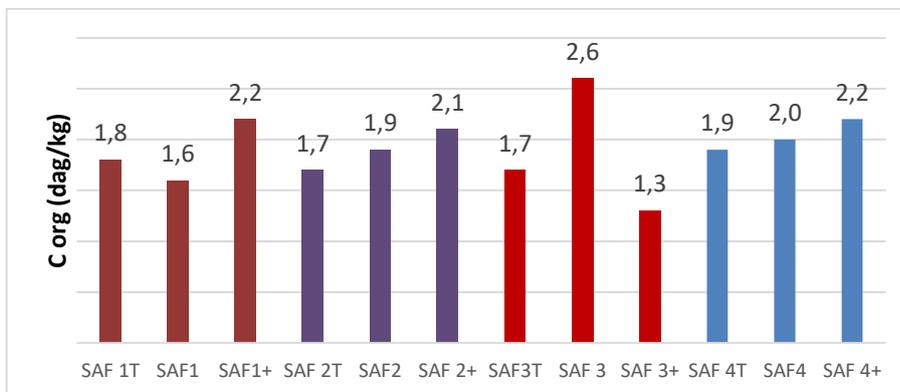
**Figura 31** – Análise temporal dos valores de MO (áreas de SAFs - dag/kg)



Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

Na análise, os valores de C orgânico dos SAFs variaram entre 1,3 e 2,6, tendo os dois limites dentro de um mesmo sistema (Figura 32) e os maiores valores atribuídos as áreas sob SAFs. Os resultados observados em relação aos teores de carbono orgânico estão relacionados com a matéria orgânica e com os teores de nutrientes, o que possibilita uma ciclagem de nutrientes eficiente e disponibilidade na solução do solo.

**Figura 32** – Análise temporal dos valores de C. org. (dag/kg)



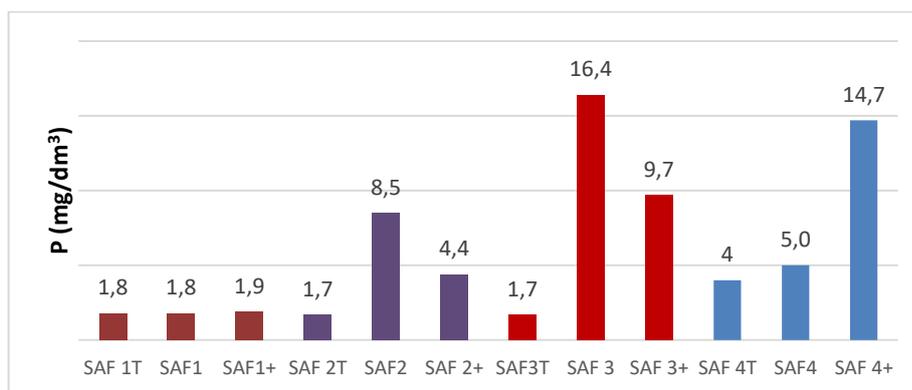
Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

A partir das análises de fertilidade, também foi possível averiguar que ocorria, recorrentemente, uma baixa disponibilidade de P nos solos, quando se compara as áreas ocupadas pelos sistemas agroflorestais com as áreas testemunhas. Os dados revelaram que o manejo proporcionou um aumento do teor de P no solo, especialmente nos SAFs 2, 3 e 4 (Figura 33).

O SAF 1, que apresentou os menores níveis do nutriente ( $1,9 \text{ mg/dm}^3$ ) deve, provavelmente, estar relacionado a não aplicação de remineralizador no momento da instalação do plantio, bem como à intensidade de manejo de biomassa. Os teores mais

elevados deste nutriente nos SAF 2 (8,5 mg/dm<sup>3</sup>) e SAF 3 (16,4 mg/dm<sup>3</sup>), onde foi utilizado o pó de rocha Remix, derivado de um xisto carbonático, presumivelmente contribuiu para esta elevação. O SAF 4, que utilizou o remineralizador denominado MB4 (mistura de duas rochas – biotita-xisto e serpentinito na proporção de 1:1) apresentou o teor de P= 14,7 mg/dm<sup>3</sup>. Nesse sistema, para além do remineralizador MB-4, realiza-se a incorporação de biomassa de forma mecanizada aumentando a eficiência da ciclagem de nutrientes.

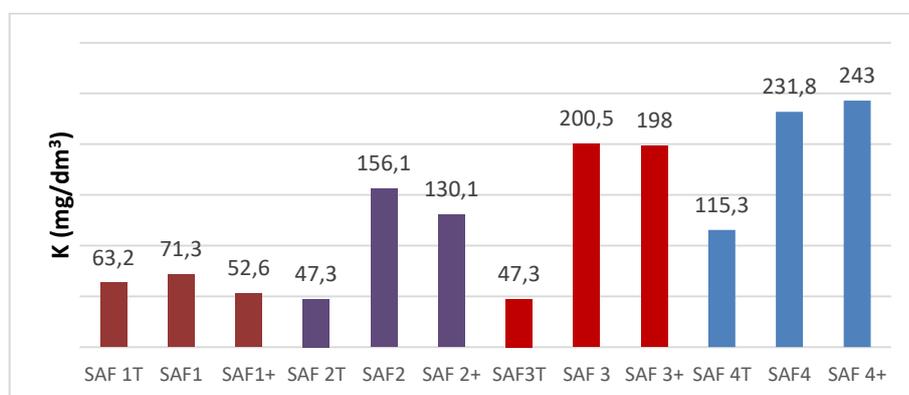
**Figura 33** – Análise temporal da variação da concentração de P (mg/dm<sup>3</sup>) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas



Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

Da mesma forma, a presença mais expressiva de K ocorreu nos SAF 2, SAF 3 e SAF 4 (Figura 34) nas áreas sob manejo agroflorestal em relação às testemunhas. De outro lado, o SAF 1 apresentou as menores concentrações desse nutriente, devido, provavelmente a não aplicação de pó de rocha, o que reduz a oferta desse nutriente no solo, ainda que sob manejo agroflorestal.

**Figura 34** – Análise temporal da variação da concentração de K (mg/dm<sup>3</sup>) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas

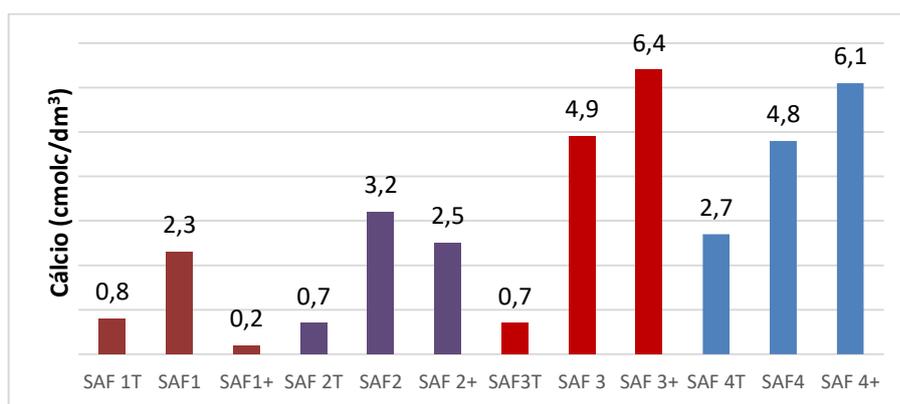


Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

As quatro áreas pesquisadas aplicaram calcário no momento de sua implantação e apenas o SAF 1 não utilizou remineralizador. Não por acaso, observou-se que justamente nessa área ocorrem os menores índices dos nutrientes Ca e Mg nos dois períodos analisados (Figuras 35 e 36). Porém, as áreas sob SAFs apresentaram os maiores índices dos nutrientes. A razão Ca/Mg solúvel não deve passar a proporção de 5 para 4, o excesso de Ca prejudica a absorção de Mg, que influencia no metabolismo das plantas em geral, facilitando a absorção do P e no metabolismo do K (TIBAU, 1983).

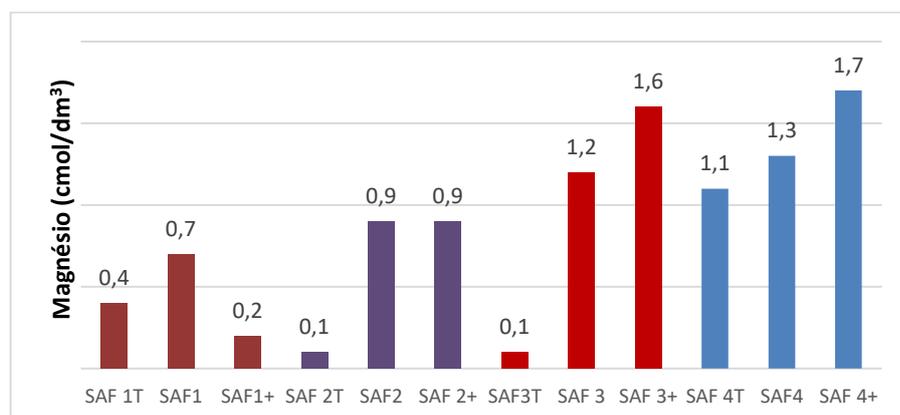
A disponibilidade de cálcio, e, provavelmente de magnésio, tem influência na menor lixiviação de potássio, pois, em geral, quando o pH do solo é aumentado (e, conseqüentemente, o Ca e o Mg), diminuem-se as perdas de potássio (THEODORO, 2000). Os teores de K, Ca e Mg foram mais elevados nos solos sob SAF associado à rochagem (SAFs 2, 3 e 4).

**Figura 35** – Análise temporal da variação da concentração de Cálcio (cmol/dm<sup>3</sup>) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas



Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

**Figura 36** – Análise temporal da variação da concentração de Magnésio (cmol/dm<sup>3</sup>) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas

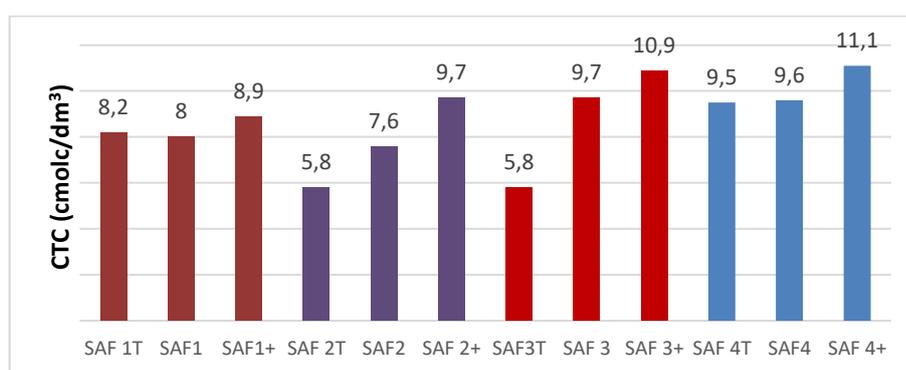


Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

De acordo com Ronquim (2010), a capacidade de troca de cátions (CTC) dos colóides dos solos sob condições tropicais depende dos argilominerais, das substâncias húmicas e dos óxidos de ferro e alumínio que possuem determinada superfície de troca. Em razão do maior número de cargas negativas do que positivas desses colóides, a adsorção é principalmente de cátions ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^{+}$ ). Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions, pode-se dizer que esse é um solo adequado para a nutrição das plantas. Por outro lado, se está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como  $\text{H}^{+}$  e  $\text{Al}^{+3}$  este será um solo pobre. Um valor alto de CTC indica que o solo tem grande capacidade para reter cátions em forma trocável. Do contrário, quanto menor a CTC de um solo, maior é a sua possibilidade de carência nutricional (PRIMAVESI, 1999).

As análises de fertilidade dessa pesquisa apresentaram os valores de CTC entre 5,8 e 9,6 nas áreas controle e entre 7,6 e 11,1 para as áreas sob SAF (Figura 37). A eficiência nas reações de troca de cargas nos sistemas sob SAF's deve estar relacionada a dois fatores, a saber: (a) oferta dessas nutrientes, ampliada pela fonte extra, via remineralizador e (ii) presença de matéria orgânica que influencia a reatividade e ciclagem dos nutrientes (derivada serrapilheira composta pela poda das árvores). Esses dois fatores podem estar atuando em conjunto para a ampliação da ciclagem dos nutrientes (ALTIERI, 2002).

**Figura 37** – CTC ( $\text{cmol}/\text{dm}^3$ ) nas quatro áreas comparando-se às suas testemunhas



Amostras: Testemunha, SAF em janeiro, SAF em outubro (+)

Ainda que nem sempre sejam considerados importantes, os micronutrientes são elementos requeridos em pequenas quantidades, porém são essenciais ao desenvolvimento normal da planta. De acordo com Primavesi (1999) são biocatalizadores responsáveis pela síntese das substâncias vegetais funcionam como ativadores de enzimas que orientam o substrato para as reações químicas, economizando energia. Plantas com acesso restrito aos micronutrientes podem crescer de forma deficiente e em ritmo retardado, gerando, no

extremo, produção insignificante.

Entre os vários micronutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas, destaca-se o Zinco (Zn), que é fundamental para a metabolização em geral. Quando ausente ou indisponível tende a causar o acúmulo de outros nutrientes sem a formação de substâncias orgânicas, podendo causar a toxidez ao P. O Boro (B), igualmente relevante, tem como uma de suas principais funções agilizar o transporte dos carboidratos da folha para a raiz, influenciando no poder de absorção das mesmas. O Cobre (Cu) é valoroso para o bom desempenho das plantas e sua ausência pode causar a diminuição da absorção de nitrogênio (N), o que tende a acarretar excesso do último, impedindo a produção de semente, no caso dos tubérculos. O manganês (Mn), juntamente com o Zn e o B agem na respiração e transpiração vegetal (PRIMAVESI, 1999). O Ferro (Fe) é parte integrante da clorofila e, de acordo com Ronquim (2010), no solo apresenta-se como óxido de ferro que são coloides responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC). A assimilação relaciona-se com a presença do P e K e é prejudicada com o excesso de Ca, Mg, Zn, Co, Cu e P (TIBAU, 1983).

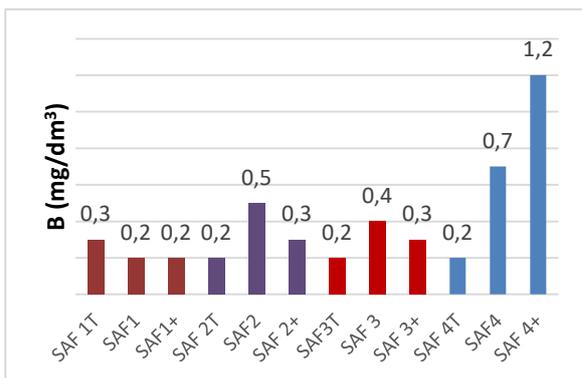
Possivelmente, conforme argumenta Theodoro (2000), o fato do potássio, do fósforo, do cálcio e do magnésio estarem disponíveis em quantidades mais significativas devido à aplicação de remineralizadores, (e ainda que eles sejam de baixa solubilidade, porque proveem de rocha triturada), eles são disponibilizados na quantidade adequada para uma pronta assimilação pelas plantas, na medida de sua necessidade. O mesmo pode ter ocorrido em relação aos teores de micronutrientes, o que pode ter potencializado o crescimento das espécies. A partir dos resultados das análises (Tabela 6), pode-se verificar que os teores de micronutrientes aumentaram nos SAFs com aplicação de pó de rocha (Figuras 38 a 42). Isto demonstra que o produto foi eficiente como fornecedor de múltiplos nutrientes para as plantas. Este fato implica na melhoria no ambiente radicular das plantas, devido à redução de acidez e ao acréscimo de nutrientes essenciais.

Todas as áreas sob manejo com SAFs apresentaram melhorias nos aspectos químicos do solo quando comparados com as áreas testemunhas sem manejo agrícola. Tais resultados indicam fortemente que ocorreram reais benefícios em solos sob o manejo agroecológico e, em especial, quando são acrescentadas fontes minerais derivadas dos remineralizadores, uma vez que foi justamente nas áreas de SAF com este tipo de insumo que foram detectados os maiores teores de macro e micronutrientes, além do aumento de outros atributos químicos como o pH e a CTC.

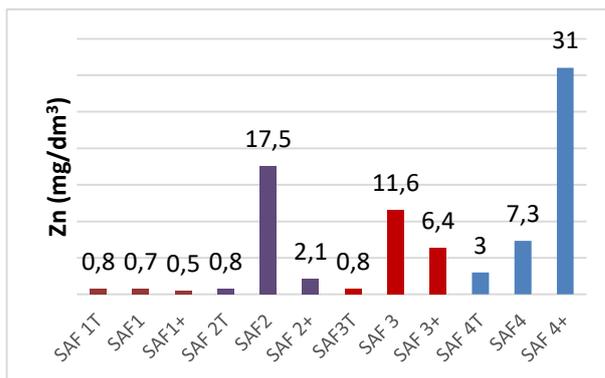
O SAF 4 apresentou um padrão crescente no enriquecimento (ou disponibilidade) de nutrientes ao longo dos anos. Esse fato pode estar associado a alguns fatores, tais como

manejo, espaçamento e ao tipo de remineralizador utilizado. A gleba analisada é constantemente enriquecida com palhada de espécies adubadeiras, tais como leucena, guandu, amora, margaridão, e capins braquiaria e mombaça resultante dos consórcios com as frutíferas. Faz-se frequentemente o manejo de capina mecanizado o que pode contribuir para o incremento de nutrientes no solo.

**Figura 38 – Teor de B (mg/dm<sup>3</sup>)**

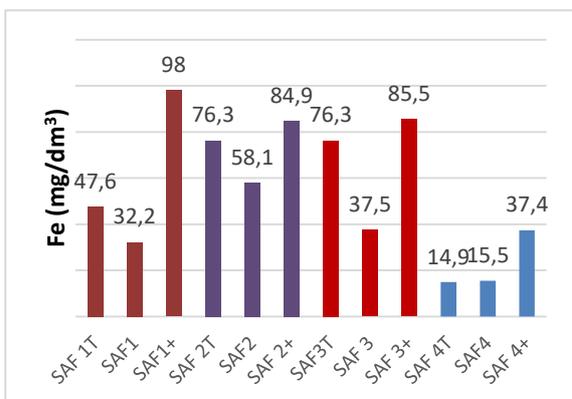


**Figura 39 – Teor de Zn (mg/dm<sup>3</sup>)**

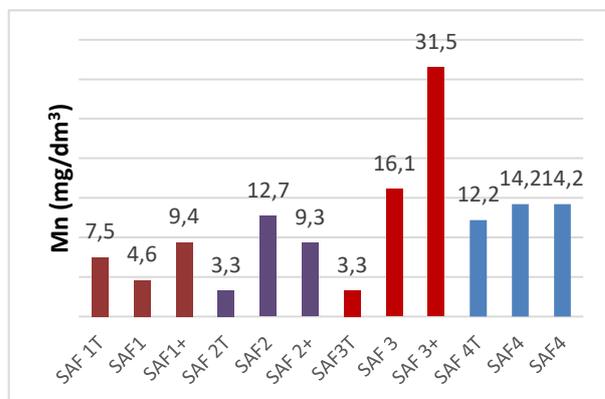


Amostras: Test., SAF jan, SAF out

**Figura 40 – Teor de Fe (mg/dm<sup>3</sup>)**

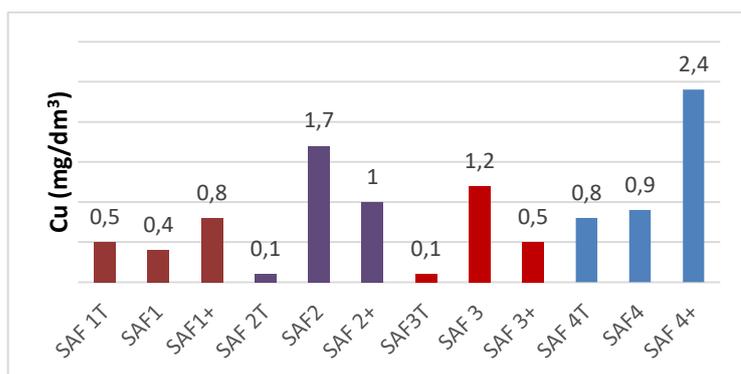


**Figura 41 – Teor de Mn (mg/dm<sup>3</sup>)**



Amostras: Testemunhas, SAF jan, SAF out

**Figura 42 – Teor de Cu (mg/dm<sup>3</sup>)**



Amostras: Testemunhas, SAF jan, SAF out

Do ponto de vista estritamente estatístico, conforme preconizado pelo paradigma agrônomo convencional, o tipo de comparação apresentado nos gráficos das figuras acima tem consistência limitada, uma vez que os dados não são tratados no formato de comparação de análises fatoriais, que apontam diferenças significativas entre os tratamentos (com ou sem o uso de remineralizadores e suas testemunhas). Ainda que esta forma de análise seja menos adequada, segundo essa visão da ciência, ela é capaz de mostrar que houve efetivamente diferenças marcantes entre as áreas, no que se refere aos atributos químicos do solo.

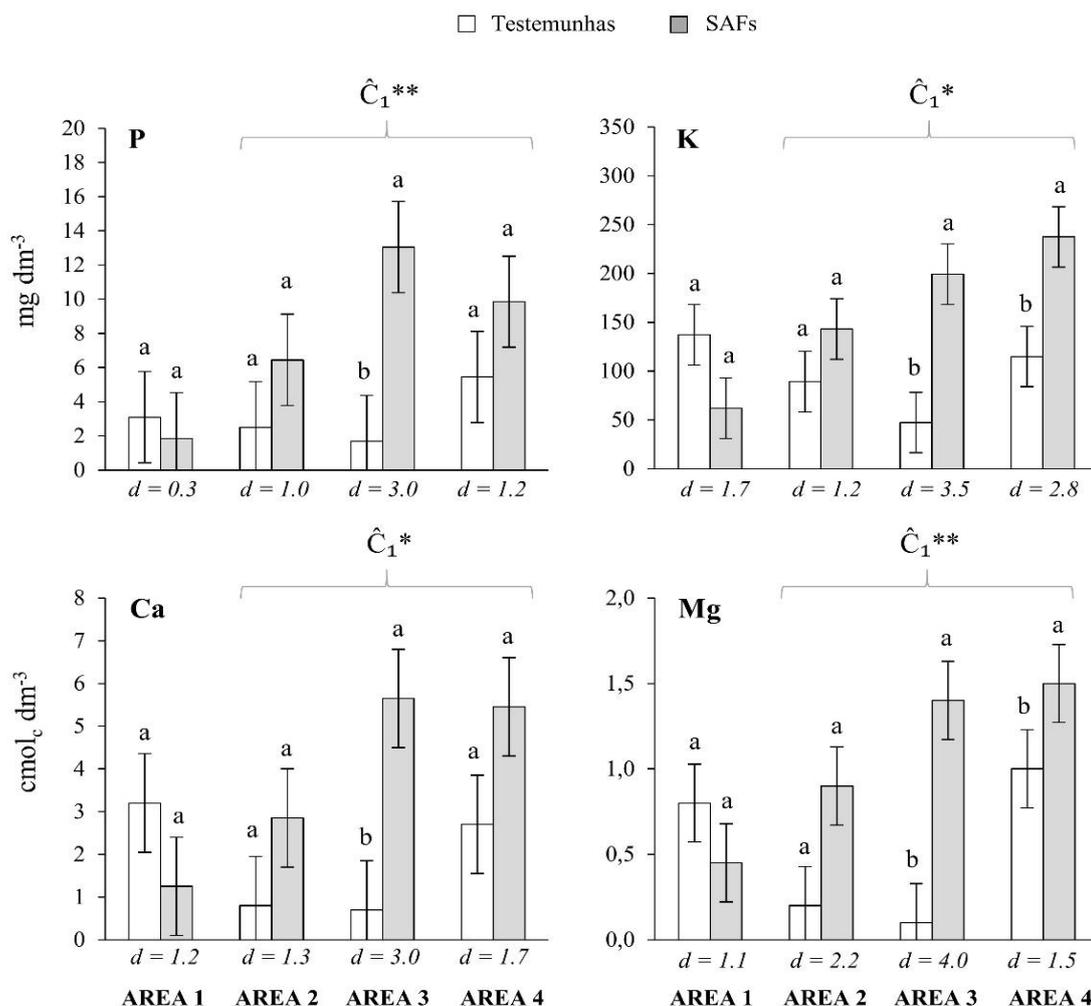
Porém, para atender a necessária visão formalista da ciência agrônoma, os dados foram tratados estatisticamente segundo um padrão (modelo) submetidos à análise de procedimento não-paramétrico “ANOVA on Ranks” (Conover, 2012), bem como a uma análise multivariada por função Desirability (sem atribuição de pesos ou limites para os parâmetros) para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas isoladamente. As médias foram comparadas entre si pelo teste “Tukey on Ranks” a 5 e 10 % de probabilidade de erro. Um contraste complexo foi adicionado às comparações de interesse ( $\hat{C}_1$ : SAFs com remineralizadores vs Testemunhas) e testado pelo teste t a 1 (\*\*) ou 5 (\*) % de probabilidade. A medida de Effect Size “d Cohen” foi calculada para algumas comparações de interesse (SAF vs testemunha dentro de cada área). Magnitudes de efeito “d Cohen” maiores que 0,8 foram considerados como “high effect” (Cohen, 1988). Os dados considerados são os mesmos da Tabela 6 e são reapresentados, após tratamento na Tabela 7.

**Tabela 7** – Valores de F das ANOVAs on Ranks para os efeitos dos manejos e das áreas de amostragem para os parâmetros de solo avaliados. Valores seguidos de \*\*, \*, <sup>0</sup>, ~ indicam significância aos níveis de 1, 5, 10 ou 25 % de probabilidade de erro ou não significativos (<sup>Ns</sup>).

<b>Disponibilidade de macronutrientes no solo</b>					
Preditores	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K (mg dm <sup>-3</sup> )	S (mg dm <sup>-3</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
Áreas	2,50 <sup>Ns</sup>	1,99 <sup>Ns</sup>	1,11 <sup>Ns</sup>	1,25 <sup>Ns</sup>	3,86 <sup>Ns</sup>
Manejos	9,89*	6,54*	10,57*	3,97 <sup>Ns</sup>	10,28*
Interação	4,20 <sup>0</sup>	4,06 <sup>0</sup>	2,05~	3,29 <sup>0</sup>	5,03*
<b>Disponibilidade de micronutrientes no solo (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
Preditores	Boro	Zinco	Ferro	Cobre	Manganês
Áreas	1,07 <sup>Ns</sup>	1,16 <sup>Ns</sup>	3,84 <sup>Ns</sup>	1,03 <sup>Ns</sup>	1,04 <sup>Ns</sup>
Manejos	15,48**	1,22 <sup>Ns</sup>	0,20 <sup>Ns</sup>	1,92 <sup>Ns</sup>	0,88 <sup>Ns</sup>
Interação	15,15**	2,56~	0,45 <sup>Ns</sup>	1,37 <sup>Ns</sup>	2,02~
<b>Outros parâmetros químicos do solo</b>					
Preditores	pH (CaCl <sub>2</sub> )	H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	M.O. (dag kg <sup>-1</sup> )	V (%)
Áreas	4,45 <sup>Ns</sup>	1,36 <sup>Ns</sup>	0,96 <sup>Ns</sup>	0,17 <sup>Ns</sup>	1,61 <sup>Ns</sup>
Manejos	8,27*	4,01 <sup>Ns</sup>	1,22 <sup>Ns</sup>	0,30 <sup>Ns</sup>	4,97 <sup>Ns</sup>
Interação	1,97~	0,97 <sup>Ns</sup>	1,40 <sup>Ns</sup>	0,15 <sup>Ns</sup>	2,19~

Os valores de F da ANOVA on *Ranks* indicaram diferenças significativas entre os manejos comparados (“SAFs” e “testemunha”), mas estas diferenças ocorrem de forma variável para cada uma das áreas estudadas (Figuras 43, 44, 45).

**Figura 43** – Disponibilidade de P (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) no solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo.

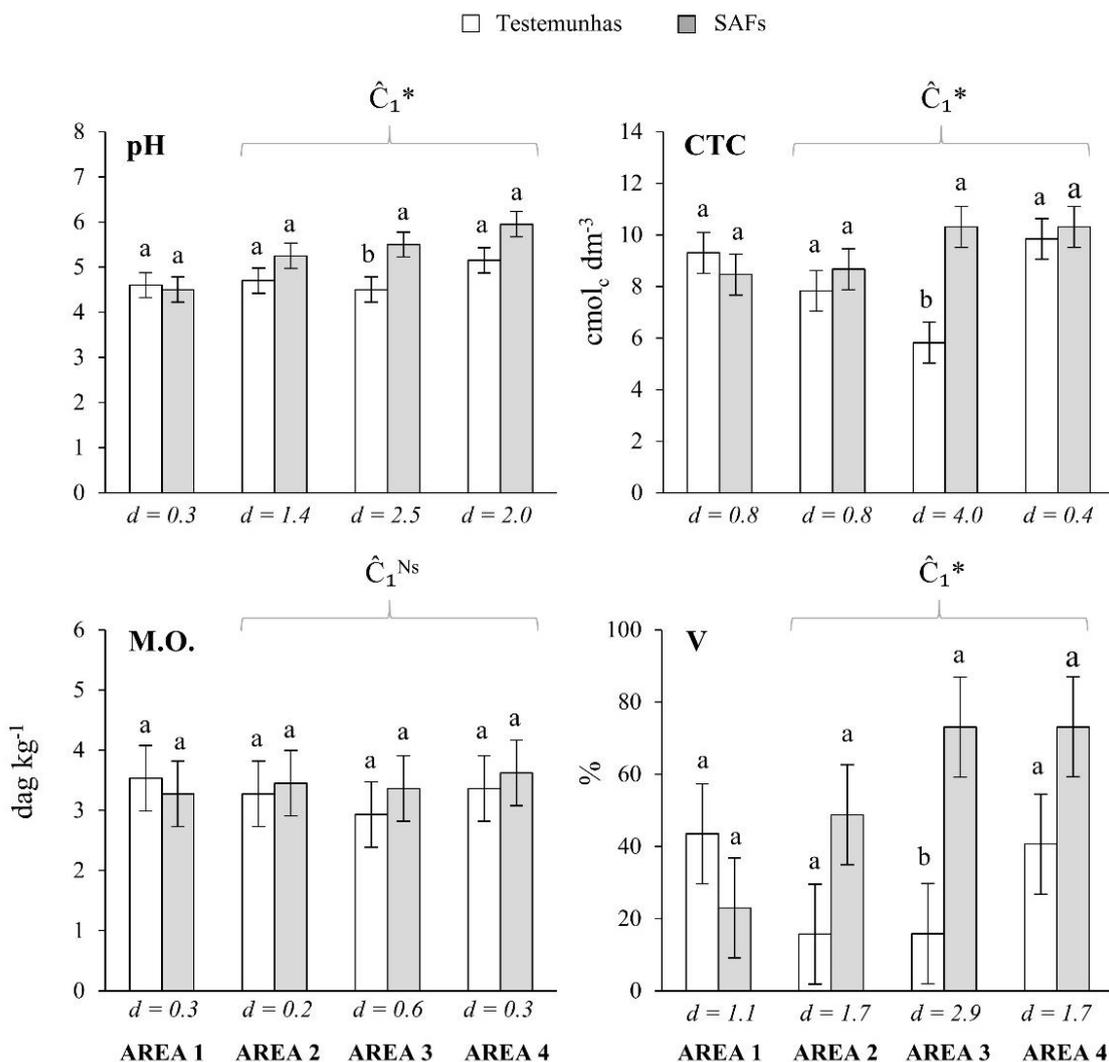


Área 1: SAF sem remineralizador. Áreas 2, 3 e 4: SAFs remineralizadores. Valores correspondentes à média de duas amostragens em épocas diferentes em cada área. Médias ( $\pm$  erro padrão do estudo) seguidas por uma mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste “Tukey on ranks” a 5 % de probabilidade de erro.  $\hat{C}_1$ : SAFs com remineralizadores vs Testemunhas. Effect Size de Cohen (d) para as variáveis na escala não transformada.

No que se refere ao Mg, a diferença que aparece na área 4 (de magnitude 1.5) parece ser incoerente com a diferença que não aparece na área 2 (de magnitude 2.2 na escala mostrada). Isso pq o teste de Tukey foi aplicado na escala de postos (ou ranks, como toda análise não-paramétrica). Mesmo onde as diferenças não aparecem é possível usar o d de Cohen para inferir se as diferenças são grandes ( $d > 0.8$ ) ou não. Quando uma diferença entre

médias é grande, mas não é estatisticamente significativa, há um forte indicativo de que ou o erro experimental foi muito alto ou o n foi muito pequeno, sugerindo não que a hipótese esteja refutada mas que ela continua em aberto.

**Figura 44** – Acidez ativa (pH em CaCl<sub>2</sub>), CTC potencial, matéria orgânica (M.O.) e saturação de bases (V) no solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo

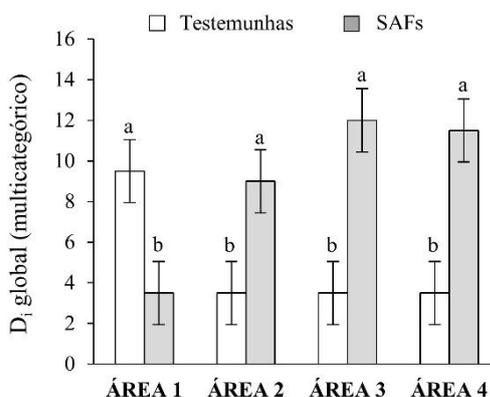


Área 1: SAF com calcário. Áreas 2, 3 e 4: SAFs com calcário e remineralizadores. Valores correspondentes à média de duas amostragens em épocas diferentes em cada área. Médias ( $\pm$  erro padrão do estudo) seguidas por uma mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste “Tukey on ranks” a 5 % de probabilidade de erro.  $\hat{C}_1$ : SAFs com remineralizadores vs Testemunhas. Effect Size de Cohen (d).

Considerando o efeito conjunto das principais variáveis afetadas pelos preditores em estudo, os SAFs que haviam utilizado algum tipo de remineralizador afetaram positivamente a qualidade química do solo. O SAF 1, que não utilizou remineralizadores, apresentou o efeito

inverso (Figura 45).

**Figura 45** – Postos do índice global Desirability dos parâmetros P, K, S, Ca, Mg, B, Mn e pH do solo em função dos manejos “SAFs” ou “Testemunhas” em quatro áreas de estudo



Área 1: SAF com calcário. Áreas 2, 3 e 4: SAFs com calcário e remineralizadores. Valores correspondentes à média de duas amostragens em épocas diferentes em cada área. Médias ( $\pm$  erro padrão do estudo) seguidas por uma mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste “Tukey on ranks” a 10 % de probabilidade de erro.

#### 4.2 – Análise de crescimento das plantas

Conforme mencionado anteriormente, os dados de crescimento vegetal foram coletados durante 10 meses (quatro medições), onde foi considerada a circunferência (diâmetro) do tronco a altura do peito (DAP) de 10 indivíduos, de três espécies em cada SAF. Para análise estatística utilizou os dados da média dos DAPs das plantas de abacate (Tabela 8) por ser a espécie presente nos quatro sistemas. As análises estatísticas dos dados de crescimento vegetal foram realizadas utilizando-se a planilha eletrônica do programa de Análise de Variância (Anova e Teste Tukey do Microsoft Office Excel).

**Tabela 8** - Média dos DAPs do abacate nas quatro medições (jan, abr, jul e out/2017)

	SAF 1	SAF 2	SAF 3	SAF 4
DAP 1	13,30532	2,928444	7,225618	4,965623
DAP 2	14,96053	3,883372	8,562516	5,729565
DAP 3	15,21518	4,424497	9,230965	6,238859
DAP 4	15,27884	5,029284	9,676598	6,334352

O desenvolvimento dos DAPs relativos aos indivíduos de abacate estudados nas glebas sem pó de rocha, com Remix e com MB-4 analisadas isoladamente não apresentaram diferenças estatísticas significativas quanto ao crescimento do DAP entre janeiro e outubro de 2017 (valor  $p = 5,86$ ).

A partir dos resultados encontrados, que não mostraram significância nos testes de variância, procurou-se encontrar indicadores que mostrassem os resultados obtidos ao longo da pesquisa. Nesse sentido, e concordando com Miller (2009), é possível perceber que o paradigma da ciência agrônoma procura formalizar o saber a partir de experimentos validados por testes estatísticos. Porém, dificilmente uma diferença de 5% entre tratamentos vai convencer o pequeno agricultor a mudar suas práticas, pois esta diferença pode ser mascarada dentro da variabilidade natural do sistema agrícola. Nesse aspecto, o autor menciona que a estatística tem se tornado uma camisa de força, na medida em que obriga o pesquisador a utilizar determinadas metodologias de experimentação e observação na busca das diferenças significativas entre tratamentos podendo esconder alguns resultados. A estatística acaba perdendo sua função de ferramenta, como deveria ser, e passa a ditar as regras sobre a forma de como se deve conduzir a pesquisa.

Nesta mesma linha de pensamento, Casalinho (2004), sugere que é preciso resgatar as relações existentes entre solo-água-planta para inferir aspectos como a qualidade do solo utilizado para desenvolver a atividade agrícola. Ele corrobora com o entendimento de Miller ao abordar que aqueles que detêm o conhecimento científico devem perceber o quanto é necessário pensar de forma interdisciplinar o conjunto de variáveis relativas ao estudo do solo e como é fundamental juntar o conhecimento acadêmico formal com o empírico, acumulado pelos agricultores, para produzir um conhecimento mais integral e real, o qual esteja adequado à realidade do agricultor.

#### **4.2.1 As plantas (estrato arbóreo)**

As espécies selecionadas foram escolhidas aleatoriamente dentro de cada parcela, tentando-se compara-las nos quatro diferentes Sistemas, o que só foi possível com o abacate, porém esse fato não impossibilita a análise de cada espécie isoladamente. O café está presente no SAF 1, 2 e 3; o eucalipto nos SAFs 2 e 3; a jaca no SAF 1 e o baru e o jatobá no SAF 4. Elencou-se dez indivíduos dentro de cada Sistema agroflorestal, todos com três anos de implantação. A partir do monitoramento do DAP no período entre janeiro e outubro de 2017, foi possível notar que ocorreu um desenvolvimento das plantas, em diferentes proporções, a

dependem da área de SAF.

#### **4.2.2 Análise do crescimento das plantas**

Com o objetivo de acompanhar o desenvolvimento vegetal nos sistemas sob manejo agroecológico durante o período do estudo, os indivíduos foram monitorados por meio da medida da variável DAP, que além de já permitir a visualização do crescimento, foi utilizada posteriormente para a estimativa da biomassa, estoque de carbono e CO<sub>2</sub> sequestrado.

No que se refere ao abacate notou-se que a maior média em porcentagem de crescimento do DAP aconteceu no SAF 2, com crescimento de 71,74% do diâmetro do caule. O SAF 3 teve uma variação de 33,92% seguido pelo SAF 4 e SAF 1, com 27,56% e 14,83% de crescimento do DAP, respectivamente. O baru (SAF 4) cresceu 37,43%. O café desenvolveu-se melhor no SAF 3 (78,27%), seguido do SAF 2 e SAF 1- 50,38: 27,32%, respectivamente; e o eucalipto, presente nos SAFs 2 e 3 aumentou o DAP em 37,62% e 27,61%. A jaca (22,475) e o jatobá, 27,45%.

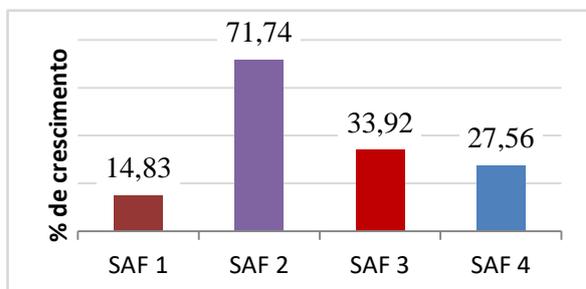
A amplitude entre o DAP de um SAF para o outro, ou mesmo dentro do mesmo SAF, pode estar relacionada às questões como qualidade do solo, tratamentos culturais, espécie vegetal, material genético, insolação, incidentes (como quebra no manejo da poda), além da época de plantio. Foi possível observar, que com exceção do café, que teve alguns indivíduos sem ganho de DAP, todas as demais espécies monitoradas apresentaram desenvolvimento positivo quanto ao crescimento. De outro lado, o barú, o abacate e o jatobá, que são espécies secundárias/clímax, já se esperava um crescimento mais lento que o eucalipto e a jaca. As figuras 46 a 49 mostram a média de crescimento de DAP em porcentagem (%) durante o período da pesquisa.

Geralmente espécies de árvores de início de sucessão secundária são heliófilas em todas as fases de desenvolvimento. Essas espécies possuem crescimento rápido e madeira mais leve, com ciclo de vida mais curto. Entretanto, a maioria das espécies não pioneiras, possuem um certo grau de tolerância à sombra no início de seu desenvolvimento e são heliófilas quando atingem pleno desenvolvimento, com exceção daquelas espécies típicas do dossel inferior e sub-bosque da floresta, que são tolerantes à sombra durante todo o seu ciclo de vida (Macêdo, 2008).

Dentre outros fatores, supõem-se que tais resultados podem estar relacionados à forma de manejo, bem como aos aspectos de instalação da cultura quanto ao uso dos remineralizadores REMIX e MB-4, ou no extremo oposto, sua ausência (SAF 1), uma vez que

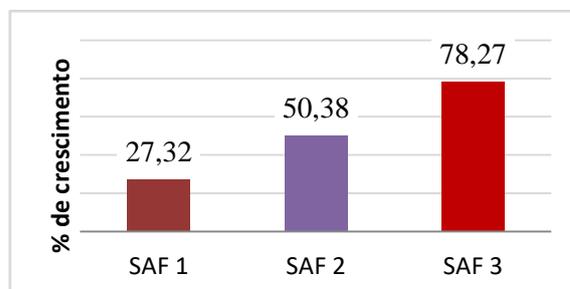
a partir da análise isolada desse resultado, pode-se sugerir que a ausência de fertilização mineral foi o principal fator de desempenho menos significativo verificado no SAF 1.

**Figura 46** – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) – Abacate.



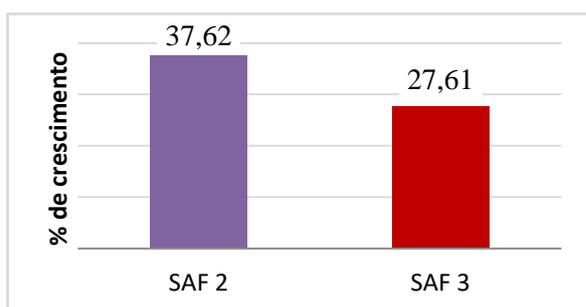
Abacate: Porcentagem de crescimento entre janeiro e outubro

**Figura 47** – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Café



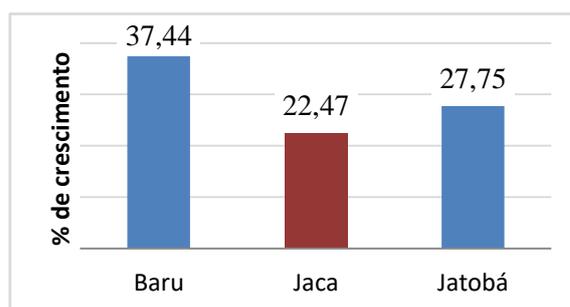
Café: Porcentagem de crescimento entre janeiro e outubro

**Figura 48** – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Eucalipto



Eucalipto: Porcentagem de crescimento entre janeiro e outubro

**Figura 49** – Média de crescimento de DAP em porcentagem (%) - Outras espécies



Outras espécies: Porcentagem de crescimento entre janeiro e outubro

Tal conclusão confirma os resultados obtidos em pesquisas anteriores que chegaram a semelhantes conclusões, como, por exemplo, Osterroht (2003) apud Castro Neto (2010), que afirma que a aplicação de pó de rocha em sistemas agroflorestais é suficiente para manter o bom aspecto das plantas e viabilizar a colheita de fruteiras por um período de 10 anos. Nesta mesma linha, Rocha (2006) que acompanhou a implantação e manejo de SAFs em um assentamento da reforma agrária ao longo de dois anos, concluiu que os agricultores que utilizaram remineralizador (kamafugitos) em suas áreas de produção perceberam o melhor desenvolvimento das plantas nas parcelas onde foi aplicado o fertilizante. Já Medeiros e Theodoro (2016), em trabalho de recuperação de área degradada com SAF, onde também foi utilizado pós de rocha (kamafugito e sedimentos retidos no reservatório de Três Marias)

concluíram que o tratamento que se mostrou mais eficiente para o crescimento e desenvolvimento das plantas (espécies nativas do cerrado) foi aquele que utilizou a mistura de sedimento e pó de rocha. Além disso, as autoras informam que, de modo geral, as plantas apresentavam mais massa verde e maior quantidade de indivíduos vivos após cinco anos de implantação da área.

Segundo Bezerra (2010), a aplicação do remineralizador MB-4, utilizado em cultivo de cana-de-açúcar, demonstrou a eficiência agrônômica com maior índice de área foliar e densidade populacional, possibilitando, também, a elevação dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e manganês. Theodoro (2000), apoiada em depoimentos feitos pelos agricultores (que consideraram positivos os ganhos de produtividade nas áreas com rochagem), concluiu ao longo das pesquisas no Assentamento de Fruta D'Anta e na Fazenda Malunga que a produtividade foi significativamente superior, especialmente quando se considera períodos de análise e produção de longo prazo. Ela ainda menciona que para além da produtividade, os custos econômicos da produção, que são decisivos para os agricultores, foram amplamente reduzidos quando comparados aos custos da adubação convencional (NPK). E concluiu afirmando que a utilização da técnica de Rochagem é seguramente mais vantajosa do que a adubação convencional, para culturas de ciclo médio e longo, bem como no que se refere aos ganhos ambientais.

A esse respeito, Santana e Bahia Filho (1998) sugerem que mudanças na qualidade do solo convertem-se em estratégias que facilitam o seu gerenciamento, bem como ampliam a sua conservação. No entanto, se a degradação da qualidade do solo está muito adiantada, será aconselhável que se realize um processo de planejamento para implementação de práticas de gestão que sejam ambientalmente adequadas e igualmente viáveis do ponto de vista econômico, uma vez que a qualidade do solo é inseparável da sustentabilidade, em todas as suas dimensões.

Vital (1996) apud Câmara et al. (2000) coloca que a entrada de nutrientes no ecossistema também se dá por processos naturais, tais como a chuva, deposição de poeira e aerossóis, por fixação microbiológica (acima e abaixo do solo) e por intemperização da rocha matriz. As perdas, por sua vez, ocorrem pelo carreamento superficial da água, pela lixiviação profunda, volatilização e pelo deflúvio. A exportação de biomassa, por outro lado, como é o caso da colheita, tende a aumentar significativamente estas perdas. O uso de pó de rocha no manejo agroflorestal preconiza a reposição nutricional por meio de manejo da biomassa, nutrientes e microrganismos para o desenvolvimento satisfatório e sadio dos cultivos, por períodos de tempo mais longos.

### 4.2.3 Carbono Sequestrado (CS)

Conforme Brown (1997), o Brasil é um dos principais acumuladores de carbono na biomassa, na América Latina, com cerca de 315 t.ha<sup>-1</sup>. Outros países de destaque são o Panamá, com 860 t.ha<sup>-1</sup> e a Guiana, com 504 t.ha<sup>-1</sup>. Importa destacar que a forma mais comum de sequestro de carbono é realizada pelas árvores, que demandam uma quantidade muito grande de carbono para se desenvolver e acabam tirando esse elemento do ar. Isso potencializa a diminuição da quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Apesar de inúmeros trabalhos que expõem resultados de biomassa de árvores vivas (BA), Estoque de Carbono (EC), e Carbono sequestrado (CS) em toneladas por hectare (t.ha<sup>-1</sup>) e como já mencionado anteriormente, essa pesquisa utilizou a unidade kg de EC por planta (kg.pl<sup>-1</sup>) para melhor visualização do serviço ambiental dessa pesquisa e afim de evitar extrapolações desnecessárias dos valores calculados.

O sequestro de carbono pela vegetação é importante no processo de fotossíntese e para a manutenção da atmosfera em condições adequadas à sobrevivência da espécie humana, uma vez que absorve os gases causadores do efeito estufa que podem estar contribuindo para o aquecimento global. A estimativa de biomassa florestal é relevante no planejamento do uso sustentável dos recursos naturais, assim como nas questões relacionadas às políticas sobre o clima, onde a biomassa é utilizada para estimar o estoque de carbono da vegetação e a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que é liberada para a atmosfera, devido à adoção de diferentes formas de uso da terra (BROWN, 1997).

Entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAF são aqueles que acumulam o maior ativo de biomassa, ficando atrás somente das florestas primárias e secundárias (MONTAGNINI e NAIR, 2004). No entanto, a quantidade de CO<sub>2</sub> que é absorvida da atmosfera com a prática agroflorestal ainda é pouco contabilizada para demonstrar a importância desses ecossistemas florestais no ciclo biogeoquímico do carbono.

Apesar de os SAFs representarem importante papel como sumidouros de carbono, esses sistemas não têm sido considerados nos programas de Pagamento de Serviços Ambientais (PSA) devido, dentre outras razões, à ausência de informação quantificada sobre seu potencial de armazenamento e fixação de carbono (ÁVILA et al., 2001). Cada sistema agroflorestal possui uma dinâmica fotossintética diferenciada devido às condições edafoclimáticas e em função do arranjo das espécies utilizadas na composição, formando assim classes distintas de estoque de carbono.

Baseando-se nessa premissa, a presente pesquisa realizou a estimativa de biomassa de

árvores vivas acumulada durante o período de janeiro a outubro/de 2017, a partir da equação alométrica sugerida por Arevalo, et al (2002) para diferentes sistemas de uso da terra ( $BA = 0,1184 * DAP^{2,53}$ ) para se chegar ao valor do carbono sequestrado (CS). Assim, o valor de CS médio observado entre janeiro e outubro para as espécies no SAF 1 foi: abacate 36,24 kg de  $CO_2$  por planta, café, 0,73  $kg/pl^{-1}$  e jaca, 71,79  $kg/pl^{-1}$ . No SAF 2: abacate 12,91 Kg de  $CO_2$  por planta, café, 0,83 Kg de  $CO_2$  por planta e eucalipto 99,43 kg de  $CO_2$  por planta. No SAF 3, abacate 36,24 Kg de  $CO_2$  por planta, café, 2,41 Kg de  $CO_2$  por planta e eucalipto 53,48 kg de  $CO_2$  por planta, e no SAF 4, abacate 15,24 de  $CO_2$  por planta, baru 31,15 de  $CO_2$  por planta, jatobá, 18,20 de  $CO_2$  por planta

Os valores médios de biomassa de árvores (BA), estoque de carbono (EC) e dióxido de carbono sequestrado (CS) observado no período entre janeiro a outubro, de 2017 nas três espécies estudadas estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** – Valores médios de BA, EC ( $kg\ pl^{-1}$ ) acumulados durante o período da pesquisa

SAFs	Espécies	BA ( $Kg\ pl^{-1}$ )	EC ( $Kg\ C\ pl^{-1}$ )	CS ( $Kg\ CO_2\ pl^{-1}$ )
SAF 1	Abacate	35,53	17,76	65,197
	Café	0,40	0,20	0,73
	Jaca	39,12	19,56	71,79
SAF 2	Abacate	7,03	3,515	12,91
	Café	0,45	0,22	0,83
	Eucalipto	54,18	27,09	99,43
SAF 3	Abacate	19,75	9,87	36,24
	Café	1,05	0,52	2,41
	Eucalipto	29,14	14,57	53,48
SAF 4	Abacate	8,31	4,15	15,24
	Baru	16,98	8,49	31,15
	Jatobá	9,92	4,96	18,20

Legenda: BA= Biomassa de árvores vivas; EC= Estoque de Carbono; CS= Carbono sequestrado

Rocha (2014), estudando o estoque de carbono em sistemas agroflorestais no norte de Minas Gerais, percebeu que os valores dos Sistemas Agroflorestais foram iguais aos valores encontrados nas áreas de vegetação nativa da região (transição cerrado-caatinga). Já Tuksamoto (2014) calculou o estoque de Carbono de eucalipto de três anos em SAF no valor de  $23,36\ t.ha^{-1}$ , o carbono sequestrado=  $85,53\ t.ha^{-1}$  para população inicial  $1600\ pl.ha^{-1}$ , o que

não difere grandemente dos valores encontrados na presente pesquisa, especialmente quando se considera a população de árvores pesquisadas.

### **4.3 As espécies (enquanto elementos do sistema)**

As espécies que compõem cada sistema agroflorestal são especialmente estratégicas porque apresentam características que melhoram as condições do solo, geram produtos e favorecem a disponibilidade de água, bem como potencializam a instalação de outras espécies. O ideal é que as espécies apresentem usos múltiplos, ou seja, que possam servir tanto para alimentação humana, quanto para alimentar animais, pasto apícola, produção de biomassa etc. (MICCOLIS, et al 2016).

A ocorrência de árvores de crescimento rápido nos SAFs, mesmo em número reduzido, eleva a estimativa de biomassa. Esse fato pode ser observado ao se comparar os resultados obtidos para as quatro diferentes áreas. Por exemplo, no SAF 4, apesar de melhores valores sobre os atributos químicos do solo, apresenta menor estimativa de CS em relação aos demais, demonstrando, de qualquer forma, o relevante papel dos SAF da região para fixar e acumular CO<sub>2</sub>, sendo uma alternativa de sustentabilidade ambiental.

As espécies analisadas nessa pesquisa são recomendadas para uso em sistemas para a região do Distrito Federal. As plantas de crescimento rápido são importantes, pois aceleram a produção de biomassa a ser incorporada no sistema, enquanto as árvores de crescimento lento são sumidouros constantes de CO<sub>2</sub> atmosférico por possuírem ciclos de crescimento de longo prazo, estendendo o processo de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>.

## **4.4 Análise adicional do sitio Semente**

### **4.4.2 Solo**

A análise temporal no sitio Semente deu-se a partir do acompanhamento das características do solo na área controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos. A Tabela 10 mostra o resultado das análises físicas do solo.

**Tabela 10** – Composição granulométrica (%) para amostras de solo de 0-20 cm

	SILTE	ARGILA	AREIA	CLASSE	TIPO*
<b>CONTROLE (T)</b>	25,4	40	34,6	Franco arg.	3
<b>SAF 3-anos</b>	30,6	40	29,4	Franco arg.	3
<b>SAF 5 anos</b>	27,8	41	31,2	Argiloso	3

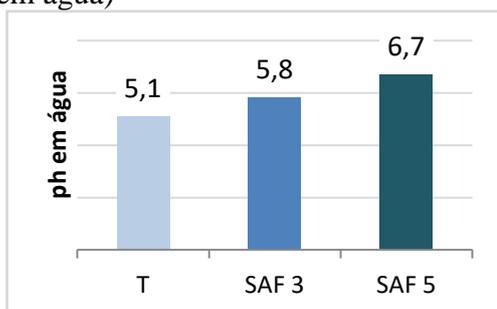
Tipo\*: conforme IN 02/09/10/2008- MAPA

Conforme pode ser verificado na tabela 12, após cinco anos houve uma ligeira alteração nas características físicas do solo (sua textura), que passou de franco argiloso para argiloso. Provavelmente este fato está relacionado à cobertura vegetal, ao manejo e à oferta de nutrientes e de matéria orgânica ao longo do tempo de manejo da área.

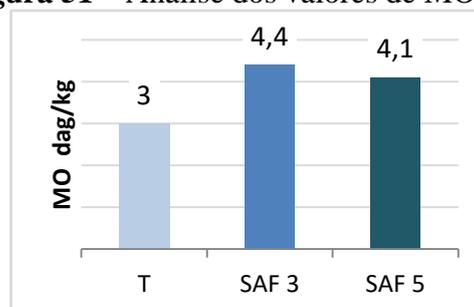
Da mesma forma, pode-se constatar que o valor do pH encontrado no SAF com cinco anos de implantação apresentou o valor mais elevado, que passou de fortemente ácido (5,1) para ligeiramente alcalino (6,7) o que já comprova a eficiência do manejo. A gleba com três anos teve variação no valor de pH de 5,1 na área testemunha e 5,8 no SAF. Talvez a oferta inicial de Ca e Mg para o solo, derivado do calcário e do calcoxisto (REMIX) tenham potencializado a concentração e permanência desses nutrientes no solo após cinco anos, conforme já abordado na literatura sobre calagem e rochagem. Os teores de MO e C estão maiores no SAF 3, porém a CTC apresentou-se mais elevada no SAF 5.

A partir da análise do teor de nutrientes entre os três momentos (T, SAF 3 e SAF 5), constatou-se maiores teores de P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu no SAF 3. O elemento Fe apresentou-se mais elevado no SAF 3/5 enquanto o B apresentou o mesmo teor nas áreas sob SAF (Figuras 50 a 62).

**Figura 50** – Análise dos valores de pH (em água)

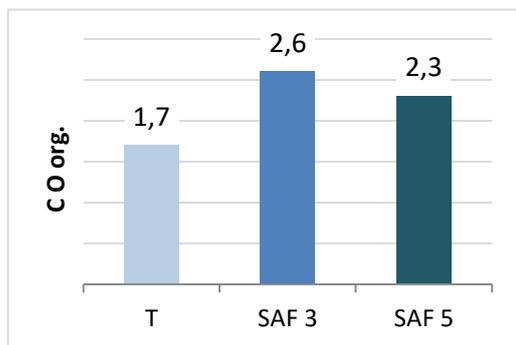


**Figura 51** – Análise dos valores de MO



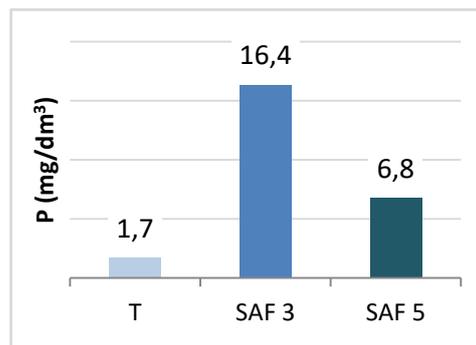
Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 52** – Análise dos valores de C. org. (dag/kg)

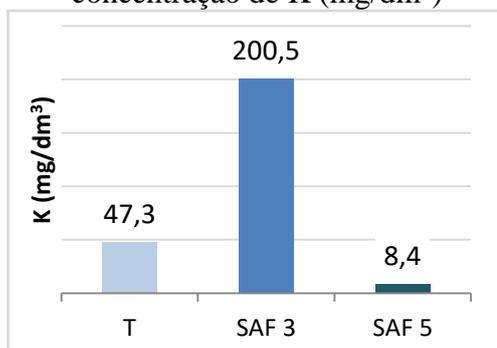


Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 53** – Análise da variação da concentração de P (mg/dm<sup>3</sup>)

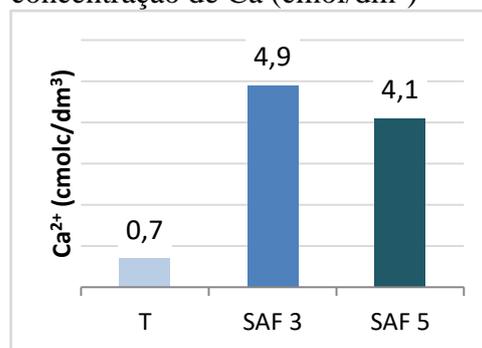


**Figura 54** – Análise da variação da concentração de K (mg/dm<sup>3</sup>)

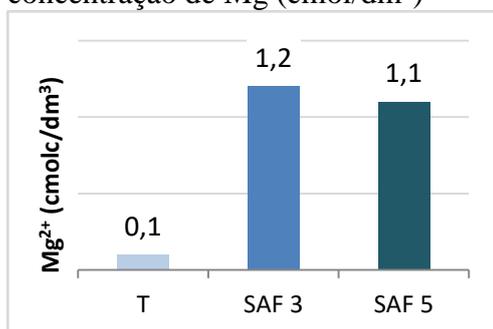


Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 55** – Análise da variação da concentração de Ca (cmol/dm<sup>3</sup>)

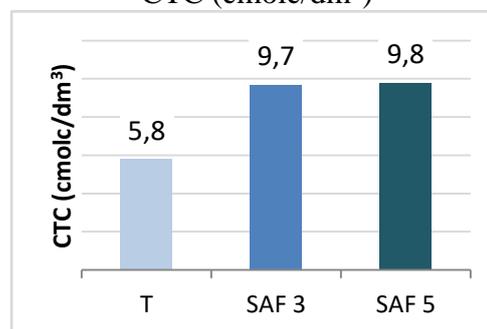


**Figura 56** – Análise da variação da concentração de Mg (cmol/dm<sup>3</sup>)

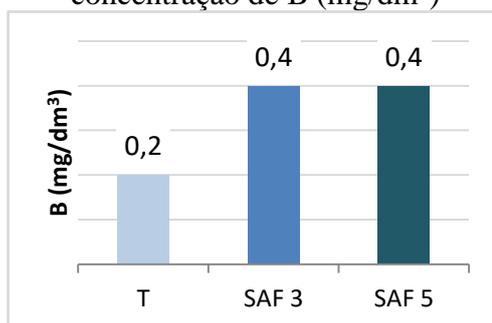


Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 57** – alteração dos valores de CTC (cmolc/dm<sup>3</sup>)

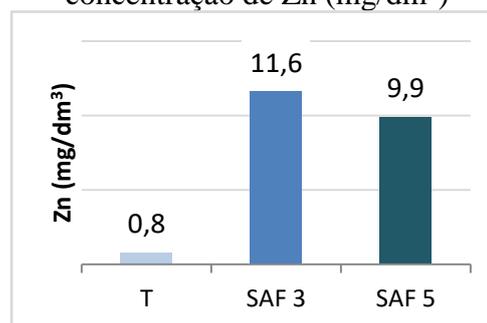


**Figura 58** – Análise da variação da concentração de B ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )

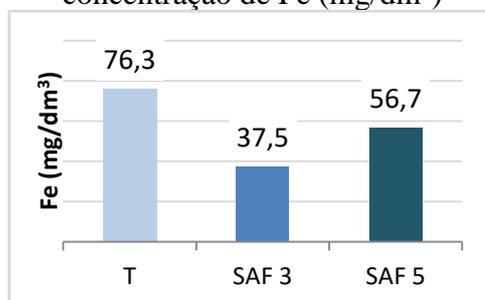


Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 59** – Análise da variação da concentração de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )

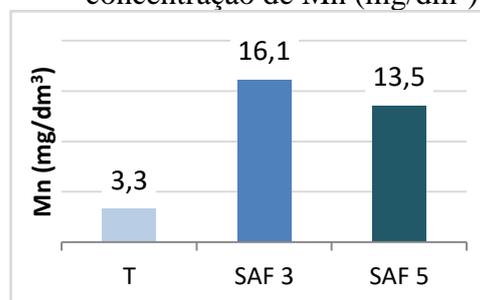


**Figura 60** – Análise da variação da concentração de Fe ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )

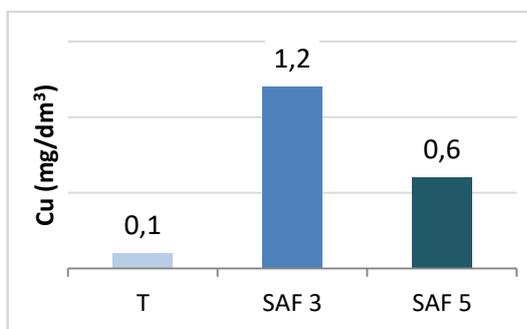


Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

**Figura 61** – Análise da variação da concentração de Mn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )



**Figura 62** – Análise da variação da concentração de Cu ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ )



Testemunha/Controle (T), SAF com 3 anos e SAF com 5 anos

Conclui-se que as características físicas e químicas do solo foram significativamente alterados. Os resultados obtidos a partir das duas formas de tratamento de dados mostram que praticamente todos os indicadores foram aumentados nas áreas sob manejo de SAF há três anos, quando comparados com à área Testemunha (Controle), o que corrobora com as sugestões de Leonardos et. al, (1999), os quais sugeriram a necessidade de reposição do fertilizante de rocha a cada cinco anos para a manutenção dos níveis de fertilidade e, conseqüentemente, de produtividade.

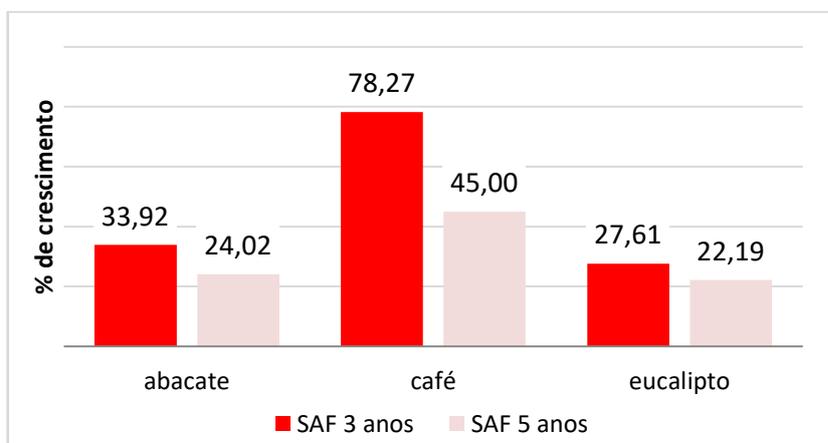
Conforme Silva, et al (2011), uma vez que existe exportação de nutrientes por meio da retirada dos frutos e grãos para comercialização, exaurindo as reservas naturais de nutrientes do solo, é importante que se faça a implementação de práticas corretivas e de adubação, com vistas ao suprimento do Sistema em níveis adequados, seja de forma orgânica ou mineral. Os resultados obtidos na pesquisa sugerem que essa verdade é parcialmente correta, porque o Sistema tende a se autonutrir, mas tem um desempenho mais expressivo quando em sua implantação ocorreu o aporte de nutrientes minerais.

Neste aspecto, Braga (2016) pondera que quando ocorre a correção do solo e as adubações de manutenção em SAFs está se levando em consideração as demandas particulares das diferentes culturas em um ambiente tão diverso quanto são aqueles dos SAFs. Adicionalmente, a fixação biológica de nitrogênio, as associações radiculares formando micorrizas proporcionam maior eficiência na absorção e uso dos nutrientes por unidade de biomassa produzida.

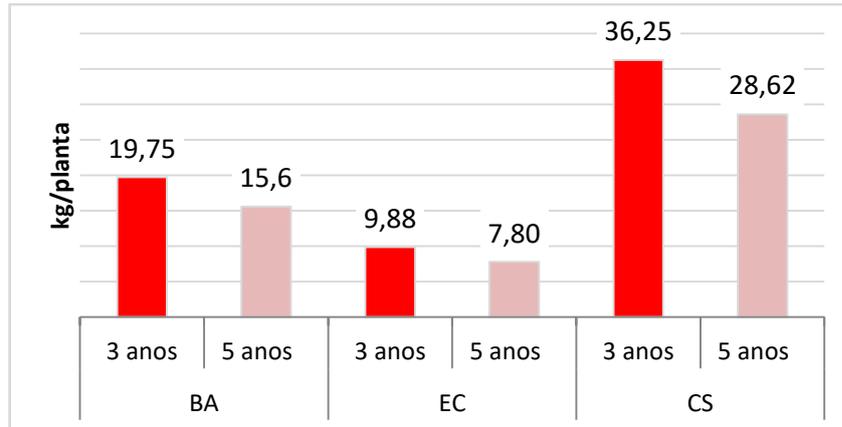
#### 4.4.3 Crescimento das plantas

Na análise do crescimento das plantas nas duas áreas de SAF monitoradas no sítio Semente (com 3 e 5 anos) verificou-se que a área com três anos obteve maiores taxas de crescimento no período comparado em relação à área de cinco anos (Figura 63). Conseqüentemente, isso também é observado para o volume de Biomassa, Estoque de Carbono e Carbono Sequestrado (Figuras 64, 65 e 66).

**Figura 63** – Porcentagem de crescimento médio das espécies (%)

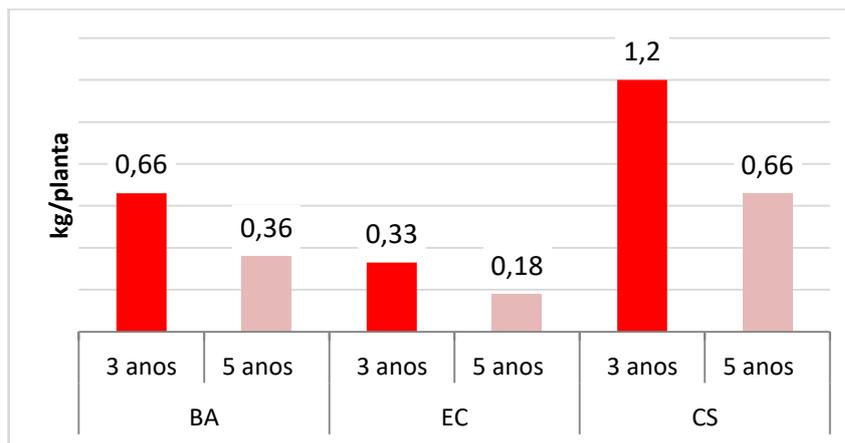


**Figura 64** – Desenvolvimento vegetal do Abacate para o período (kg/planta)



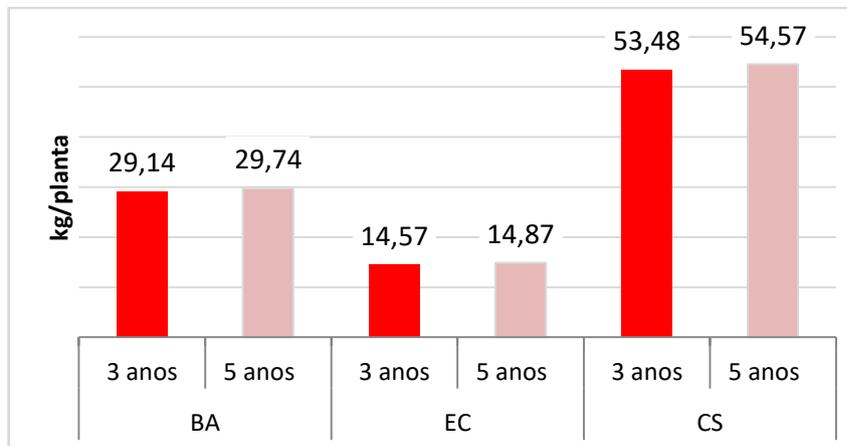
BA- Biomassa arbórea, EC- Estoque de carbono. e CS- Carbono sequestrado

**Figura 65** – Desenvolvimento vegetal do Café para o período (kg/planta)



BA- Biomassa arbórea, EC- Estoque de carbono. e CS- Carbono sequestrado

**Figura 66** – Desenvolvimento vegetal do Eucalipto para o período (kg/planta)



BA- Biomassa arbórea, EC- Estoque de carbono. e CS- Carbono sequestrado

Esses resultados sugerem que os plantios mais novos possuem taxas de crescimento maiores e também que o efeito da adubação de implantação tem um prazo de validade que se situa em torno de cinco anos, conforme já fora observado por Leonardos et. al (1999) e Theodoro et. al. (2013).

Desta forma, foi corroborada a ideia de que os Sistemas Agroflorestais associados à prática de rotação potencializam a fixação de carbono e, portanto, apresentam capacidade para melhorar a qualidade ambiental desde o nível do agricultor e até os efeitos das mudanças climáticas.

## CONCLUSÃO

A construção do conhecimento agroecológico baseada nas experiências dos agricultores experimentadores e nas atividades de formação contribui para o aprofundamento e o detalhamento das metodologias relacionadas ao desenvolvimento de caráter mais sustentável na região do Distrito Federal. Assim, mudanças na concepção das práticas agrícolas são o início de uma possível conversão e um avanço extremamente positivo no processo produtivo. A substituição do sistema de produção agrícola convencional por alternativas sustentáveis vem se tornando uma necessidade contemporânea.

O uso de modelos baseados na sucessão florestal, comuns em áreas de Sistemas Agroflorestais, e sua associação com os remineralizadores, permite que se pense na ampliação de um novo caminho ou rota tecnológica, onde seja possível combinar o uso mais adequado do solo, com vistas à garantia de produtividades compatíveis, à geração de renda e à recuperação de extensas áreas degradadas. Nesse aspecto, o uso de recursos disponíveis local/regionalmente (remineralizadores) para melhorar os níveis de fertilidade é um incremento importante, considerando que os adubos convencionais são, em grande parte, importados.

A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa foi possível constatar que os Sistemas Agroflorestais que utilizaram remineralizadores na sua implantação mostraram plantas com maiores taxas de crescimento, quando comparados com um Sistema que não fez uso deste tipo de adubação. Além disso, o emprego de técnicas de aporte de biomassa influenciou positivamente no desenvolvimento de todas as espécies. No entanto, é necessário advertir que as adubações de manutenção em SAFs devem levar em consideração a demanda das culturas em quantidade e qualidade, considerando vários fatores, tais como a ciclagem de nutrientes e a complementariedade relativa entre as plantas e árvores cultivadas ao longo do tempo.

Portanto, os resultados dão conta que é bastante factível que a prática agroflorestal associada à tecnologia da rochagem resulte na ampliação do desenvolvimento vegetal com reflexo na captura de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Foi possível concluir, a exemplo do que mencionou Wolf (2012), quando este conduziu uma pesquisa semelhante, que dentre os vários serviços ambientais gerados pelos SAFs (tais como a ciclagem de nutrientes, a formação de microclima, aumento da biodiversidade e a formação de biomassa, além do grande potencial para sequestro de carbono), eles têm potencial para serem elegíveis como projetos que visem à captação de créditos de carbono. Nesse sentido, o potencial de produção de biomassa gerado pelos

Sistemas Agroflorestais denota a sua grande contribuição para a formação de reservatórios que se comportam como sumidouros de CO<sub>2</sub> ou, no extremo, como mecanismo/prática que contribui diretamente com a mitigação dos efeitos causadores do efeito estufa.

Em se considerando essa realidade, a hipótese inicial dessa pesquisa foi comprovada, uma vez que os SAFs mostraram-se com um imenso potencial para contribuir na regulação climática global. Os resultados encontrados, relativos ao crescimento das espécies analisadas, somados aos valores médios de biomassa de árvores (BA), de estoque de carbono (EC) e de dióxido de carbono sequestrado (CS) confirmam este potencial. Ainda que se admita que os resultados obtidos na presente pesquisa derivem de uma série de fatores e sejam representativos de uma área restrita, é inegável que no seu conjunto eles sustentam a hipótese de que os Sistemas Agroflorestais e, em particular aqueles aqui analisados, possuem essa capacidade de captura de CO<sub>2</sub>, o que amplia a importância dessas iniciativas

Para além disso, as alterações nas características físico-químicas do solo, quando comparadas às áreas testemunhas, que lhes são contíguas, é um indicador contundente. É provável que um dos fatores mais decisivos possa estar relacionado ao uso dos remineralizadores, presentes nos SAFs 2, 3 e 4. Averiguou-se que nessas áreas ocorreram resultados mais expressivos em relação à disponibilidade de macronutrientes como P, K, Ca e Mg, mesmo após três anos da aplicação dos remineralizadores, demonstrando que eles podem suprir por períodos mais longos a necessidade nutricional das plantas, convertendo-se, assim, como sugerem Theodoro, et al. (2013) em um banco de nutrientes. A oferta de insumos minerais promoveu uma melhoria dos indicadores, em especial o aumento do pH, a redução da saturação por alumínio, o aumento dos teores de micronutrientes, o aumento da CTC e a maior estabilidade da qualidade do solo nas áreas de SAF quando comparados com as áreas testemunhas, ou sem uso desse insumo. Foi igualmente percebido um melhor desempenho na produção nos seis tipos de árvores que sofreram o acompanhamento de seu desenvolvimento.

É importante abordar, a título de conclusão, que a forma de tratamentos dos dados precisa de um consenso mais ampliado nas pesquisas. Por exemplo, a análise de variância (ou outras formas de tratamento estatístico) muitas vezes não consegue mostrar diferenças significativas entre tratamentos que utilizam insumos de solubilidade mais baixa, como é o caso dos remineralizadores. Isto porque, o método analítico foi pensado para um modelo com menos variáveis e interações controladas, o que resulta em mais um problema, já que os delineamentos de áreas experimentais que utilizem Sistemas Agroflorestais possuem uma ampla variedade de interações e variáveis (incluindo a demanda nutricional das várias plantas que compõem os sistemas). Essas interações têm a capacidade de influenciar, de forma

diferenciada, o desenvolvimento das plantas. Assim, e concordando com Miller (2000), a exigência de tratamentos estatísticos dos dados para pesquisas experimentais torna-se uma camisa de força, que inibe o surgimento de oportunidades mais adequadas ao alcance de alternativas mais sustentáveis.

No que se refere ao acúmulo do estoque de carbono nos Sistemas Agroflorestais, foi possível demonstrar que a associação com os remineralizadores é eficaz, na medida em que favorece o desenvolvimento mais significativo das árvores (indivíduos), o que contribui no processo de sequestro de CO<sub>2</sub> e, na conseqüente, redução do efeito estufa, indicando possibilidades de valoração pelo serviço ambiental prestado.

De forma direta, é possível elencar outros benefícios, derivados do uso dessa nova forma de uso do solo. Trata-se da diminuição do risco ambiental e do custo da produção agrícola, devido ao não uso de combustíveis fósseis, fertilizantes, pesticidas etc., que, de modo geral, resultam em maiores emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, tal como ocorre em todos os sistemas produtivos convencionais. Outro fato que merece ser destacado refere-se à produção de alimentos de melhor qualidade, livres de agrotóxicos, o que, em última instância, favorece a obtenção de melhores indicadores de segurança nutricional.

O somatório desses benefícios e resultados positivos sugere que os Sistemas Agroflorestais comportam-se como excelentes mecanismos para contribuir com a ampliação dos indicadores ambientais, produtivos e econômicos. Nesse sentido, o uso combinado destes dois mecanismos (ou práticas) converte-se em uma opção muito interessante para países em desenvolvimento, em especial àqueles que estão localizados em áreas tropicais, onde os processos intempéricos são mais expressivos e tornam os solos menos férteis.

Porém, apesar de tais vantagens e benefícios, e em acordo com Ávila et al. (2001), os SAFs ainda não são considerados como um mecanismo de compensação para serviços ambientais, especialmente de sequestro de carbono, tal como aconteceu com os projetos de reflorestamentos comerciais, de grandes grupos empresariais, conforme pode ser visto pelo avanço do agronegócio no setor do reflorestamento sobre o cerrado.

Mudar essa lógica converte-se, portanto, em uma ferramenta importante para o universo formado pelos pequenos produtores, que têm na terra seu maior recurso de sobrevivência. O uso racional dos recursos e a adoção de Sistemas Agroflorestais, associados a fertilizantes alternativos, e sistemas agrícolas apropriados às condições locais, torna-se fundamental para a sustentabilidade econômica, social e ambiental deste universo de produtores rurais.

Neste aspecto, para um uso mais abrangente dessas tecnologias em meio aos agricultores familiares, faz-se necessária a elaboração e execução de políticas públicas que recomendem este tipo de sistema produtivo, visando não só a restauração de áreas com produções insuficientes ou degradadas, mas também, a valorização social e a eficiência econômica e ambiental. Iniciativas dessa natureza poderão contribuir para o alcance de soluções relacionadas às questões da autossuficiência na produção de alimentos, à conservação ambiental, à melhoria na vida dos trabalhadores do campo e à geração de empregos e renda e, no extremo, poderia alterar o processo de migração do campo, resultante dos processos de degradação do solo ou pelo avanço da fronteira agrícola.

Em particular, com respeito ao debate sobre o desenvolvimento rural da região do Cerrado brasileiro, cabe enfatizar que a continuidade das atuais formas de produção sinaliza para um impasse de caráter eminentemente econômico e ambiental, uma vez que esse ecossistema se aproxima da sua capacidade de suporte. Portanto, a oferta de tecnologias ou práticas inovadoras, baseadas nos princípios da agroecologia, pode ampliar oportunidades e melhoria em vários indicadores.

A título de recomendação final, e para ampliar os resultados obtidos na presente pesquisa, recomenda-se que sejam realizados estudos destrutivos (corte de indivíduos) para a contabilização de biomassa, estoque de carbono e carbono sequestrado dos principais elementos dos sistemas como forma de quantificar e qualificar melhor os critérios aqui tratados, bem como tornar possível a sua incorporação como serviços ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S.P.; SILVA, J.A.; RIBEIRO, J.F. Aproveitamento alimentar de espécies nativas dos Cerrados: araticum, baru, cagaita e jatobá. 2. ed. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, Documentos, 26, 1990.
- ALTIERI, M. A. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária; AS-PTA, 2002.
- ALVES, Fabiana V., LAURA, Valdemir A., ALMEIDA, Roberto G. Sistemas agroflorestais: A agropecuária sustentável. -- Brasília: Embrapa, 2015.
- AMADOR, D.B.; VIANA, V.M. Sistemas agroflorestais para recuperação de fragmentos florestais. Série Técnica IPEF, v.12, n.32, p.105-110, 1998.
- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. M. Metodologia para estimar estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 73, 2002.
- ÁVILA, G. et al. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería en las Américas, v. 8, n. 30, p. 32-35, 2001.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. O. de; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Brasília, DF: Embrapa, 130p. 2011.
- BERGMANN, Magda. Remineralizadores no Brasil: O trabalho da CPRM –Serviço Geológico do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais Pelotas, RS. 2016.
- BEZERRA, Renato G. Duarte et al. Avaliação do estado nutricional, área foliar e densidade populacional de duas variedades de cana-de-açúcar influenciadas pela aplicação de MB-4. In I Congresso Brasileiro de Rochagem, Anais. Brasília, 2010.
- BOLFE, Édson L. BATISTELLA, Mateus; FERREIRA Marcos C. Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, INPE p.1705. Brasil, 2011.
- BRAGA, R. M., BRAGA, F. D. A., MACEDO, R. L. G., VENTURIN, N. Princípios básicos que norteiam a correção do solo e adubação em sistemas agroflorestais, Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Anais X Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Cuiabá, 2016.
- BRASIL, Instrução Normativa n. 02 de 09 de outubro de 2008. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2008. DOU nº 197, de 10/10/2008.
- BRASIL, Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima e dá outras providências. Diário Oficial República da União- DOU, 30 dez. 2009.

BRASIL, Decreto nº 7.794, de 20 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica 2012.

BRASIL, Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências, 2013.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o Futuro: Região Centro-Oeste / Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade; Roberto Fontes Vieira (Ed.). Julcéia Camillo (Ed.). Lidio Coradin (Ed.). – Brasília, DF: MMA, 2016.

BRASIL, Instrução Normativa nº 5, de 10 de Março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, 2016.

BRITO, M.A. Fitossociologia e Ecologia de população de *Dipteryx alata* Vog. (baru) em área de transição Cerrado Denso/Mata Estacional, Pirenópolis, Goiás.. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília. Brasília. 126 p. 2004.

BROWN, S.; LUGO, A. E.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research*, v.16, n.2, p.390-394, 1986.

BROWN, S., GILLESPIE, A. J. R., LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35: 881-902, 1989.

BROWN, S. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical. Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). Rome, 1997.

CÂMARA, C.D., LIMA, W.P., VIEIRA, S. A. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. *Scientia Forestalis* n.57, 2000.

CAPORAL, Francisco Roberto. Agroecologia: alguns conceitos e princípios / por Francisco Roberto Caporal e José Antônio Costabeber; 24 p. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 2004.

CAPORAL, Francisco Roberto. Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis– Brasília: 2009.

CARTA CAPITAL: <https://www.cartacapital.com.br/internacional/trump-anuncia-a-retirada-dos-eua-do-acordo-de-paris>. Publicado 01/06/2017 16h35. Acesso 05/07/2017.

CASALINHO, H. D. Monitoramento da qualidade do solo em agroecossistemas de base ecológica: a percepção do agricultor- Pelotas, Ed. Grafica Universitaria/UFPEL, 2004.

CASTRO, E. A. Biomass, nutrient pools and response to fire in the Brazilian Cerrado. 1996. 118f. (MS Thesis) – Oregon State University, Corvallis, 1996.

CASTRO NETO M. T. DA SILVA, Mariana Souza. Utilização da farinha de rocha na produção de fruteiras. Anais I Congresso Brasileiro de Rochagem. 2010.

CHABOUSSOU, F. Plantas Doentes pelo Uso de Agrotóxicos: A teoria da Trofobiose. Porto Alegre:L&PM, 1987.

CHANG, M. Y. Seqüestro florestal de carbono no Brasil. Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. São Paulo: Annablume/IEB, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA - EMBRAPA, Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Boletim Técnico n 53, Brasília, 1978.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA - EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal. REATTO, A (et al). Documentos, Planaltina, DF, n. 120, p. 1-31, jun. 2004.

FERNANDES, F. R. C., ADÃO B., ZULEICA C. C. Agrominerais para o Brasil/Eds. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; [Campos dos Gpytacazes]: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. p. 67-87.

GÖTSCH, E. Homem e Natureza Cultura na Agricultura. 2ª Edição Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, Recife, Pe, 1997.

GUTMANIS, D. GUTMANIS, D. Estoque de carbono e dinâmica ecofisiológica em sistemas silvipastoris. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, SP, 2004.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da amazônia brasileira. Acta Amaz. V. 28, n. 2, 1998.

HOFFMANN, Maurício R M. Agrofloresta pra todo lado / Maurício Rigon Hoffmann Moura [et al.]. –Brasília: Emater- DF, 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa disponível em <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 20 de outubro de 2017.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. v.1: The physical science basis; v.II: Impacts, adaptation and vulnerability; v.III: Mitigation of climate change, 2007.

IWATA, Bruna de F. Luiz F. C. Leite, Ademir S. F. Araújo, Luis A. P. L. Nunes, Christoph Gehring & Liliane P. Campos. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. Revista Brasileira de Engenharia – <http://www.agriambi.com.br>. 2012.

JUNQUEIRA, A. C.; SCHLINDWEIN, M. N; CANUTO, J. C ; NOBRE, H G; SOUZA, T M. Sistemas agroflorestais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. Revista Brasileira de Agroecologia Rev. Bras. de Agroecologia. 8(1): 102-115, 2013.

KING, K. F. e CHANDLER, N. T. 1978. The wasted lands: The program of work of the International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). Nairobi, Kenya.

KUMAR, B. M., NAIR, P. K. R. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. Anais 29 Congr. Brasil. Geologia, Belo Horizonte, 1976.

LEONARDOS O. H.; THEODORO S. H. Fertilizing tropical soils for sustainable development. In: FORMOSO M.L.L. and Cerri C.C. (eds.) Proceedings International Workshop on Tropical Soils, RJ. Anais da ABC. p: 143–153. 1999.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.C.H.; Assad, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. Nutrient Cycling in Agroecosystems - Formerly Fertilizer Research, 2000.

LUNZ, A. M. P., MELO, A. W. F. Monitoramento e avaliação dos principais desenhos de sistemas agroflorestais multiestratos do Projeto Recla. Rio Branco: Embrapa-CPAF/ AC. p.1-4. (Pesquisa em Andamento, n.134). 1998.

MACEDO, J. L. Cultivo de fruteiras em sistemas agroflorestais, São Luís. Frutas nativas: novos sabores para o mundo. São Luís: UEMA: SBF: EMBRAPA: SEBRAE: SEAGRO, 2008. 1 CD-ROM. 2008.

MACHADO, P. O. L. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 61, p. 119-130, 2001.

MARIN, A. M. P. Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. 83 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MAY, P.H.; TROVATTO, C.M.M.; DEITENBACH, A.; FLORIANI, G.S.; DUBOIS, J.C.L.; VIVAN, J.L. Manual agroflorestal para a Mata Atlântica. Brasília: Ministério de Desenvolvimento Agrário. Secretaria de Agricultura Familiar, 2008.

MBOW, Cheikh, PETE Smith, DAVID Skole, LALISA Duguma, BUSTAMANTE Mercedes. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6:8–14, 2014.

MEDEIROS, Fernanda D. P. Sistemas agroflorestais aliados à rochagem para recuperação de áreas degradadas, Trabalho de Conclusão de Curso: EFL/FT/UnB – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2014.

MEDEIROS, F, THEODORO, S. Uso de remineralizadores na recuperação de áreas degradadas: estudo de caso do reservatório de três marias/mg. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, 8 a 11 de novembro de 2016 /Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016.

MELO, J. T. Resposta de mudas de espécies arbóreas do Cerrado a nutrientes em latossolo vermelho escuro. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília-DF. 1999.

MICCOLIS, Andrew. [et al.] Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – ICRAF, 2016.

MILLER, R. P. Construindo a complexidade: o encontro de paradigmas agroflorestais. In: PORRO, R. (Ed.) Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação. Brasília-DF: Embrapa Informação e Tecnologia, 2009.

MONTAGNINI F, NAIR PKR. Carbon sequestration: an under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforest Systems* 61–62:281–298, 2004.

MOREIRA, A, CASTRO, C., OLIVEIRA, F, SFREDO, G. D. Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo. *Espaço & Geografia*, Vol.9, No 2. 2006.

MÜLLER, Carlos H., Kato Armando K, Duarte, Maria R. Manual prático do cultivo de fruteiras. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1981.

NAIR, P. K. R. Soil productive aspects of agroforestry. ICRAF, Nairobi. 1984.

NAIR, P.K.R. Introduction to Agro forestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1993.

NAIR P. K. R, NAIR VD, KUMAR MB, HAILE SG. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environ Sci Policy*. 2009;

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO-FAO. Global Forest Resources Assessment Main report. Rome, 2010. 344 p. 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO-FAO. Forestry Paper, 163. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf>>. Acesso: 15/09/2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO-FAO. <http://www.fao.org/americas/perspectivas/cambio-climatico/pt/>. Acesso 20/06/2017.

PAIVA, Artur O, REZENDE Alba V. e PEREIRA. Reginaldo S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.527-538, 2011.

PAVINATO, P. S. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.911-920, 2008.

PELEGRINO, G Q, ASSAD, E D, MARIN, F R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. Revista *Multiciência*, Campinas, Edição no. 8, Mudanças Climáticas, Maio 2007.

PENEIREIRO, Fabiana. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. Tese de mestrado, USP, Piracicaba. 138p. 1999.

PENEIREIRO, F. M.; RODRIGUES, F. Q.; BRILHANTE, M. O.; LUDEWIGS, T. Apostila do educador agroflorestal: introdução aos sistemas agroflorestais – um guia técnico. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, Parque Zoobotânico, 2002.

PIMENTEL, Raimundo G., *Fruticultura Brasileira*. Nobel, São Paulo, 1972.

PRIMAVESI, Ana. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais- São Paulo, Nobel. 1999.

PRIMAVESI, Ana. Cartilha do Solo: como reconhecer e sanar seus problemas- Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra – MST, 2009. Disponível em <http://www.mstemdados.org/sites/default/files/Cartilha%20Inspe%C3%A7%C3%A3o%20do%20solo%20-%20Ana%20Primavesi.PDF>. Acesso: 15/07/2017.

RAMALHO, Paulo E. C. Jatobá-do-Cerrado- *Hymenaea stigonocarpa*. Embrapa Florestas Colombo- PR, Circular técnica 133, 2007.

ROCHA, W. PEREIRA A. M. SILVA, A. E. FRAGA, J. A. Estimativa de biomassa vegetal e sequestro de carbono no Parque Natural Municipal Flor do Ipê, Várzea Grande, MT. 2006. <http://dx.doi.org/10.20435/multi.v22i51.1284>. Acesso: 30/05/2017.

ROCHA, Eduardo J. P. L., *Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruta D'anta/MG: Potenciais e limitações para a transição ecológica*. Dissertação de mestrado Centro de Desenvolvimento Sustentável- UNB, Brasília, 2006.

ROCHA, G. P. Estoque de Carbono em Sistemas Agroflorestais no Norte de Minas Gerais. Montes Claros, MG: *Rev.Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.7, p.1197-1203, jul, 2014.

RONQUIM, Carlos Cesar Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

RORIZ, Giovana F. S. O Sequestro Florestal De Carbono Em Áreas (Re) Florestadas Como Atividade Agrária Para Um Novo Conceito De Produtividade do Imóvel Agrário Goiânia. 2010.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais- 1a ed.- Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009.

SANTANA, D.P.; BAHIA FILHO, A.F.C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16. 1998.

SANTOS, M. J. C. et al. Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental. Scientia Forestalis, n. 62, p. 48-61, 2002.

SAUER, Sérgio e BALESTRO, Moisés W. (org). Agroecologia e os desafios da transição agroecológica. São Paulo, Expressão Popular, 2009.

SILVA, Cristiane D. MARX Leandro N S, CURI Nilton, OLIVEIRA, Anna H, Souza Fabiana S., MARTINS, Sérgio G. e MACEDO, Renato L G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. Revista de Estudos Ambientais (Online) v.13, n. 1, p. 77-86 jan./jun. 2011.

SILVA, Samara Martins. Quantificação de carbono de um sistema agroflorestal em área de cerrado no Brasil Central. Monografia do curso Gestão Ambiental - Faculdade Planaltina-FUP, Universidade de Brasília- UNB. 2013.

SILVEIRA, Pérciles. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume Comercial. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SITIO SEMENTE 2017: <http://www.sitiosemente.com/>. Acesso em 10 de março de 2017.

SITIO RAIZ 2015: <https://pt-br.facebook.com/S%C3%ADtio-Raiz-163885477284773/>. Acesso em 10 de março de 2017.

SOUZA, J. L. Cultivo orgânico de frutas e hortaliças. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2008, Vitória. Minicurso. Frutas para todos: estratégias, tecnologias e visão sustentável: Anais. Sociedade Brasileira de Fruticultura, Vitória, 2008.

STEENBOCK, Walter, VEZZANI, Fabiane M. Agrofloresta: Aprendendo a produzir com a natureza. Curitiba, 2013.

STEENBOCK, Walter; SEOANE, Carlos E, FROUFE, Luís Cláudio M. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba: Kairós, 2013-B.

THEODORO, S.H. A Fertilização da Terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural., Centro de Desenvolvimento Sustentável, Tese de Doutorado Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília- CDS/UnB, 2000.

THEODORO, S.H. & LEONARDOS, O.H. Sustainable farming with native rocks: the

transition without revolution. Anais da Acad. Bras. de Ciências. Rio de Janeiro/RJ. Vol.78 no.4 pp. 715 – 720. 2006

THEODORO, S H. Agroecologia: Um novo caminho para extensão rural sustentável; Editora: Garamond, 2009.

THEODORO S H.; LEONARDOS, O. H.; Fonseca, R. Rochagem: uma construção do link entre a mineração e a agricultura. Congresso Brasileiro de Geologia, Pará, 2010.

THEODORO, S.H (coletânea). Os trinta anos da política Nacional de Meio Ambiente; conquistas e perspectivas. Rio de Janeiro, Ed. Garamond, 2011.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O. H. Rochagem: uma questão de soberania nacional. In XIII Congresso brasileiro de geoquímica. Gramado/RS 2011.

THEODORO, S. H., LEONARDOS, O. H. REGO, K G., MEDEIROS, F. P; TALINI, N. L., SANTOS F & OLIVEIRA M N S. Efeito do uso da técnica de rochagem e adubação orgânica em solos tropicais. Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem, Poços de Caldas MG, 2013.

THEODORO, S.H., LEONARDOS, O. H., ROCHA, E. L., MACEDO, I., REGO, K., Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the Tucuuruí degraded land for agroforest reclamation. Acad. Brasil. Ciênc. 85(1):23-34. 2013b

THEODORO, S. H., LEONARDOS, O. H. REGO, K. G. MEDEIROS F. P.; TALINI, N. L. SANTOS, F dos e OLIVEIRA, M. N Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: THEODORO, S. H, MARTINS, É., CARVALHO, A. X DE C. E FERNANDES, M. (Eds.) Coletânea 2013. Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem. Editora Suprema/MG.II Congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de caldas/MG.

THEODORO, S.H. A construção do marco legal dos remineralizadores In: BAMBERG, A. L., SILVEIRA, C. A. P., MARTINS, É. DE S. BERGMANN, M., MARTINAZZO, R. e THEODORO, S. (Editores) – Coletânea 2013. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem. Pelotas. RS. Triunfal Gráfica e Editora, 2016. p 25-35

TIBAU, Arthur Oberlaender. Matéria orgânica e fertilidade do solo. 2º edição, São Paulo, Nobel.1983.

TILMAN, David, KENNETH G. C, MATSON P A., POLASKY, Rosamond N S. Agricultural sustainability and intensive production practices. Revista Nature, vol 418 8, 2002.

TSUKAMOTO FILHO, A. A.; COUTO, L.; NEVES, J. C. L.; PASSOS, C. A. M.; SILVA, M. L. Fixação de carbono em um sistema agrissilvipastoril com eucalipto na região de cerrado de Minas Gerais. Agrossilvicultura, v.1, n.1, p.29-41, 2004.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE- UNFCCC. Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries. 2007.

VIEIRA S, C PB, S. D, S R, HUTYRA L, CHAMBERS JQ, BROWN IF, HIGUCHI N, dos

SANTOS J, WOFY SC, TRUMBORE SE, MARTINELLI LA. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*; 140(3):468-79. Epub 2004.

WOLF, R. Sistemas agroflorestais: potencial para sequestro de carbono e produção de outros serviços ambientais In: Seminário de Agroecologia do Mato Grosso do Sul. Resumos. Glória de Dourados P.1-5, 2012.