



Marcelo Aurelio Pereira da Silva

**O EFEITO DO BIOCARVÃO NAS CARACTERÍSTICAS
QUÍMICAS E NA RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO
SOB UM COQUEIRAL NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA,
RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientadora: Agnieszka Latawiec

Co-orientador: Wenceslau Geraldes Teixeira

Rio de Janeiro

Junho de 2018



Marcelo Aurelio Pereira da Silva

**O EFEITO DO BIOCARVÃO NAS CARACTERÍSTICAS
QUÍMICAS E NA RETENÇÃO DE ÁGUA DO SOLO
SOB UM COQUEIRAL NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA,
RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof.^a Dr.^a Agnieszka Ewa Latawiec

Orientadora

Departamento de Geografia e Meio Ambiente- PUC-Rio

Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira

Co-orientador

Embrapa Solos

Prof. Dr. Everaldo Zonta

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

Prof. Dr. Bernardo Baeta Neves Strassburg

Departamento de Geografia e Meio Ambiente- PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de junho de 2019

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Marcelo Aurelio Pereira da Silva

Possui licenciatura em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 2016. Durante a graduação, foi membro do Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos da UFRJ. Atualmente é professor de Convivência, Ética e Atualidades do Colégio pH.

Ficha Catalográfica

Silva, Marcelo Aurelio Pereira da

O efeito do biocarvão nas características químicas e na retenção de água do solo sob um coqueiral no município de Seropédica, Rio de Janeiro / Marcelo Aurelio Pereira da Silva ; orientadora: Agnieszka Latawiec ; co-orientador: Wenceslau Geraldes Teixeira. – 2018.

117 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de

CDD: 910

As minhas avós, Jurema dos Anjos e Irene Perez, e aos meus pais, Marcos Aurélio e Simonia Perez, por todo carinho e dedicação.

Agradecimentos

Impossível registrar aqui todas as pessoas que tornaram possível a realização desse trabalho, mas devo agradecer:

Aos meus pais, Simonia Perez e Marcos Aurelio, pelo exemplo de vida e pelo esforço para buscar sempre uma educação de qualidade para mim. Vocês se sacrificaram, se dedicaram e abdicaram dos seus sonhos para que eu tivesse oportunidade de estudar. Devo tudo que sou a vocês. Sem vocês nada disso seria possível. Amo muito vocês!

Ao meu irmão, Marcus Vinicius, por além de ser irmão é um grande amigo, que sempre me motivou e me orientou.

Em especial a minha orientadora, Prof. Agnieszka Ewa Latawiec, pela paciência e orientação, que mesmo diante de algumas limitações de comunicação da minha parte, sempre me apoiou e incentivou.

Ao meu coorientador, Wenceslau Teixeira, também pela paciência e dedicação por me apoiar para que esse projeto fosse concluído. Obrigado pela conversas e orientações na reta final do mestrado.

Ao Prof. Bernardo Strassburg, por aceitar participar da banca.

Aos meus amigos de verdade, tanto os que me acompanham desde a minha infância, quanto os amigos que conheci ao longo do projeto.

Aos integrantes do Laboratório de Estudo das Relações Solo e Planta (LSP), em especial, Rosimar, Derick, Gabriel, Douglath, Raphael, Ricardo, Júlio, Júlia, Gabriel que auxiliaram nas análises e pelas conversas “jogadas fora” e descontração, tanto em momentos bons como nos momentos não tão bons.

Ao Zonta, responsável pelo LSP, do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que viabilizou e auxiliou nas análises laboratoriais. Muito obrigado pela orientação e dúvidas durante as análises e levantamentos dos dados. Um grande agradecimento.

Aos membros do Instituto Internacional para Sustentabilidade, que me auxiliaram nas coletas de campo, em especial Luiza Lemgruber, Katarzyna, Maiara Mendes e André Junqueira.

À Luiza Saraiva, pelo incentivo para cursar o mestrado e pelo apoio durante o projeto. Todo seu apoio foi muito importante para a realização desse trabalho. Nunca vou esquecer do carinho e confiança que você teve em mim.

Aos meus amigos de Seropédica, Gustavo Neves, Marcelo Albuquerque, Lucas Guedes (Guaravita) e Gustavo Gomes, que disponibilizaram a casa para que eu pudesse ir para UFRRJ realizar as análises laboratoriais. Muito agradecido pela hospedagem. Se não fossem vocês eu não teria conseguido realizar esse projeto. Vou levar as lembranças que passamos juntos para o resto da minha vida.

Ao Theo, agradeço pelas caronas e pelas conversas. Se não fosse por você a minha locomoção para Seropédica seria mais difícil.

Às minhas avós, Jurema Pereira dos Anjos e Irene Perez da Silva, que faleceram no decorrer do Mestrado. Obrigado por todo carinho que vocês me deram. Amo vocês. Saudades eternas.

Aos meus amigos de trabalho do Colégio pH, que me auxiliaram e deram suporte para que eu pudesse realizar as atividades referentes ao mestrado, em especial Jorge Costa, Gabriel Olavo, Maria Lígia, Paulo Roberto, Carol, Bianca e Natasha.

Agradeço também aos amigos, Jorge, Thais, Júlia "Guti", Lucas Vasconcelos, Maria Lígia Matheus Barros, que contribuíram com afeto e amor nesses dois anos de mestrado. Obrigado pelas conversas, risadas, carinho e pelas constantes mensagens que vocês me mandaram no whatsapp para levantar a minha moral e conseguir caminha de cabeça erguida.

Enfim, a todos que de alguma forma passaram pela minha vida; que me fizeram mudar a minha forma de pensar e agir, que contribuíram para a minha desconstrução e a melhor forma de ver o mundo.

Resumo

Silva, Marcelo Aurelio Pereira; Latawiec, Agnieszka Ewa (Orientadora); Teixeira, Wenceslau Geraldês (Coorientador). **O efeito do biocarvão nas características químicas e na retenção de água do solo sob um coqueiral no município de Seropédica, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2019. 117 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A exploração do ecossistema pelo homem tem provocado mudanças ambientais na Terra, como liberação de gases poluentes, aumento da temperatura do planeta, desmatamento, degradação do solo, entre outros. Têm se elaborado novas técnicas que buscam melhorar a qualidade química e física do solo, a recuperação da biodiversidade e ainda contribuir para diminuir os efeitos das mudanças climáticas. O biocarvão é produzido a partir de pirólise de resíduos orgânicos, que pode ser aplicado ao solo para melhorar a qualidade, além de ser uma técnica de mitigação do efeito estufa. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do biocarvão, produzido de Gliricídia, nos parâmetros físico e químicos do solo em Seropédica, no período de julho de 2017 a julho de 2018. O biocarvão foi incorporado ao Planossolo Háptico sob um coqueiral. O delineamento do experimento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial, sendo os fatores com e sem aplicação de biocarvão (10 t ha^{-1}), com 12 repetições em cada tratamento. O biocarvão foi aplicado em faixa de 80 cm, na projeção da copa dos coqueiros. Foram determinados pH, P, Ca, Mg, Al, H+Al, K, Na, Cu, COT, M.O, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20cm, no intervalo de três meses, durante o período de um ano. A propriedade física do solo analisada foi a retenção de água nas potências 0, 60, 100, 330 e 1500 kPa. O uso do biocarvão como condicionador do solo não aumentou significativamente o pH, retenção de água e nos teores de carbono orgânico total e na CTC. Contudo nota-se que o biocarvão pode ser promissor para aumentar o carbono do solo e consequentemente mitigar o efeito estufa

Palavra-chave

Biocarvão; qualidade do solo; conservação.

Abstract

Silva, Marcelo Aurelio Pereira; Latawiec, Agnieszka Ewa (Orientadora); Teixeira, Wenceslau Geraldes (Coorientador). **The effect of biochar on the chemical characteristics and water retention of soil under a coconut plantation in Seropédica, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2019. 117 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ecosystem exploration by humans has led to environmental changes on Earth, such as the release of polluting gases, rising global temperatures, deforestation, soil degradation, and so on. New techniques have been developed that seek to improve the chemical and physical quality of the soil, the recovery of biodiversity and also contribute to reduce the effects of climate change. Biocarbon is produced from pyrolysis of organic waste, which can be applied to the soil to improve the quality, besides being a greenhouse mitigation technique. The objective of this work was to evaluate the effect of biochar, produced of *Gliricidia*, on the physical and chemical quality of the soil in Seropédica, from July 2017 to July 2018. The biochar was incorporated to the Solonetz under a coqueiral in Seropédica. The experimental design was a randomized complete block design in a factorial scheme, with the factors with and without application of biochar (10 t ha^{-1}), with 12 replicates in each treatment. pH, P, Ca, Mg, Al + 3, H + Al, K, Na, Cu, COT, M.O at depths 0-5, 5-10, 10-20cm were evaluated at three months intervals. The soil physical property analyzed was the water retention at powers 0, 60, 100, 330 and 1500 kPa. The use of bio-carbon as a soil conditioner increased the water retention and total organic carbon contents in the 0-5 cm depth, increasing the organic matter content. The use of biochar as a soil conditioner did not significantly increase pH, water retention and total organic carbon content and CTC. However, it is noted that biochar can be promising to increase soil carbon and consequently mitigate the greenhouse effect.

Keyword

Biocarbon; soil quality; conservation

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 10 |
| 2. Objetivos | 14 |
| 2.1. Objetivo geral | 14 |
| 2.2. Objetivos específicos | 14 |
| 3. Fundamentação teórico conceitual | 15 |
| 3.1. Geografia, solo e meio ambiente | 15 |
| 3.2. O solo como indicador de manejo ambiental | 19 |
| 3.3. Agricultura e gases de efeito estufa | 23 |
| 3.4. Biocarvão | 26 |
| 3.4.1. A origem e produção do biocarvão | 26 |
| 3.4.2. Potencialidades do biocarvão na atualidade | 30 |
| 3.5 A cultura do coqueiro e a sua espacialização no território brasileiro | 32 |
| 4. Caracterização da área de estudo | 37 |
| 4.1 Uma breve história da ocupação e transformação da paisagem no município de Seropédica | 37 |
| 4.1.1 Seropédica, de grande produtora agrícola à espaço urbano | 37 |
| 4.1.2 Espacialização da produção de coco em Seropédica | 42 |
| 4.2 Clima | 46 |
| 4.3 Geologia | 46 |
| 4.4 Pedologia | 48 |
| 5. Procedimento Metodológicos | 50 |
| 5.1 Localização e instalação do experimento | 50 |
| 5.2 Preparação e caracterização do biocarvão utilizado para o experimento | 54 |
| 5.3 Delineamento do Experimento | 57 |
| 5.4 Condução do experimento | 58 |
| 5.4.1 Caracterização do Solo | 58 |
| 5.4.2 Aplicação do biocarvão | 59 |
| 5.4.3 Fertilidade e retenção de água no solo | 60 |
| 5.4.4 Manejo e adubação | 64 |
| 5.5 Procedimentos Laboratoriais | 67 |
| 5.5.1 Análise química do solo | 67 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.5.2 | Análise do pH do solo em água | 67 |
| 5.5.3 | Análise de potássio (K) e Sódio (Na) | 68 |
| 5.5.4 | Análise de Cobre (cu) | 69 |
| 5.5.5 | Análise do Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Alumínio (Al) | 70 |
| 5.5.6 | Análise de H+AL | 71 |
| 5.5.7 | COT e Matéria Orgânica | 71 |
| 5.5.8 | Análise de retenção de água no solo | 72 |
| 5.5.9 | Análise estatística | 72 |
| 6. | Resultados e discussão | 74 |
| 7. | Conclusão | 90 |
| 8. | Referências | 91 |
| | Apêndice | 99 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Benefícios da produção do biocarvão. Fonte: (Adaptado de Lehmann & Joseph, 2009). | 29 |
| Figura 2: Dados climáticos da região de Seropédica - RJ, de julho de 2017 a junho de 2018. Fonte: Estação: Seropédica - Ecologia Agrícola-A601. | 46 |
| Figura 3: Localização do experimento. | 51 |
| Figura 4: Forno utilizado para a produção do biocarvão utilizado no experimento. FONTE: Rodrigues, 2017 | 56 |
| Figura 5: Espectro de RMN do ¹³ C do biocarvão derivado de Gliricidia utilizado no experimento. Fonte: Rodrigues, 2017. | 57 |
| Figura 6: Croqui representando o experimento | 58 |
| Figura 7: Calculo representando a quantidade de biocarvão utilizado por hectare, assumindo uma aplicação na área total do solo. | 59 |
| Figura 8: Abertura do coroamento em uma distância de, aproximadamente, 80 cm do caule do coqueiro. Esse procedimento foi feito em todos os 24 coqueiros. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017 | 60 |
| Figura 9: Coleta de solo com o trado Saci. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017 | 61 |
| Figura 10: Representação dos cinco pontos de coleta de amostras simples de solos para compor uma amostra composta para caracterização da fertilidade do solo. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017 | 62 |
| Figura 11: Foto referente a coleta de solo na área de aplicação do biocarvão. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017 | 63 |
| Figura 12: Coleta do solo para análise de retenção de água. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2018 | 64 |
| Figura 13: Roçagem do coqueiral através de maquinários. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017 | 66 |
| Figura 14: pHmetro modelo MB -10 usado nas análises para determinado de pH. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019 | 68 |
| Figura 15: Mesa agitadora utilizado para análise de solo. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019 | 69 |
| Figura 16: fotometria de chama usado para determinar os elementos Na e K, tanto para solo quanto para foliar. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019 | 69 |

- Figura 17: Espectrofotometria de absorção atômica para determinação de Cu, Fe, Ca, Mg, Zn e Mn. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019 70
- Figura 18: Erlenmeyer com dedo frio sobre chapa na temperatura de 170o para determinar os teores de carbono orgânico total e matéria orgânica. 72
- Figura 19: Boxplot representando a concentração de carbono orgânico por tratamento no final do experimento. 78
- Figura 20: Boxplot representando os teores de carbono nos tratamentos com aplicação de biocarvão e controle, nas profundidades 0,5, 5,10, 10-20 cm (0-5 – vermelho; 5-10 – verde; 10-20 – azul) no tempo. 80
- Figura 21: Boxplot representando os teores de carbono entre os tratamentos com aplicação de biochar e controle, nas profundidade (colunas) e nos tempos de coletas (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV) 81
- Figura 22: Boxplot representando a concentração média de pH por tratamento no final do experimento, na camada de 0 – 20cm. 84
- Figura 23: Boxplot representando o pH no solo por tempo de coleta. (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV) 84
- Figura 24: Boxplot representando o desdobramento do pH por tempo entre os tratamentos. 85
- Figura 25 Boxplot representando a média da CTC efetiva no solo no final do tratamento, na camada de 0-20 cm. 86
- Figura 26 Boxplot representando o desdobramento da CTC por tempo entre os tratamentos. (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV). 87
- Figura 27: Retenção de Água em amostras de biocarvão e do controle. Vermelho – Biocarvão; Azul – Controle; CC - capacidade de campo; PMP- Ponto de murcha permanente. 88

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Produção de coco por Regiões do Brasil. Área planta (hectares); Quantidade produzida em 1.000 frutos. 1990 - 2017. | 34 |
| Tabela 2: Produção de coco no estado do Rio de Janeiro por área destinada a colheita (hectares); quantidade produzida (em toneladas).1985 - 2017. | 43 |
| Tabela 3: Produção de coco no Rio de Janeiro por quantidade produzida (mil frutos) nos anos. 1985 – 2017. | 43 |
| Tabela 4: Produção de coco no município de Seropédica; área destinada a colheita (hectares); quantidade produzida (em toneladas). 1997 - 2017. | 44 |
| Tabela 5: Tabela do destino da produção de coco de Seropédica no ano de 2006. | 45 |
| Tabela 6: Análise química do solo da área experimental nas camadas de 0-5, 5 - 10 e de 10-20 cm, antes da instalação do experimento. | 53 |
| Tabela 7. Análise física do solo da área experimental, nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm, antes da instalação do experimento, Seropédica 2017. | 54 |
| Tabela 8: Caracterização química do biocarvão derivado de Gliricidia utilizado no presente estudo. | 56 |
| Tabela 9: Caracterização elementar do biocarvão derivado de Gliricidia utilizado no presente. Fonte: Rodrigues, 2017. | 56 |
| Tabela 10: Tabela química de COT do solo nos tempos (90, 180, 270 e 360 dias) e nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. | 74 |
| Tabela 11: Tabela química de K, Mg, MO e Na do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. | 75 |
| Tabela 12: Tabela química de pH, S, T e V do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. | 76 |
| Tabela 13: Tabela química de Cu, Al, H+Al e Ca do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. | 77 |

Índice de Quadros

Quadro 1: Alguns efeitos antrópicos sobre o solo.

21

Índice de Siglas

Al – Alumínio

B - Boro

C – Carbono

Ca - Cálcio

CO² - Dióxido de carbono

Cu – Cobre

CFC – Clorofluorcarbono

CH₄ - Metano

Cl - Cloro

CTC- Capacidade de troca catiônica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEE – Gás de efeito estufa

GLASOD - Assessment of Human-induced Soil Degradation

H - Hidrogênio

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

K - Potássio

LAMAS - Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo

M.O – Matéria Orgânica

Mn – Manganês

Mg - Magnésio

N₂O – Óxido Nitroso

N - Nitrogênio

Na – Sódio

O₃ – Ozônio

P – Fósforo

S - Enxofre

TPA - Terra Preta Arqueológica

TPI - Terra Preta de Índio

TP - Terra Preta

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Zn – Zinco

1.

Introdução

O aumento da exploração do homem sobre o ecossistema tem provocado mudanças ambientais significativas na Terra, como o aumento da temperatura, liberação de gases poluentes, perda de áreas agricultáveis, que, por sua vez, afetam diretamente o ecossistema e o homem. Os resultados dessas ações antrópicas podem ser, em alguns casos, irreversíveis para o planeta.

Dentre as atividades antrópicas que mais tem chamado a atenção da comunidade científica destacou-se a chamada “mudança climática”, provocada pela liberação elevada de gases de efeito estufa na atmosfera. Diante desse cenário, têm ocorrido conferências e encontros entre diferentes países para debaterem e desenvolverem estratégias que possam diminuir e mitigarem as mudanças climáticas no planeta. O documento mais significativo foi o Protocolo de Quioto¹, elaborado em 1997, que teve como finalidade propor medidas para conter o aumento de liberação de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera.

Em escala de emissão mundial, a atividade agrícola é a segunda maior fonte de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. No Brasil, no entanto, tal atividade está em primeiro lugar, representando 75% das emissões de CO₂, 91% das emissões de CH₄ e 94% das emissões de N₂O (CERRI, 2007). Esses dados são reflexo, principalmente, do desmatamento de áreas florestais para o uso da terra pelas atividades agrícolas.

A degradação do solo é um tema que vêm chamando atenção de pesquisadores do mundo interior. Segundo Guerra (2014), o uso do solo, principalmente para a produção de alimento e de outros bens de consumo, tem provocado degradação e perda de áreas agricultáveis, acarretando dano só no solo, mas no ambiente como um todo, uma vez que, o homem faz parte da natureza.

O processo de degradação do solo no Brasil se iniciou com a chegada dos portugueses no século XVI, através da exploração do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*) e, em seguida, com os suscetíveis ciclos da agricultura, marcada pelo *plantation*, como o ciclo do açúcar (XVI – XVII) e do café (XIX – XX). Durante

¹ O Protocolo de Quioto foi o resultado da 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada no Japão, em 1997. Contudo, só entrou em vigor em 2003.

esse período, grandes áreas eram desmatadas para a plantação dessas cultivarias, acarretando danos no solo e no meio ambiente.

Seropédica, município do estado do Rio de Janeiro, não é diferente das demais cidades brasileiras, pois desde a sua ocupação vem passando por mudanças do uso do solo, devido a diversos interesses, como expansão da área urbana, exploração da areia, que acarretaram na retirada da vegetação e na diminuição de áreas antes agricultáveis. Além disso, percebe-se o a falta de planejamento dos órgãos quando se trata de um planejamento nas áreas onde ocorre esse tipo de situação.

Afim de diminuir os impactos provocados pelo homem no mundo, tem-se buscado novas tecnologias e sistemas que possibilitam a melhoria da produção agrícola de forma sustentável. Com isso, busca-se combinar a produção agrícola com a preservação e recuperação da biodiversidade, do solo e da água, e ainda contribuir para diminuir os efeitos das mudanças climáticas. Diante disso, têm sido estudados sistemas e tecnologias que favoreçam a melhora das qualidades nutricionais do solo e da planta, visando aumento dos teores de Carbono no solo.

Uma dessas técnicas seria a utilização do biocarvão, também conhecido como *biochar*. O biocarvão consiste de material orgânico produzido a partir de diferentes tipos de biomassa aquecida em condições de baixa concentração ou ausência de Oxigênio (LEHMAN; JOSEPH, 2009), em um processo denominado de pirólise.

A utilização do biocarvão como condicionante de solo remete às Terras Pretas de Índio, que são solos antrópicos encontrados na Amazônia que possuem elevada fertilidade e alta concentração de matéria orgânica carbonizada (TEIXEIRA et al. 2010). Esses solos foram descritos há mais de um século e são identificados por sua cor mais escura e pelos artefatos arqueológicos. A alta fertilidade e coloração escura desses solos resultam da deposição de matéria orgânica carbonizada por populações indígenas do passado. Por conta disso, as áreas de Terra Preta de Índio possuem elevados teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca) (LINS, 2013).

O uso do biocarvão como corretivo do solo tem sido proposto como um meio para atenuar as alterações climáticas antrópicas, corrigir e melhorar a fertilidade do solo (WOOLF, 2008). No entanto, o estudo do biocarvão na agricultura é

relativamente recente, de modo que não há conhecimento profundo sobre como é o seu funcionamento no solo.

Os estudos sobre biocarvão encontrados na literatura demonstraram que ele foi capaz de melhorar a qualidade do solo e aumentar sua produtividade (LEHMANN et al., 2003; NÓBREGA, 2011; PETTER, 2010;). Entretanto, é destacado também que a quantidade de biocarvão que pode ser adicionada ao solo, antes que deixe de funcionar como um condicionador benéfico e passe a apresentar efeito negativo.

A produção de coco no Brasil tem se destacado por sua importância econômica e social e por sua produção ser realizada por pequenos agricultores, representando 70% da produção nacional. O cultivo de coco é realizado em quase todo território nacional, com destaque para a Região Nordeste e Sudeste (IBGE, 2017). Por conta da variedade da localidade de produção, o cultivo de coco é encontrado em diferentes classes de solo.

Para que o coqueiro tenha uma alta produtividade é necessário que o solo esteja fértil, que tenham um manejo adequado e clima favorável. Porém, a falta de indicadores de qualidade do solo, manejo inadequado, utilização de máquinas pesadas, doses de fertilizantes inadequadas e agrotóxicos podem diminuir a produção e alterar as qualidades químicas e físicas do solo, tornando o solo pouco produtivo.

Diante do exposto, o biocarvão pode ser uma técnica relevante para a melhoria das características químicas e físicas do solo, visando o aumento da produtividade e da nutrição do coqueiro, além de contribuir para o aumento do carbono no solo e o reaproveitamento de biomassa que, possivelmente, seria descartada.

O biocarvão é um material sólido obtido a partir da pirólise de diferentes tipos de biomassa e, quando adicionado ao solo, tem a finalidade de melhorar suas funções, principalmente pela adição de carbono em uma forma altamente estável, podendo auxiliar positivamente no desenvolvimento das plantas (INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, 2015).

Seropédica passou por inúmeras alterações no seu espaço, de grande produtora agrícola, até a maior produtora de areia para construção civil do estado do Rio de Janeiro. Atualmente, a produção agrícola não tem grande significância para o

município, contribuindo para menos de 1% do PIB. Nesse sentido, o biocarvão pode servir como técnica para a conservação e melhoria do solo da região, além da melhoria agrícola para a região.

Desta forma, esta pesquisa tem a motivação de poder contribuir com informações sobre as possíveis melhorias na qualidade química e física do solo e na adição de carbono em um Planossolo Háplico, localizado em Seropédica, região que já sofreu diversas alterações no seu uso e cobertura do solo.

2.

Objetivos

2.1.

Objetivo geral

Avaliar os efeitos da aplicação do biocarvão nas características química e na retenção de água do solo em um coqueiral em Seropédica no período de um ano.

2.2.

Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades físicas e químicas do solo antes e depois da aplicação do biocarvão;
- Avaliar o aumento dos teores de carbono no solo;
- Avaliar a retenção de água no solo a partir da aplicação do biocarvão.

3.

Fundamentação teórico conceitual

3.1.

Geografia, solo e meio ambiente

A relação sociedade-meio ambiente é caracterizada, ao longo da história da sociedade, pela exploração dos recursos da natureza pelo homem, visando ao atendimento de suas necessidades (ROSS, 2008). Com o avanço das técnicas e do aumento dos meios de produção, principalmente ao longo das últimas décadas, a exploração de recursos naturais tem se intensificado, o que, na maioria das vezes não é acompanhado de organização e planejamento, considerado indispensáveis para a sustentabilidade do planeta. Segundo Ross (2009, p. 119)

O processo evolutivo das culturas, da produção dos conhecimentos, da evolução da tecnologia, da evolução tecnológica, da intensificação das atividades produtivas e da relação capital-trabalho vai progressivamente promovendo transformações na natureza e definindo e redefinindo novos arranjos espaciais no território dos lugares, dos países e do globo.

Nesse sentido, podemos afirmar que o ambiente – natural e social – passa por transformações ao longo da história em função de interesses do homem, sejam econômicos, políticos e sociais. Tais atividades antrópicas, como o uso e ocupação do solo, a má gestão dos recursos hídricos, o manejo inadequado do solo, entre outras atividades, tem intensificado a degradação ambiental, preocupando a comunidade científica internacional. A partir dessas degradações o equilíbrio dinâmico do ambiente natural acaba se modificando, diminuindo a qualidade de vida do homem e aumentando a preocupação mundial em cessar tal situação.

A degradação dos solos é um dos exemplos das transformações do homem no espaço. Esse fenômeno vem acarretando a degradação ambiental em vários países do mundo (ARAÚJO et al, 2014). Segundo os mesmos a melhoria das técnicas de produção, as extensas terras irrigadas e a alta densidade de plantio têm mascarado os efeitos da degradação do solo. Segundo os mesmos autores

citando Cross (1994), a degradação do solo entre 1945 e 1990 diminuiu a produção de alimento no mundo em torno de 17%.

A degradação do solo ocorre por diversos fatores, tanto naturais ou por ação direta do homem. Porém, as atividades humanas desenvolvidas sem preocupação com o solo têm intensificado a ocorrência de perda do solo no planeta.

As degradações do solo ocorrem principalmente por causa das principais formas de erosão – pelo vento e pela água – e das deteriorações químicas, físicas e biológica (BERTOLINI & LOMBARDI NETO, 2010; ARAÚJO et al. 2014; GUERRA, 2014;). Esses impactos no solo podem prejudicar a qualidade de vida para a geração futura, já que o solo é essencial para a vida humana, pois é de onde as plantas retiram os nutrientes (LOMBARDI NETO, 2010; BRANDY & WEIL, 2013; BERTOLINI; GUERRA, 2014).

Desta forma, é de suma importância a conservação do solo, uma vez que o solo é um recurso vital para a humanidade e como tal, deve ser utilizado de forma consciente, com o objetivo de evitar sua degradação e mitigar os possíveis impactos causados no desenvolvimento das atividades.

Araújo et al (2014) alertam que a degradação do solo é muito séria porque não é facilmente reversível, uma vez que processos de formação e regeneração do solo são lentos. Os mesmos autores citam um levantamento realizado pela *Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD)*, que diz que 15% das terras totais do mundo estavam degradadas devido a alguma atividade humana.

A geografia, nesse contexto, merece destaque no seu caráter integrador, sendo uma ciência que estuda a relação sociedade/natureza, podendo assim compreender melhor os fenômenos ambientais e as suas mudanças provocadas no espaço através dessa relação. Contudo, o estudo geográfico nem sempre observou o espaço geográfico através da relação homem-meio.

A geografia relacionada à temática ambiental mudou bastante ao longo da evolução da ciência geográfica. Na sua origem, durante o século XIX, a geografia era uma ciência que estudava os fenômenos do meio ambiente sem a relação com o homem. Já na atualidade carrega uma forte capacidade de integração entre natureza e sociedade (MOREIRA, 2009). Para Foster (1999),

analisando as obras de Marx, a natureza não pode ser vista como algo exterior ao homem, uma vez que essa relação é um produto histórico, ou seja, o homem é um ser social, mas, concomitantemente, não deixa de pertencer a natureza.

A globalização intensificou as relações sociais, demonstrando cada vez mais, seja em escala local-local ou escala local-global, as magnitudes dos problemas sociais e ambientais como desmatamento, segregação sociais, concentração de terras, contaminação do solo e da água, aumento da pobreza, acumulação de capital, entre outros. Desta fora, a geografia, como ciência crítica que estuda a relação sociedade e natureza, tem o papel de refletir e compreender as práticas e epistemologias destes conflitos, para que se possa desmascarar os problemas sociais presentes no espaço (MOREIRA, 1982).

Através de uma perspectiva geográfica-pedológica é possível compreender as alterações ambientais, principalmente no solo, levando em consideração a origem do solo e as suas transformações provocadas pelas atividades humanas. Sobre a pedologia e a geografia, Christopherson (2012) destaca que com a pedologia, ciência que estuda a origem, classificação, distribuição e descrição do solo, pode-se perceber que este recurso natural é de extrema relevância na dinâmica dos geossistemas, configurando a importância de seu estudo no desenvolvimento das análises geográficas.

O estudo dos geossistemas e da Teoria Geral dos Sistemas tem grande importância para a ciência, especialmente para a Geografia, que sempre buscou essa visão totalizadora das interações da natureza com a sociedade. Antes de falar qualquer coisa, é preciso deixar claro que:

A teoria geossistêmica faz parte de um conjunto de tentativas ou de formulações teórico-metodológicas da Geografia Física, surgidas em função da necessidade de a Geografia lidar com os princípios de *interdisciplinaridade*, *síntese*, com a *abordagem multiescalar* e com a *dinâmica*, fundamentalmente, incluindo-se prognoses a respeito desta última (Rodrigues, 2001)

O termo geossistema se remete a escola russa, especialmente a Sotchava (1963), que foi um dos primeiros a trabalhar na Teoria Geossistêmica. Tricart (1965), foi um dos que definiu o conceito de sistema, dentro da Teoria Geral dos Sistemas.

Um conjunto de fenômenos que se desenvolvem a partir dos fluxos de matéria e energia, que tem origem a partir de uma interdependência, no qual surge uma nova entidade global, integral e dinâmica, permitindo assim uma atitude dialética, a necessidade de análise e de visão do todo, afim de se atuar sobre o meio ambiente. (TRICART, 1977 *apud* ROSOLÉM e ARCHELA, 2010)

No ocidente foram os trabalhos da escola francesa e no Brasil, com Bertrand (1968) que difundiram o conceito incorporando a dimensão antrópica ao ele. Monteiro (2001) *apud* Rosolém & Archela (2010) nos diz que o conceito de geossistema auxilia “nas estruturas dos chamados subsistemas, através de uma hierarquia da dinâmica espacial e ambiental e também natural e social, que apresentam caráter vertical e horizontal, desempenhando a análise geográfica de forma estruturada e hierárquica”.

A análise geossistêmica passa, primeiro, por uma análise natural e antrópica para posteriormente tratar dos recursos, usos e problema e que mais para frente auxilia na etapa de aplicação, que possibilita “uma análise tempo-espacial integrada das inter-relações sociedade-ambiente na construção da paisagem”. (ROSOLÉM e ARCHELA, 2010)

Como assinala Nascimento e Sampaio (2004/2005, p.168) *apud* Guerra et al. (2012):

O geossistema deu à Geografia Física melhor caráter metodológico, até então complexo e mundialmente indefinido, facilitando e incentivando os estudos integrados das paisagens. Desta forma, pode-se afirmar que o método geossistêmico calhou bastante às análises ambientais em Geografia, pois [...], possibilita um prático estudo do espaço geográfico com a incorporação da ação social na interação natural com o potencial ecológico e a exploração biológica.

A Geografia, juntamente com a pedologia, tem um fator importante no estudo da relação homem e solo, pois grande parte das atividades humanas ocorrem na superfície terrestre, isto é, a união entre a geografia e a pedologia pode auxiliar os estudos da evolução histórica do homem sobre o solo, além de conseguir compreender as atividades e transformações do homem nas atividades exercidas, auxiliando e sugerindo técnicas capazes de mitigar os impactos do homem sobre o meio ambiente.

3.2.

O solo como indicador de manejo ambiental

O solo é um recurso importante para a vida na Terra, suportando toda a cobertura vegetal, sem a qual os seres vivos não poderiam existir (BERTOLINE & LOMBARDI NETO, 2010). Nessa cobertura não estão apenas as espécies vegetais, mas também nós, os seres humanos, que executam grande parte das suas atividades nessa superfície. Nesse sentido, “a qualidade do solo determina, de forma significativa, a natureza dos ecossistemas das plantas e a capacidade da terra em sustentar a” (BRAND; WEIL, 2013, p. 1).

Segundo o Manual de Levantamento de Solo elaborado pela Embrapa (2006, p. 27) o solo é:

Uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

Tendo em vista que o solo cobre uma parte significativa da superfície terrestre, também pode apresentar comportamentos distintos de acordo com os fatores de sua formação: material de origem, relevo, clima, organismos e o tempo (GUERRA & BOTELHO, 1996; LEPSCH, 2011; BRANDY, WEIL, 2013; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

O solo tem uma função muito importante para a vida na Terra e pode ser considerado como um recurso renovável, desde que seja utilizado e conservado de maneira adequada, evitando seu desgaste e degradação, pois a sua formação é bastante lenta. Anualmente são formados em média 1 tonelada/hectare de solo (JORGE & GUERRA, 2013). Desta forma, é de suma importância que os solos sejam conservados tanto no presente quanto para as gerações futuras (FULLEN & CATT, 2004)

Para que o solo seja usado da melhor forma, evitando a sua degradação, deve ser feito levantamentos de classificação de aptidão de uso da terra, avaliando a sua capacidade produtiva dentro de um ambiente para posteriormente, elaborar técnicas de manejo que visam a sua conservação. Nesse contexto, visando à conservação do solo, deve se compreender a capacidade de o solo funcionar no seu limite, seja em um ecossistema natural ou manejado, visando sustentar o

seu equilíbrio com os animais, as plantas e a qualidade da água e do ar (DORAN, 1997).

O debate acerca da qualidade do solo se intensificou no início dos anos de 1990, quando a comunidade científica, preocupada com o avanço da degradação do solo no mundo, começou a abordar nos congressos internacionais e publicações a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo (DORAN & PARKIN, 1994; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

A primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, preocupada com o equilíbrio ambiental e o futuro do solo no planeta, dirigiu em 1987 uma comissão com o objetivo de investigar a degradação do solo no mundo e, partir disso, produziu um mapa chamado *Global Asssment of Soil Degradation* (GLASOD), que tinha como função demonstrar para o mundo a atual condição dos solos (GUERRA, 2014).

Atualmente vemos diversos trabalhos, no Brasil e no mundo, em diferentes ciências como na geografia, geologia, agronomia, engenharia florestal, engenharia ambiental, biologia, abordando a degradação do solo e o seu avanço quando relacionados a atividades antrópicas (BERTOLINE, 1985; GALETI, 1982; GUERRA, 2013; 2014; GUERRA & MARÇAL, 2013; GUERRA; CUNHA, 2001; MONTEIRO, 2015; MOURA FERREIRA, 1986; WINTER, 1986).

A preocupação da qualidade do solo alertou o mundo sobre a importância da conscientização e da sua conservação. Diante desse contexto, Doran (1997 apud VEZZANI; MIELNICZUK 2009, p. 744), definiu que a qualidade do solo é:

A capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens.

Nessa perspectiva, deve-se conservar o solo dentro da sua capacidade, uma vez que ele funciona como nutriente para o crescimento das plantas, estoca e promove a ciclagem de nutrientes na biosfera, regula e compartimenta o fluxo de água (DORAN, 1994 apud VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Silva (2003) destaca que cada tipo de solo possui diferenças em relação a disponibilidade de nutrientes, estabilidade de agregados, retenção de água no solo, e diante disso, se faz necessário compreender as propriedades do solo e suas varrições, afim

de utilizar manejar o solo de maneira mais adequada, mantendo a sua qualidade.

Para que o solo seja utilizado da melhor forma possível, afim de preservação, alguns pesquisadores definiram um conceito de indicador de qualidade do solo, com o objetivo de avaliar as qualidades químicas, físicas e biológicas dentro do seu limite natural. Segundo Araújo et al. (2012, p. 189) “a utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente”. O desenvolvimento desse indicador permite caracterizar os solos, prevenindo possíveis degradações, além de auxiliar planos de manejo e normas específicas para o uso do solo em áreas suscetíveis a impactos ambientais.

Vezzani & Mielniczuk (2009) aponta que os alguns indicadores de qualidade do solo foram elaborados na década de 90 por Larson & Pierce (1994) e Doran & Parkin (1994). Esses pesquisadores propuseram alguns indicadores de ordem química, física e biológica do solo, tais como: Teores de C e N orgânico total, pH, N mineral, P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, C na biomassa em relação ao C orgânico total, respiração microbiana em relação à biomassa, textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração da água, capacidade de armazenamento e retenção da água, conteúdo de umidade no solo, temperatura e condutividade elétrica.

Por mais que o debate sobre a qualidade do solo esteja em alta nos últimos tempos ainda vemos impactos ambientais resultantes da ação antrópica sobre o solo. Esses impactos podem acontecer de forma natural, de ordem benéfica ou adversa, tanto nas áreas urbanas como nas áreas rurais. Nesse contexto, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1980 apud GUERRA, 2014) elaborou um quadro (Quadro 1) sobre alguns efeitos antrópicos e naturais sobre o solo.

Quadro 1: Alguns efeitos antrópicos sobre o solo.

| | Ações antrópicas | Condições naturais |
|------------------------------|--|--|
| Fatores facilitadores | <ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento - Superpastoreio - Uso excessivo da vegetação - Taludes de corte | <ul style="list-style-type: none"> - Topografia - Textura do solo - Composição do solo - Cobertura vegetal |

| | | |
|------------------------|---|---|
| | - Remoção da cobertura vegetal para o cultivo | - Regime hidrológico |
| Fatores diretos | -Uso de máquinas - Condução do gado - Encurtamento do pousio - Entrada excessiva de água - Uso excessivo de produtos químicos | - Chuvas fortes - Alagamentos - Ventos fortes |

Fonte: Adaptado de Guerra, 2014.

Nas áreas agrícolas, o solo entre inúmeras funções tem a finalidade de produzir alimentos para a sociedade. Tem se encontrado nessas áreas o descaso com a preocupação da conservação e do seu manejo, que estão gerando problemas na estrutura do solo e na fertilidade. Esses impactos antrópicos podem ser provocados por uso excessivo de produtos químicos/orgânicos, uso de máquinas, encurtamento do pousio, desmatamento, superpastoreio, remoção da cobertura vegetal para o cultivo, salinização, entre outros.

A falta de cuidado com o solo pode comprometer a capacidade e manutenção para geração de alimento no futuro, como também diminuir a qualidade ambiental. O manejo inadequado de solos agrícolas tem aumentado significativamente o número de terras degradadas no mundo (GUERRA, 2014). Araújo et al (2014) alertam que as medidas que visam a conservação do solo em áreas agrícolas geralmente são ausentes, por conta do alto custo para o manejo adequado, da falta de informação sobre as potencialidades e limitações do seu uso e, principalmente, de capital para a criação de medidas mitigadoras, principalmente nos países subdesenvolvidos. Desta forma, percebe-se que é necessária a criação de medidas que promovam uma melhor conscientização dos agricultores sobre os processos de degradação do solo, informando/auxiliando práticas de manejo e técnicas que visam a conservação do solo.

O uso inadequado do solo pode provocar impactos irreversíveis ao meio ambiente. Caso seja usado de forma intensiva, sem um estudo da sua capacidade de uso, pode ocorrer a deterioração das propriedades físicas (modificação da sua densidade, infiltração, estrutura, agregação e porosidade), químicas (alteração do pH, matéria orgânica, perda de fertilidade, perda de carbono orgânico) e biológica (diminuição da atividade biológica)

Portanto, a preservação do solo é de suma necessidade para o futuro da sociedade, do contrário, caso não sejam feitas medidas que visam prevenir a degradação dos solos, podem ocorrer desastres ambientais e econômicas. Os processos que se destinam a recuperação de solos degradados e planos de manejo adequados é um desafio que pode durar décadas, uma vez que a sociedade em um todo precisa estar envolvida nesse processo. Nessa perspectiva é importante preservar, além de tudo, para a vida em sociedade visto que tem sido observado um aumento da população mundial, a qual a destruição desse recurso da natureza está sendo diretamente proporcional.

3.3.

Agricultura e gases de efeito estufa

O aquecimento global, fenômeno que gera preocupação e discussões em todo o mundo, pode ter influência de fatores internos e externos. Entretanto, um dos fatores de grande influência é antrópicos e é relacionado a emissão de gases-estufa e ao já conhecido efeito estufa:

Fatores internos são complexos e estão associados a sistemas climáticos caóticos não lineares, isto é, inconstantes, devido a variáveis como a atividade solar, a composição físico-química atmosférica, o tectonismo e o vulcanismo. Fatores externos são antropogênicos e relacionados a emissões de gases-estufa por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas etc. (SILVA & PAULA, 2009).

O primeiro registro encontrado na literatura científica que aborda a preocupação do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera influenciando no processo de aquecimento global do planeta, remonta de 1896, publicado pelo químico sueco Svante Arrhenius (DIAS, 2014), onde buscava compreender os mecanismos pelos quais o gás carbônico (CO₂) exerça alguma influência na temperatura global do planeta (DIAS, 2014). São encontrados, atualmente, diversos trabalhos relacionando o aumento de CO₂ na atmosfera e suas consequências na temperatura média da Terra, em razão das atividades antrópicas.

O marco para o aumento da liberação de gases poluentes na atmosfera data da primeira Revolução Industrial, durante o século XVIII. Essa revolução simboliza um grande avanço nas técnicas de produção, provocando mudanças bruscas na

forma em que o homem explora e modifica a natureza, além de ter sido significativa nas mudanças das relações sociais. Durante esse período, o carvão mineral passou a ser a principal fonte de energia, acarretando no aumento na liberação de gases poluentes. Antes da Revolução Industrial, a técnica mais utilizada pelo homem para produção de energia era a lenha, que não tem um poder de combustão tão grande comparado com o carvão mineral.

Entretanto é importante ressaltar que o efeito estufa é também um processo natural que ocorre na atmosfera terrestre. Os gases responsáveis pelo efeito, como o dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água, ozônio (O_3), clorofluorcarbono (CFC), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), absorvem uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e irradiam uma parte dessa energia de volta para a superfície do planeta. Como consequência desse processo, a superfície recebe quase o dobro de energia da atmosfera, resultando em um aquecimento da superfície em torno de 30°C . O efeito estufa natural é de suma importância para a vida na Terra, já que sem ele a temperatura média da terra seria negativa (-18°C).

O principal gás responsável naturalmente pelo efeito estufa é o vapor de água troposférico, cuja origem são fontes naturais, como a evapotranspiração e atividades vulcânicas, de acordo com o IPCC(2007). Já os principais gases antrópicos são o N_2O , o CO_2 e o CH_4 . Cada um desses gases, oriundos de atividades antrópicas, em relação as mudanças climáticas, apresentam diferentes impactos atmosféricos levando em consideração seu índice de potencial de aquecimento global (GWP)².

A queima de combustíveis fósseis é o principal fator para o aumento da concentração de GEE na atmosfera, seguindo pela mudança no uso e no manejo do solo, especialmente na agricultura, que através de práticas de manejo inadequadas e pelo desmatamento liberam carbono antes retido no solo e na planta. O aumento da liberação da GEE pela agricultura³ está relacionado ao aumento da produção de alimentos, que necessita cada vez mais de terras agricultáveis. Segundo o relatório do IPCC (2014), as mudanças do uso e do

² Todos fluidos de efeito estufa tem um valor determinado de GWP. Este valor é usado para comparar a capacidade das diferentes substâncias em “segurar” o calor na atmosfera se comparado ao potencial do dióxido de carbono (CO_2), uma vez que esse é o GEE mais abundante.

³ Na agricultura a emissão de N_2O é provocado principalmente pela aplicação de adubos nitrogenados minerais; CO_2 pelo desmatamento, queima de vegetação nativa, aração do solo; CH_4 através da mudança de uso do solo para para exploração pecuária (GOMES, 2006).

manejo do solo são responsáveis por, aproximadamente, um quarto das emissões de GEE. De acordo com o relatório da FAO (2014), entre os anos de 2001 e 2011 houve um aumento da de liberação de CO₂ de 4,7 milhões de toneladas para 5,3 milhões de toneladas, ou seja, um aumento de 14%.

Segundo Cerri et al. (2007) os GEEs emitidos nos trópicos são relacionados ao desmatamento, aumento da fronteira agrícola e a queima, enquanto nas regiões temperadas os GEEs são originados de combustíveis fósseis no transporte e no setor industrial.

Cerri et al. (2007) destaca que as atividades agrícolas, que envolvem desde o desmatamento, o preparo do solo, a calagem e a irrigação, são as principais atividades humanas que tem provocado o decréscimo de carbono no solo associado ao aumento na decomposição da matéria orgânica. Sendo assim, o solo cumpre um papel muito importante frente a essa problemática, já que é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema, representando o maior reservatório terrestre de carbono, contendo, aproximadamente, entre 1200 a 1600 Pg (SUNDAQUIST, 1993; LAL, 2008). Portanto o estoque de carbono no solo é dependente das práticas agrícolas e o modo de uso da terra (BERNOUX et al., 2005).

Cerri et al (2009), avaliando as emissões de CO₂, CH₄, e N₂O no Brasil, através da metodologia Climatic Analytist Indicator Total, concluíram que as principais emissões de GEEs são oriundos das mudanças da mudança do uso da terra e da agropecuária, representando 75, 91 e 94%, respectivamente. De acordo com os mesmos autores, o Brasil ocupa o 17º lugar no ranking dos países que emissores de GEE, contudo se fosse acrescentado a mudança do uso da terra e das atividades agropecuárias, o Brasil iria ocupar a quinta posição.

Desta forma, pode se observar que as atividades humanas, principalmente nos últimos séculos, têm proporcionado um aumento da liberação de GEEs na atmosfera. Nesse sentido, frente a problemática de aquecimento global em atenuar os GEEs, devem ser adotadas medidas, em escala global, que contribuem para a diminuição ou mitigação desses gases. Existem diversas alternativas que contribuem para a diminuição desses GEE, como plantio direto, uso de leguminosas como plantas de coberturas em sistema de rotação de culturas, biocarvão, entre outros.

3.4.

Biocarvão

3.4.1.

A origem e produção do biocarvão

O biocarvão, ou *biochar*⁴, é um produto rico em carbono obtido quando a biomassa (como madeira, folhas, estrume ou outro material de origem orgânica) é aquecido em um ambiente fechado com pouca ou nenhuma presença de O₂. (LEHMAN & JOSEPH, 2009.).

O estudo e aplicação de biocarvão é relativamente recente, mas vem crescendo devido a sua grande capacidade ambiental, pois têm a capacidade de melhorar a qualidade química e física do solo, podendo aumentar a produção de alimentos, sequestro de carbono e a redução de gases de efeito estufa (LEHMAN & JOSEPH, 2009; TEIXEIRA et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2017).

A inspiração para o estudo do biocarvão remete a Amazônia, região que possui uma vegetação densa, altos índices de temperatura e pluviométricos, solos ácidos, pobres em nutrientes e que exibe apenas uma camada superficial de húmus produzida pela floresta (KERN, et al., 2009; MANGRICH et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2017;). Em primeiro momento, por conta da sua característica climática e pedológica, pensamos que essa região apresenta solos pobres em nutrientes em todo o seu território. Contudo, as atividades humanas deixam marcas no espaço, principalmente por conta das técnicas utilizadas pelo homem. As técnicas usadas pelos indígenas pré-colombianas, que viveram nessa região há séculos, modificaram significativamente, os solos de algumas áreas da Amazônia, os deixando ricos em nutrientes. O registro de carvão no solo no Brasil não se restringe apenas na Região Amazônica, sendo encontrados vestígios na Mata Atlântica, mais especificamente no Sudeste brasileiro (OLIVEIRA, 2007).

Um exemplo a respeito da influência da população indígena são as terras de coloração escura, com alto teor de nutrientes, como Ca, Mg, Zn, Mn, P e C. Por conta da sua coloração escura, esses solos são conhecidos e encontrados nas literaturas “como *Terra Preta Arqueológica* (TPA), *Terra Preta de Índio* (TPI) ou

⁴ Biochar (do grego bios = vida e do inglês char = carvão).

Terra Preta (TP), além de uma variante menos divulgada, a *terra mulata*” (SIMBROEK, 1996 apud KERN et al., 2009, p.72). O solo possui coloração escura por conta da presença de material orgânico decomposto, originado tanto do carvão residual das fogueiras domésticas, quanto da queima da vegetação para o uso agrícola (KERN et al., 2009). Ainda não se está muito claro se formação desse solo antropogênico foi intencional ou um subproduto das atividades agrícolas e de ocupação do povo pré-colombiana (BENITES et al., 2010). Nessas áreas ocupadas pelos indígenas são encontrados ossos de animais, fragmento de cerâmicas, carapaças marinhas, resquícios de sementes, madeiras, entre outros.

Não existe um dado correto da área total de TP. Segundo Smobroek et al. (2003) apud Kern *et al.* (2009) estimam que as TPs cobrem 0,1% a 0,3% ou 6mil a 18mil km² da Bacia Amazônica (6Mi. km²), mas tem estimativa que a área total da TP pode chegar a 10% (MANGRICH et al., 2011; REZENDE et al, 2011). As TPs também podem ser encontrados em países próximos ao Brasil, como Colômbia, Equador, Guiana e Venezuela (KERN et al., 2009).

Os primeiros relatos sobre as TPs foram escritos por Charles Hartt & Joseph Beal Steere, por volta da dos anos de 1870 e 1871 (WOODS & DENEVAN, 2006 apud KERN et al, 2009). Esses relatos chamaram a atenção da comunidade internacional por conta das suas características, coloração escura, rica em nutrientes, presença de fósseis e cerâmicas. Diversos cientistas e pesquisadores, como geólogos, naturalistas, geógrafos, agrônomos, antropólogos foram para a região Amazônica buscar compreender as características desse solo (KERN et al., 2009)

As características, tanto agronômicas, quanto ambientais, tem proporcionado o aumento do estudo do uso de biocarvão para fins de produção agrícola e para fins ambientais, uma vez que pode proporcionar nutrientes para o solo, estoque de carbono, aumento das atividades microbianas, retenção de água e melhorias nas propriedades físicas do solo.

O termo *biochar* foi utilizado pela primeira vez em 1998, para caracterizar um resíduo sólido derivado de biomassa através da pirólise (SPOKAS et al, 2012). Todavia, Lehman e Joseph (2009) enfatizam que a diferença entre o biocarvão e carvão convencional é a sua aplicação, isto é, o biocarvão é produzido com a intenção de ser aplicado no solo como meio de melhorar as qualidades do solo.

A produção de biocarvão se dá através da pirólise, na qual a biomassa é aquecida em temperaturas entre 300° e 700°, em condições de pouco oxigênio (LEHMANN & STEPHEN, 2009; VERHEIJEN et al., 2010), fornecendo a partir disso três tipos de produtos finais: a biomassa sólida, líquida e/ou a gasosa. A transformação de biomassa em biocarvão, através da pirólise, pode não ser a melhor alternativa para reaproveitamento da matéria orgânica, no entanto ela se destaca como uma tecnologia de baixo custo e fácil execução (BASU, 2010)

As características químicas e físicas do biocarvão dependem de diversos fatores, como a qualidade da matéria-prima, o tipo de biomassa, metodologia, condição de pirólise, disponibilidade de oxigênio durante a queima (BRUNN et al., 2012). Lehmann et al. (2006) afirmam que a pirólise, por si só, contribui para a liberação de aproximadamente 50% do carbono presente na biomassa, o residual (conhecido como biocarvão), é altamente estável se comparado com a biomassa sem tratamento térmico.

A pirólise pode ser dividida em dois tipos, a lenta e a rápida. A pirólise lenta consiste na reação com baixa temperatura de aquecimento e longa duração, proporcionando a transformação da biomassa em um produto mais sólido, diminuindo a quantidade de gás e líquido. A pirólise rápida é feita com elevadas temperaturas e curta duração, favorecendo a perda de biomassa e liberação de gases e vapores condensáveis (LEHMANN & STEPHEN, 2009). Sendo assim, a temperatura utilizada durante o processo da pirólise afeta as características finais do biocarvão (LEHMANN & STEPHEN, 2009; TEIXEIRA et al, 2017)

Quando comparado a outras biomassas, o biocarvão apresenta maior proporção de C aromático e estrutura aromática, proporcionadas durante o processo de pirólise. Por conta dessa estrutura aromática, o seu uso é favorecido como recalcitrante no solo e, por isso, é um material eficiente para o sequestro de carbono (TEIXEIRA et al., 2015). Para Mangrich et al. (2011), o mecanismo que confere ao biocarvão capacidade de atuar no sequestro de carbono nos solos é a sua alta estabilidade química, apresentando uma estrutura interna estável, semelhante ao grafite, e uma estrutura periférica reativa, devido à presença de diferentes grupos químicos capazes de se ligar a diversas substância como água, nutrientes e substancia orgânicas.

Em relação a composição química, o biocarvão é altamente heterogênic, com exceção do pH, que normalmente é maior que 7. Tanto as propriedades

químicas e estruturais do biocarvão vão depender, basicamente, de dois fatores: o tipo de pirólise e a matéria prima utilizada (LEHMANN & STEPHEN, 2009).

O aumento da produção e do consumo tem provocado, consecutivamente, no aumento de resíduos, que, por sua vez, são descartados, em grande maioria, sem um destino final adequado, tornando-se passivos ambientais. A transformação desses resíduos em biocarvão, através da pirólise, pode ser uma alternativa positiva quando se trata em gestão ambiental, uma vez que o biocarvão pode ser utilizado para geração de energia, condicionador do solo e aumento da produtividade agrícola, recuperação de áreas degrada, mitigação os efeitos estudar, reaproveitamento de resíduos, entre outros (Figura 1) (TEIXEIRA et al., 2015; LEHMANN & STEPHEN, 2009).

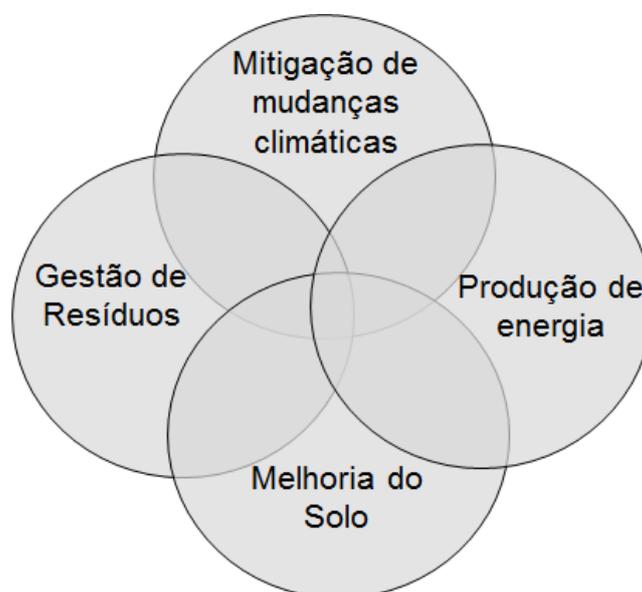


Figura 1: Benefícios da produção do biocarvão. Fonte: (Adaptado de Lehmann & Joseph, 2009).

Diversos estudos avaliam o emprego e a viabilidade do biocarvão, seja para produção de energia, condicionador do solo, reaproveitamento de biomassa e mitigação do efeito estufa. No entanto, a maioria dessas pesquisas visam compreender a influência do bicarvão nas propriedades físicas e químicas, afim de possibilitar melhorias no solo e aumento da produção de alimentos (HOSSAIN et al., 2010; LEHMANN, 2011; LIANG et al, 2009; 2014; 2010).

Bierdeman e Harpole (2012), realizaram uma análise de metadados sobre o efeito do biocarvão de diferentes matérias primas, pirólises e sobre aplicação em diferentes tipos de solo, clima e cultivo. Os pesquisadores verificaram que a grande maioria dos trabalhos o biocarvão proporcionou aumento no pH e nos teores de C, K, P e N.

Rodrigues et al., (2016) analisaram o efeito do biocarvão produzido com folhas e raques de palmeira dendê como condicionador do solo para o cultivo de eucalipto durante o período de 87 dias. Para o experimento, os pesquisadores utilizaram um vaso com capacidade para 2,2 kg, sendo que metade do vaso foi preenchido com solo seco e a outra metade com uma mistura de solo e biocarvão (160g). No final do experimento, os referidos autores encontram um aumento significativo de CTC, M.O, maior capacidade de retenção de água. Houve também um aumento expressivo dos nutrientes P, Ca, Mg, K, B e Mn no solo. Porém, nessa pesquisa os referidos autores não encontraram aumento de os nutrientes foliares do eucalipto.

Souza (2017) avaliou a aplicação do biocarvão originado de lodo de esgoto na qualidade química do solo e no desenvolvimento agrônômico do rabanete. Para o experimento, o autor aplicou as seguintes doses 0 (controle); 20; 40; 60; 80; e 100 mg ha⁻¹. O autor encontrou melhoria na fertilidade do solo proporcional ao aumento da dose de biocarvão.

3.4.2.

Potencialidades do biocarvão na atualidade

As atividades humanas provocam diversos impactos ambientais, ainda mais com o aumento da população mundial, necessitando cada vez mais de alimentos e produtos industriais e naturais. Nesse sentido, o biocarvão pode ser analisado de acordo com os seguintes aspectos:

1. As atividades humanas vêm aumentando o processo de degradação do solo. Segundo o relatório do *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD) apud Guerra (2014), a degradação e perdas de solo vem aumentando drasticamente, levando ao abandono de muitas áreas antes produtivas, pois se tornaram economicamente inviáveis para o uso agrícola. Ainda segundo o relatório da GLASOD, a perda de solos

agrícolas se dá uma taxa de 6 a 7 milhões de hectares por ano, com aumento significativo de 1,5 milhões de hectares perdidos, devido a exploração de madeira, salinização e acidificação. Nessa perspectiva, a utilização do biocarvão pode contribuir para a estrutura do solo, maior retenção de água e nutriente, mais eficiência no uso dos fertilizantes, melhoria na produtividade e redução da contaminação dos recursos hídricos (LEHMANN & JOSEPH, 2009), diminuindo a degradação do solo, o abandono de terras improdutivas e melhorando a produção de alimentos.

2. O aquecimento global, tema que tem grande destaque mundial, não é um fenômeno novo, principalmente, porque ele está ligado à intensificação de um fenômeno existente há milhões de anos, o efeito estufa. O aquecimento global tem preocupado bastante a comunidade científica internacional, uma vez que tem se registrado o aumento dos gases de efeito estufa em razão das atividades humanas, essencialmente, depois da primeira Revolução Industrial, durante o século XVIII. O solo tem um papel fundamental diante à essa problemática exposta, já que o solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema, e por apresentar em média 4,5 vezes mais carbono do que a biota e 3,3 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999). Grande parte do carbono no solo é perdido como CO₂ para atmosfera quando os ecossistemas naturais são transformados em áreas agrícolas, tornando o solo fonte potencial de liberação de CO₂ na atmosfera. Contudo, caso seja feita prática de manejo adequado, o solo pode servir como retenção de CO₂. Nessa perspectiva, a incorporação de biocarvão no solo é viável, visto que a sua natureza recalcitrante e estável dificulta a decomposição, que antes seria liberado para a atmosfera na forma de CO₂, tem o potencial de mitigar milhares de anos de emissão através do sequestro de C no solo (LEHMANN & JOSEPH, 2009).
3. O aumento do consumo mundial tem provocado, consecutivamente, o aumento dos resíduos sólidos, tanto orgânicos quanto industriais. Só na América latina são descartados por dia 145 mil toneladas de resíduos orgânicos. Caso esses resíduos não sejam depositados de maneira adequada, podem provocar danos ambientais, podendo acarretar impactos irreversíveis ao meio ambiente, desde a contaminação do solo

e do lençol freático, emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, assoreamento de corpos d'água, poluição visual e imobilização de nutrientes por microrganismos, impactando diretamente na qualidade ambiental, visto que, muitos desses resíduos demoram anos para ser decompor. Em relação ao resíduo orgânico, o mesmo pode ser transformado em biocarvão por meio de pirólise, proporcionando melhorias nas características químicas, física e biológicas no solo (TEIXEIRA et al., 2015), reduzindo a quantidade de resíduos que seriam descartados, além de ser potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar as qualidades nutricionais do solo.

3.5

A cultura do coqueiro e a sua espacialização no território brasileiro

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) é uma frutífera perene bastante difundida pelo mundo, principalmente entre os países com climas intertropicais, como alguns países da África, Ásia, América Latina e da região do Oceano Pacífico (SIQUEIRA et al., 2002). Em virtude da sua ampla distribuição pelo mundo e de sua adaptabilidade, o cultivo do coco tem diversos fins comerciais, tanto em sua forma *in natura* quanto industrializado.

É possível encontrar a produção comercial de coqueiro em aproximadamente 90 países. Grande parte da produção advém de pequenos agricultores com áreas de até cinco hectares, que são responsáveis por cerca 90% da produção mundial (MARTINS & JESUS JUNIOR, 2011). Contudo, 90% da produção mundial de coco é concentrada em nove países, Indonésia, Filipinas, Brasil, Sri Lanka, Índia, Vietnã, Papua-Nova Guiné, Tailândia e México (CAVALCANTE, 2015).

A produção dessa cultura no Brasil é encontrada em quase todo território nacional, com exceção dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, pois possuem climas que não são propícios para o cultivo (CUENCA, 2002; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016). O clima da Região Sul não favorece para produção dessa cultivar, uma vez que, a cultura do coqueiro exige condições adequadas para uma boa produtividade, como pluviosidade anual entre 1500 e 2000mm, bem distribuídos ao longo do ano e temperaturas adequadas.

No Brasil, a maior parte da sua produção de coco⁵, também conhecido como coco-da-baía, se concentra nas regiões Norte e Nordeste do país, onde encontramos um clima favorável para a produção. Contudo, o cultivo na região Sudeste tem uma grande importância econômica, sendo a região que mais consome esse produto *in natura* e água de coco envasada, água de coco armazenada em caixinhas ou em latinhas (Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerante e Bebidas Não Alcoólicas, 2018). No território nacional, 70% da produção nacional vem de por pequenos agricultores com propriedades de até 10 ha (MARTINS & JESUS JUNIOR, 2011; SIQUEIRA et al, 2002; ARAGÃO et al., 2009).

Analisando os dados levantados pela Produção Agrícola Municipal (PAM), do IBGE (Tabela 1), o Brasil passou por um aumento de significativo de área plantada e quantidade produzida de 1990 até 2010, por mais que o levantamento realizado em 2017, demonstrou uma queda de produção. Esse aumento na produção entre dos anos 90 até do o levantamento realizado em 2010, se deve as novas tecnologias de produção, como insumos agrícolas, maquinários, irrigação controlada, aumento do mercado consumidor, tanto dentro do Brasil quanto fora do Brasil.

O Nordeste se destaca na produção nacional, tanto na qualidade produzida quanto em área plantada, com a sua produção aumentada em 2010. Isso se deve ao fato do Nordeste ter um clima favorável para a produção e concentração as principais agroindústrias, que abastecem o mercado nacional e internacional (CAVALCANTE, 2015).

Pode-se observar na (Tabela 1) a expansão da produção de coco para outras regiões, como Centro-Oeste e do Sul, que até o levantamento de 1990, não possuía uma produção da cultura, porém passou a ter um aumento nos últimos anos, mesmo com uma área plantada e quantidade produzida bem abaixo das outras regiões; a região Norte, justamente com o Sudeste, teve um aumento na área planta e na quantidade produzida. O Sudeste teve uma ascensão da produção nos últimos anos, isso se deve ao fato das melhorias técnicas na produção e o aumento do mercado consumidor, uma vez que, é a região que mais consome água de coco, além de possuir industriais responsáveis pelo

⁵ O dado do IBGE não faz diferenciação entre as diferentes cultivarias do coqueiro: anão, híbrido e gigante, além de não diferenciar coco seco e coco verde.

envasamento do produto localizados no Espírito Santo. A industrialização da água de coco no Espírito Santo é uma das causas da diminuição da produção de coco nos outros estados da região Sudeste.

Tabela 1: Produção de coco por Regiões do Brasil. Área planta (hectares); Quantidade produzida em 1.000 frutos. 1990 - 2017

| | | 1990 | 2000 | 2010 | 2017 |
|---------------------|----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Brasil | Área plantada | 215.652 | 266.577 | 276.934 | 216.724 |
| | Quantidade produzida | 734.418 | 1.301.411 | 1.895.635 | 1.561.961 |
| Norte | Área plantada | 13.352 | 18.120 | 28.493 | 20.582 |
| | Quantidade produzida | 104.053 | 162.175 | 255.048 | 186.528 |
| Nordeste | Área plantada | 199.746 | 232.426 | 224.293 | 179.345 |
| | Quantidade produzida | 616.698 | 932.960 | 1.297.528 | 1.155.783 |
| Sudeste | Área plantada | 2.551 | 14.144 | 20.411 | 14.990 |
| | Quantidade produzida | 10.646 | 186239 | 300517 | 200.618 |
| Sul | Área plantada | 0 | 0 | 202 | 229 |
| | Quantidade produzida | 0 | 0 | 2282 | 1.504 |
| Centro-Oeste | Área plantada | 3 | 1.887 | 3.535 | 1.578 |
| | Quantidade produzida | 21 | 20.037 | 40.260 | 17.528 |

Fonte: IBGE/PAM. Elaboração própria

O surgimento e a intensificação da produção de coco no território brasileiro é uma consequência do aumento da demanda de coco verde no país. Motivados com esse mercado que vem crescendo a cada ano, produtores tem intensificado cada vez mais a sua produção com tecnologias que aumente a produtividade.

A indústria relacionada ao coco tem uma relevância na economia brasileira, uma vez que a sua produção atende tanto o mercado interno quanto o mercado externo. Segundo dados analisados entre os anos de 2003 e 2010 pela Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerante e Bebidas Não Alcoólicas (ABIR), o consumo de água de coco é um dos mercados que mais cresce no Brasil, estando atrás apenas de bebidas energéticas, bebidas à base de soja e do guaraná (CAVALCANTE, 2015), com um crescimento de 6% ao ano. Nesse sentido, a comercialização de água de coco é responsável por gerar renda e emprego, já que grande parte da produção é realizada por pequenos agricultores, aquecendo ainda mais o mercado interno.

Baseado nesse crescimento de mercado, tanto nacional quanto internacional, observou-se um aumento da produção de água de coco em todo território nacional, mais especificamente no Nordeste, região onde se concentram as

agroindustriais responsável pela industrialização do coco, como a Cohidra, Ducoco e Sococo, que atuam com maior intensidade na tecnologia para produção e no processamento industrial do coco (CAVALCANTE, 2015), visando sempre aumentar a sua produtividade e melhoria da produção.

Cavalcante (2015) ao analisar a espacialização de coco no Brasil, observou que as principais industriais responsáveis pela industrialização da água de coco se encontram no Nordeste e no Nortel do Brasil, porém são encontraram também indústrias na região Sudeste, mais especificamente no Espírito Santo. A localização de indústrias no Espírito Santos é estratégica, uma vez que, é favorecia por estar presente na região de maior mercado consumidor de água de coco envasado, além de estar próximo ao estado de São Paulo, maior consumidor do produto.

O estado do Rio de Janeiro não tem uma produção expressiva de coco, estando atrás da Bahia, Ceará, Sergipe, Pará, Espírito Santo, Paraíba e Pernambuco (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016).

A produção de frutos em um coqueiro ocorre de maneira contínua, com cachos sendo produzidos em intervalos de 24 a 30 dias, totalizando de 12 a 16 cachos por ano, e cada cacho contém de 15 a 20 frutos (FERREIRA NETO, 2002). Segundo Aragão (2002), um coqueiro anão apresenta uma boa produtividade quando produzem de 150 a 200 cocos por ano. Para que o cultivo de coco tenha uma produção adequada é necessário que ele esteja crescendo em condições climáticas favoráveis, além de um solo de boa fertilidade e a realização de práticas de adubação adequadas.

Malavolta et al. (1974) apud Ferreira Neto (2005) destaca que o coqueiro necessita de grandes quantidades de nutrientes para a formação de seus frutos, raízes e engrossamento do caule. Os nutrientes mais extraídos do solo são o nitrogênio (N) e o potássio (K), seguidos de cloro (Cl), fósforo (P), magnésio (Mg), enxofre (S) e cálcio (Ca) (FERREIRA NETO, 2005 apud OUVRIER, 1984). A importância dos nutrientes para o coqueiro é classificada na seguinte ordem: $K > N > Cl > Ca > Mg > Na > P > S$ (OUVRIER, 1990). O N e o K, considerados os dois macronutrientes mais importantes para a cultura, também são os mais absorvidos (MANCIOT et al, 1979; MAGAT, 1991; SOBRAL, 1998; SOBRAL, 2003) e na deficiência destes, toda fisiologia e desenvolvimento do coqueiro são comprometidos (FREMOND et al., 1966 apud SOBRAL, 2003). De acordo com

Malavolta (2006) apud Câmara (2016) o cloro é considerado macronutriente para a cultura do coqueiro.

Através da observação do coqueiro, pode-se observar se o mesmo está com deficiência em algum nutriente, demonstrando que a deficiência é muito severa. Essa ausência pode ser visível na folha, através da sua coloração, na diminuição de cachos femininos, diminuição no número de folhas, no número de cocos e no vigamento dos frutos (SOBRAL, 2000). Porém, em alguns casos, mesmo que os teores dos coqueiros estejam abaixo do nível crítico, a planta pode não apresentar sintomas visuais de deficiência. De acordo com Ribeiro et al. (2016, p. 22), isso pode ser ocasionado pela “fome escondida”, quando as “plantas estão com deficiência de determinado nutriente, mas não apresentam os sintomas”.

Nesse sentido, caso não seja feita uma adubação correta, com os nutrientes essenciais em quantidade adequada, os coqueiros podem ser diretamente afetados, reduzindo o número de folhas, cachos, tamanho dos frutos, e o vigamento dos mesmos. O coqueiro pode reduzir seu crescimento e produtividade quando apresentam na análise foliar níveis de nutrientes considerados críticos:

4.

Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no Município de Seropédica⁶, no estado do Rio de Janeiro, com área territorial de aproximadamente 283,8 km² e faz parte da região metropolitana do Rio de Janeiro, estando próxima à eixos rodoviários importantes, como o Arco Metropolitano e a rodovia Presidente Dutra.

Ao longo da história, Seropédica passou por diversos usos e ocupações, que provocaram mudanças significativas na paisagem e na dinâmica espacial. Nesse sentido, se faz necessário realizar um levantamento geo-histórico dos principais agentes e fatores que provocaram tais mudanças.

As primeiras atividades antrópicas em Seropédica remontam ao século XVII, com a chegada dos padres Jesuítas na região. Contudo, ao longo dos anos, Seropédica passou por diversas disputas de interesse, mudando a dinâmica no território, acarretada por diversos fatores que iremos ver brevemente nesse capítulo, como as atividades agrícolas, exploração econômica de areia, sua emancipação do município de Itaguaí, urbanização, industrialização, entre outros.

4.1

Uma breve história da ocupação e transformação da paisagem no município de Seropédica

4.1.1

Seropédica, de grande produtora agrícola à espaço urbano

O município de Seropédica teve ao longo da história diversos atores que atuaram e transformaram o seu espaço; o uso do solo passou por diferentes funções, desde espaço agrário, até exploração mineral de areia, que provocou alterações significativas na paisagem. Essas atividades antrópicas acarretaram mudanças não só na paisagem como também no meio ambiente e na dinâmica

⁶ A área territorial de Seropédica corresponde a 5,7% da área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

espacial. Nesse sentido, para compreender melhor os processos históricos que ocorreram na região, se faz necessário um levantamento geo-histórico.

Em primeiro momento as terras eram ocupadas pelos povos indígenas, os tupis e os tamoios. Contudo, com a chegada dos europeus, essas terras passaram a fazer parte da Capitania de São Vicente, no sistema de Capitânicas Hereditárias, criada pela Coroa Portuguesa durante o século XIV e entregue no Brasil em 1534, com o objetivo de controlar melhor o território.

Em 1567, Cristóvão Monteiro recebeu uma carta de doação de sesmarias, por ter combatido os franceses até a sua expulsão (TAVARES, 2011; AMANTINO, 2018), passando a ser proprietário da área que originou a Fazenda de Santa Cruz. Antes do seu falecimento, Cristóvão Monteiro registrou como herança a vontade de doar as terras para os jesuítas, sendo cumprida após o seu falecimento, em 1569, pela Marquesa Ferreira, viúva de Cristóvão Monteiro. Foi doado metade das suas terras para os padres jesuítas (TAVARES, 2011), a outra metade das terras ficou de herança para ela e sua filha (ARQUIVO NACIONAL, 2017)

Com o controle territorial da sesmaria, essa terra então se tornou Fazenda de Santa Cruz, passando a ser administrada e controlada pela Ordem da Companhia de Jesus, que ampliou seu território através da compra de outras terras. Essa fazenda possuía uma grande extensão territorial, formando um grande latifúndio equivalente ao município de Itaguaí e grande parte dos municípios vizinhos (ROSSETE, 1999). A fazenda de Santa Cruz chegou a possuir uma área de aproximadamente, 1.800 km², equivalendo a 10% do território atual do estado do Rio de Janeiro.

A sua localização geográfica privilegiava favorecia diversas atividades, como a saída para a Baía de Guanabara, que facilitava o transporte de pessoas e mercadorias, além de rios navegáveis, como o rio Guandu e o Guandu-Mirim, que promoviam a cabotagem, além de serem cercados por vegetação, que era usada para exploração de madeira, essencial para fornecimento de energia (TAVARES, 2011; SILVA & OLIVEIRA, 2018).

A Fazenda de Santa Cruz possuía características naturais que necessitavam de adaptações para facilitar as atividades ali empregadas. Por conta disso, os jesuítas elaboraram um mapa que permitisse planejar onde as atividades melhor se adaptassem na fazenda, seja para produção de anil e arroz, criação de

gados, na pesca, cana-de-açúcar, café, funilarias, ourivesaria, cortume, olaria e no fornecimento de madeira (FRIDMAN, 2002). Dentre as atividades econômicas realizadas na Fazenda de Santa Cruz, a criação de gado bovino era a que mais se destacava, destinando grande parte da sua produção para o mercado consumidor do Rio de Janeiro.

Como se tratava de um grande latifúndio que exercia diversas atividades, era necessária uma quantidade significativa de mão de obra, sendo basicamente mão-de-obra escrava. Essa mão de obra escrava foi utilizada para as mudanças necessárias para melhor utilização da fazenda, como obras de engenharia em decorrência das cheias dos rios, para facilitar as atividades que ocorriam dentro da fazenda de Santa Cruz, já que como é área de baixada os rios constantemente provocavam inundações, dificultando a produção agrícola, a diminuição da área de pasto e o deslocamento de pessoas e mercadorias. Nesse sentido, afim de diminuir as cheias que constantemente ocorriam, os Jesuítas, “construíram diques e vales transversais de drenagem e irrigação, e o rio Guandu teve parte de suas águas desviadas para o rio Itaguaí” (SILVA, OLIVEIRA, 2018, pg. 44). Essas obras provocaram mudanças na paisagem e na dinâmica natural do rio, uma vez que teve o seu curso desviado.

A característica geomorfológica dessa região, aproximadamente o mesmo nível do mar, e sua pouca ou nenhuma declividade fazia com que os rios que desciam da serra, ao chegarem à planície, perdessem a vazão e formassem grandes alagadiços, além de tornar a região inundável com as chuvas (SILVA, OLIVEIRA, 2018)

A chegada da família real provocou mudanças políticas no Brasil, acarretando na expulsão, em 1759, da Companhia de Jesus do Brasil, baseando-se na filosofia de laicizar o Estado (TAVARES, 2011). Após a expulsão dos jesuítas, a Fazenda de Santa Cruz foi incorporada aos bens da Coroa e sendo utilizada posteriormente como casa de veraneio de D. Pedro.

A expulsão dos Jesuítas, juntamente com a falta de administração da Coroa, acarretou em um processo de declínio das atividades econômico na região, provocando um vazio demográfico e uma diminuição de produção agrícola e pastoril (TAVARES, 2011; SILVA & OLIVEIRA, 2018). Nesse sentido SILVA & OLIVEIRA (2018), complementa:

Com uso de mão-de-obra escrava, tornaram a fazenda grande produtora de gêneros agrícolas, desde o início do século XVII. Mas o vazio administrativo deixado pelos padres teve como consequência a lenta decadência produtiva da parcela que poderia ser aproveitada diretamente pelo governo.

Nessa sequência, Tavares (2011) complementa:

Todo o período em que passou sendo alvo de incompetência administrativa, podaram consideravelmente seu potencial produtivo. Fica a ideia de que toda a sua área poderia ter sido bem melhor aproveitada, tanto a produção agrícola quanto a pastoril, não fosse essa oscilação entre bons e maus administradores. A fazenda poderia sim ter uma participação muito maior e mais qualitativa no comércio de abastecimento do Rio se não tivesse passado pelo descomprometimento de alguns na sua parte administrativa.

A abertura da antiga Rodovia Rio–São Paulo pelo território do município de Seropédica, até então distrito de Itaguaí, juntamente com as obras de saneamento da Baixada Fluminense, proporcionou o reerguimento da economia na região.

Em 1948 foi transferido para o distrito de Seropédica, pertencente ao município de Itaguaí, a Universidade Rural, que antes estava localizada no bairro da Urca, na cidade do Rio de Janeiro. A transferência da universidade impulsionou o desenvolvimento urbano para Seropédica.

A presença da Universidade proporcionou à região um grande desenvolvimento, especialmente na agropecuária. A agropecuária passou a ter um crescimento acelerado, especialmente nos cultivos de hortaliças, pomares de laranjas e nas atividades pecuárias (GÓES, 1994). Essa instituição, além de ser um polo universitário, era voltada para pesquisa e aprimoramento agrônomicos, proporcionando um aumento das atividades agrícolas na região, principalmente nos núcleos de Santa Cruz, Piranema e Santa Alice (ROSSETE, 1996). Contudo, esse aumento da produção não foi contínuo, pois houve uma expansão da malha urbana e não ocorreu uma modernização tecnológica na produção do campo.

Com o objetivo de incentivar a agricultura, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária implementou no começo da década de 60 um projeto de colonização agrícola, padronizando lotes em 10 hectares cada, em áreas próximas a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), intensificando mais a atividade agrícola em Piranema (Góes, 1994).

A urbanização trouxe mudanças no uso do solo e na função social através do aumento populacional, vindo de estudante, professores e técnicos administrativos. Esse aumento, consecutivamente, veio acompanhado de desenvolvimento comercial, prestação de serviços, infraestrutura, aumento do número de casas para atender os professores, técnicos e alunos.

Somente em 1995 Seropédica se emancipou de Itaguaí. A emancipação ocorreu durante o governo de Marcello Alencar, governador do estado do Rio de Janeiro, através da Lei estadual n 2.446 de 12 de outubro.

Até da década de 60, a produção agropecuária de destacava na região, porém, com a descoberta de uma área rica de areia e argila, os proprietários rurais passaram a arrendar suas terras para a exploração mineral (GÓES, 1994), já que a qualidade do solo, a constate inundação e a falta de tecnologia provocaram uma diminuição da produção.

A exploração de areia durante a década de 70, provocou mudanças significativas na paisagem, uma vez que é necessário desmatar, cavar e, posteriormente, surgem as criações dos lagos. No primeiro momento, a exploração no local era, como destaca Ferreira (2016), artesanal, mas com o aumento da demanda, acarretando o aumento da produção, a exploração passou a utilizar equipamentos mais sofisticados.

O surgimento de pequenas áreas extrativas minerais teve sua expansão nesta época, principalmente pela ausência sistemática de um controle ambiental (fiscalização, monitoramento e ordenação espacial), ocupando antigas áreas planejadas para o uso agrícola (GOES, 1994).

De acordo com o Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região Hidrográfica da Baía de Sepetiba, a exploração de areia na Formação Piranema é responsável pela produção de 70% da produção estadual e 90% do abastecimento de areia da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. A área explorada na Formação Piranema é de altíssima qualidade, intensificando a produção e exploração, provocando, conseqüentemente, maiores mudanças no solo, paisagem e impactos ambientais.

Desta forma, acredita-se que a diminuição de espaços agrícolas ocorreu em conjunto de diversos fatores da dinâmica do capital no espaço, como o processo de espaço da malha urbana, provocado pela expansão das indústrias que buscavam novos espaços, o abandono das áreas agrícolas em busca de melhor

qualidade de vida nas cidades centrais, como a ida para o município do Rio de Janeiro, a expansão do mercado areeiro na região, que ocupou quase 10% do município de Seropédica, a falta de políticas agrícolas, a ineficiência no sistema de comercialização, dentre outros, são fatores que impõem o desafio do crescimento desse setor. Atualmente, segundo levantamento da Secretaria de Seropédica, a atividade agrícola é responsável por menos 1% do PIB do município. Concomitantemente a esse processo, a abertura de novos polos agrícolas, como por exemplo, a região serrana do Estado, culminou com a erradicação total das produções de maior envergadura, tendo sido o cultivo da laranja o último deles, nos fins dos anos 60” (BERBERT, 2003).

4.1.2

Espacialização da produção de coco em Seropédica

A produção agrícola em Seropédica está inserida no contexto de reestruturação produtiva que ocorre no espaço. Nesse sentido, a cidade de Seropédica passou por inúmeras transformações, de grande produtor agrícola durante a ocupação jesuítica, para uma cidade majoritariamente urbana, com exploração mineral, indústrias e cidade universidade. Deste modo, nota-se uma nova organização produtiva na agricultura, não sendo mais tão significativa para o município, representando menos de 1% do PIB do município. Deste modo, a produção agrícola, em especial o cultivo de coco, se encaixa perfeitamente nessa mudança socioespacial.

Com as novas dinâmicas espaciais, especialmente pela expansão das áreas urbanas no estado do Rio de Janeiro, acarretou na diminuição nas atividades agrícolas na região. A produção de coco no Rio de Janeiro é realizada em quase todos os municípios do estado, com destaque nos municípios de Quissamã, Rio de Janeiro e Saquarema, respectivamente. Contudo nota-se que a produção de coco no estado do Rio de Janeiro tem demonstrado diminuição, tanto na área produzida quando, quando destinada à colheita. Analisando os dados do IBGE, percebe-se que o estado do Rio de Janeiro teve o seu auge no começo dos anos 2007, em relação aos anos anteriores (Tabela 2). Entretanto no último levantamento realizado pelo IBGE em 2017, essa produção caiu para quase metade, 42% na quantidade produzida e 38% de área destinada à colheita, em relação aos dados de 2007.

Na análise dos dados levantado pelo IBGE/Censo Agropecuário⁷, percebe-se que a produção de coco no estado do Rio de Janeiro entre o ano de 2006 a 2017 teve uma diminuição significativa, apresentando uma queda de 28% na quantidade produtiva. Conseqüentemente essa queda na taxa de produção, os números de pés colhidos também diminuíram.

O município de Seropédica é o 7º maior produtor do estado do Rio de Janeiro, produzindo por ano 1758 (mil unidades) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017). De acordo com o Censo Agropecuário de 2006, a produção de coco em Seropédica acompanhou o crescimento da produção do estado do Rio de Janeiro. Porém, esse aumento não foi contínuo. Conforme com o levantamento realizado pelo mesmo Censo em 2017, Seropédica⁸ apresentou uma diminuição de produtividade, tanto em área plantada e em quantidade produzida (Tabela 4).

Tabela 2: Produção de coco no estado do Rio de Janeiro por área destinada a colheita (hectares); quantidade produzida (em toneladas).1985 - 2017

| | 1985 | 2000 | 2007 | 2017 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Área destinada à colheita | 291 | 2.462 | 4.850 | 3.023 |
| Quant. produzida | 1.926 | 34.358 | 77.947 | 45.731 |

Fonte: IBGE/PAM. Elaboração própria, 2019

Tabela 3: Produção de coco no Rio de Janeiro por quantidade produzida (mil frutos) nos anos. 1985 – 2017.

| | 1985 | 2006 | 2017 |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Quant. produzida mil frutos | 4.299 | 17.743 | 13.683 |

Fonte: IBGE/Censo Agropecuário. Elaboração própria, 2019

⁷ A metodologia utilizada para obtenção dos dados pelo Censo Agropecuário e pelo PAM não são as mesmas; em razão disso, os resultados podem ser diferentes de acordo com cada levantamento.

⁸ Os dados do Censo Agrário de 1985 do município de Seropédica não podem ser obtidos, pois o município de Seropédica nessa época era distrito de Itaguaí, sendo emancipado apenas em 1997.

Tabela 4: Produção de coco no município de Seropédica; área destinada a colheita (hectares); quantidade produzida (em toneladas). 1997 - 2017

| | 1997 | 2000 | 2006 | 2017 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|------|
| Área destinada à colheita | 166 | 176 | 190 | 123 |
| Quant. produzida mil frutos | 1.162 | 3.142 | 3.040 | 1758 |

Fonte: IBGE/Censo Agropecuário. Elaboração própria, 2019

Analisando os dados de área destinada a colheita e quantidade produzida do município de Seropédica, percebe-se uma diminuição de produção de 2006 a 2017 (Tabela 4). Esses indicadores demonstram que diversos fatores e agentes provocaram a diminuição agrícola da produção de coco na região, como a expansão urbana, a dificuldade de produção em solos pobres em nutrientes, a venda de terras para exploração areia, o constante alagamento na região, a falta de incentivo técnico, a dificuldade de ligação com o mercado consumido, a realocação de produtores para outros estados que possuem indústrias responsáveis pela industrialização do coco, como a região Nordeste do Brasil e o Espírito Santo.

Para compreender a organização produtiva do mercado de coco em Seropédica, é necessário analisar a forma de comercialização e a espacialização dos frutos, para assim compreender a circulação produtiva do coco e a sua rede de comercialização. Nesse sentido, Santos (1988, p. 51) complementa

Não podemos mais falar de circuitos regionais de produção. Com a crescente especialização regional, com os inúmeros fluxos de todos os tipos, intensidades e direções, temos que falar de circuitos espaciais da produção. Estes seriam as diversas etapas pelas quais passaria um produto, desde o começo do processo de produção até chegar ao consumidor final.

Através dos dados do Censo Agropecuário do IBGE (2006) sobre a comercialização da produção de coco em Seropédica, podemos compreender a circulação espacial da economia produtiva de coco e a sua rede de comercialização do fruto. A produção de coco em Seropédica serve para atender ao mercado local, através de venda diretamente para os intermediários, representando grande parte do destino da produção, e a venda direta para o consumidor.

De acordo com os dados levantados pelo Censo Agropecuário de 2006, os intermediários controlam dados expressivos 1.156 da produção, representando 84% do destino final do produto. Em seguida a venda diretamente para o consumidor (200), representando 14%; e por último não vendeu, caracterizando menos de 1%.

Tabela 5: Tabela do destino da produção de coco de Seropédica no ano de 2006

| | 2006 |
|---------------------------------------|-------------|
| Total comercializado | 1369 |
| Vendida ou entregue à cooperativa | 0 |
| Vendida diretamente para indústrias | 1 |
| Vendida diretamente a intermediários | 1.156 |
| Vendida diretamente ao consumidor | 200 |
| Entregue à empresa integradora | 0 |
| Vendida, entregue ou doada ao governo | 0 |
| Exportada | 0 |
| Não Vendeu | 12 |

Fonte: IBGE/Censo Agropecuário. (2006). Elaboração própria, 2019

Pode-se observar que a região de Seropédica, mesmo sendo a 7 maior produtora de coco do estado do Rio de Janeiro, não possui um circuito espacial produtivo destinado às indústrias. Cabe ressaltar que não foram levantados dados de comercialização dos frutos pelo Censo Agropecuários dados de 2017, já que esses dados ainda estão sendo trabalhados pelo IBGE. Como os dados de 2017 demonstrou uma diminuição na produção, pode-se prever que ocorreu uma redução da circulação do produto no mercado. Nesse sentido Fontes (2010) “complementa que grande parte dos produtores de coco encontram-se desestimulados por causa não só pelo baixo preço do coco como também pela falta de incentivo por parte do governo”, justificando a diminuição da produção de coco em Seropédica.

Seropédica tem grande potencial para o crescimento da produção de coco, já que está próxima de um dos maiores mercados consumidores, o município do Rio de Janeiro e o Estado de São Paulo, além de estar próximo a centros de referência em estudos agrônômicos, como a UFRRJ, Embrapa Agrobiologia e a Empresa de Assistência Extensão Rural Técnica (EMATER), que podem auxiliar nas pesquisas sobre manejo e cultivo do coco. Diante disso, a região tem potencial para o crescimento da atividade de cultivo de coco, além de outras cultivarias.

4.2

Clima

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é tipo Aw, subtropical, marcado por verão quente e chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual varia de 24° C a 35°C e a precipitação média anual é de cerca de 1.300 mm (FAGUNDES et al., 2009). Os dados de precipitação (mm) durante a condução do experimento encontram-se na Figura 2.

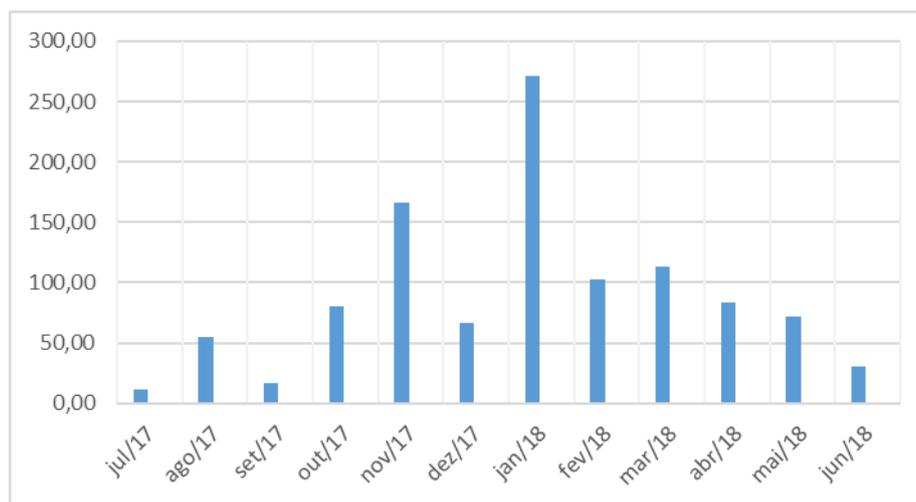


Figura 2: Dados climáticos da região de Seropédica - RJ, de julho de 2017 a junho de 2018. Fonte: Estação: Seropédica - Ecologia Agrícola-A601.

4.3

Geologia

O município de Seropédica, como quase todos os municípios da baixada fluminense, é marcado pela presença de uma extensa área de cobertura sedimentar. No bairro do Piranema, área onde fica localizado a área de estudo e o famoso distrito areeiro, os processos sedimentares, que foram responsáveis pela cobertura sedimentar da região, estão relacionados a eventos glacio-eustáticos ocorridos durante o Quaternário (GÓES, 1994). Segundo Góes (1994), a geologia local trata-se de uma formação deposicional, composta por sedimentos arenosos e siltico-arenoso depositados ciclicamente durante as fases úmidas e secas pela subatual e atual drenagem da Bacia do Rio Guandu.

Góes (1994, p. 416) complementa:

Convém lembrar que a formação Piranema representada em superfície pela fácies siltico-arenosa holocênica (de onde se extrai a areia) em subsuperfície pela fácies arenosa pleistocênica (onde armazena o potencial de areia).

A Fácies Arenosa Pleistocênica inicia-se na profundidade entre 2 a 5 metros, podendo atingir cerca de 35 m na Planície Aluvionar de Cobertura, levantados por dados geofísicos, na Planície Colúvio-Aluvionar (GÓES, 1994). Os sedimentos que integram a Formação Piranema são formados por duas unidades: Formação Superior e Formação Inferior, que por sua vez, é dividida em Inferior Anastomasante e Inferior Meandrante.

- **Formação Superior**

Essa formação é composta pela Fácies Siltico-Argilosa Holocênica, que é constituinte da “cobertura” da Planície Aluvionar, originada pelo Depósito Colúvio-Aluvionar, ocasionado pela hidrodinâmica fluvial durante a fase mais úmidas. Este depósito siltico-argiloso está localizado nas primeiras profundidades, entre 1 a 6 metros. Essa fácies tem sido intensamente explorada pelas mineradoras de areia. (GÓES, 1994)

- **A Formação Inferior**

- **Inferior Anastomasante**

Possui Fácies arenosa de granulometria grosseira, ocasionada por deposições típicas de barras de canais, originada por processo deposicionais de acréscimo lateral, formando macro-ondulações durante a migração para a jusante nas inundações típicas das fases semiáridas, que foram depositados por conta do intenso fluxo de sedimentos no próprio canal fluvial. As barras arenosas longitudinais foram acrescentadas gradativamente ao lavegue, provocando um sistema de canaletas migratórias, durante as cheias do rio. Com a volta das estações com menos chuvas, os sedimentos finos argilo-siltosos foram posicionados sobre as antigas barras, que posteriormente foram fossilizados. Podemos encontrar em alguns locais essas paleoformas arenosas grosseiras associadas, por vezes, as camadas intercaladas por lente de argila orgânica. A formação desses sedimentos constata as condições ambientais que ocorriam durante aquele período, que eram de alta energia, rapidez na deposição e material de origem próxima (VICENTE, 2008 apud GÓES, 1994)

– Inferior Meandrante

Nas profundidades próximas a superfície ocorrem uma modificação da granulometria da facie arenosa, alterando para uma granulometria arenosa mais fina, “intercalando por espessos depósitos de argila orgânica ou turfeiras, estando esse conjunto coberto em geral pelo superficial depósito síltico-argiloso de menor expressão” (GÓES, 1994).

Toda essa evolução geológica registrada na porção superior da face arenosa está relacionada aos processos fluviais que ocorriam na bacia, através de um sistema meandrante que passaria a vigorar na transição para uma fase mais úmida, subatual.

De acordo com Góes (1994) apud Vicente (2003, p. 20)

Esse padrão é caracterizado por processos também agradacionais de acréscimo, tanto horizontais (barras arenosas), como verticais (pântanos herbáceos ou planícies de inundação). Os depósitos de acréscimo vertical, que estão relacionados a formação de lentes de argila orgânica ou turfeiras a diferentes profundidades, são produtos de assoreamento de depressões inundadas ou de meandros abandonados. Posteriormente, foram cobertos pela remigração dos depósitos de acréscimo horizontal. Processos químicos e diagenéticos passaram então a agir nessas condições pantanosas. (Góes, 1994).

Perfurações na região indicam espessuras do pacote sedimentar variam entre 10 e 25 metros” (MARQUES, 2011; COPPETC, 2014). Contudo, sondagens geofísicas indicam profundidades do embasamento mais profundo, que variam entre 50 a 60 (COPPETEC, 2014). No entanto, em um levantamento feito pela CEDAE, em 2001, encontrou profundidade de 75m.

4.4

Pedologia

Em Seropédicas são predominantes três classes de solos, planossolo háplico e Argissolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico

O solo Planossolo Háplico, que são geralmente hidromórficos, apresentam um horizonte A muito arenoso e aumento brusco no teor de argila em direção ao horizonte B. Esse solo é mal drenado, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial contrastando drasticamente com o horizonte B, que é um horizonte adensado com muita concentração de argila, gerando um horizonte pã de lenta

permeabilidade. Essa lenta permeabilidade é responsável pela sobreposição do lençol freático em algumas épocas do ano, principalmente nos períodos de muitas chuvas (novembro, dezembro e janeiro). Essa sobreposição do lençol freático atrapalha a agricultura da região, sendo este um dos fatores que favoreceram a diminuição e o êxodo da produção agrícola. Contudo, as principais de limitações desse solo ocorrem quando tem período de seca, “em virtude da sua textura arenosa dos horizontes superficiais, à deficiência de oxigênio no período chuvoso, por conta da lenta permeabilidade do solo, e à reduzida fertilidade” (ANJOS & PEREIRA, 2013 p.62).

O solo Argissolo Vermelho-Amarelo são formados a partir de rochas de caráter ácido, predominante de granito e gnaisse ou oriundo de sedimentos dessas rochas. A classe agrupa dois grupos, solos distróficos com altos teores de Al, e solos estróficos, comuns com baixos teores de fósforo e potássio (ANJOS & PEREIRA, 2013). Esse solo apresenta limitação para fins agrícola, pois apresenta acúmulo de argila no horizonte B textual e maior susceptibilidade aos processos erosivos.

5.

Procedimento Metodológicos

Para atingir os objetivos propostos, se adotou um conjunto de procedimentos que serão realizados em etapas ora sequentes, ora paralelas, a fim de otimizar o tempo disponível para a pesquisa.

5.1

Localização e instalação do experimento

O experimento iniciou em julho de 2017 e foi conduzido na Fazenda do José Ferreira, que é uma propriedade particular, situada nas coordenadas geográficas de 22°49' Latitude Sul e 43°41' de Longitude Oeste, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, a 7 km do campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) (FIGURA 3). O coqueiral foi implantado em 2005, com variedade anã e utiliza espaçamento 7,5m x 7,5 m.

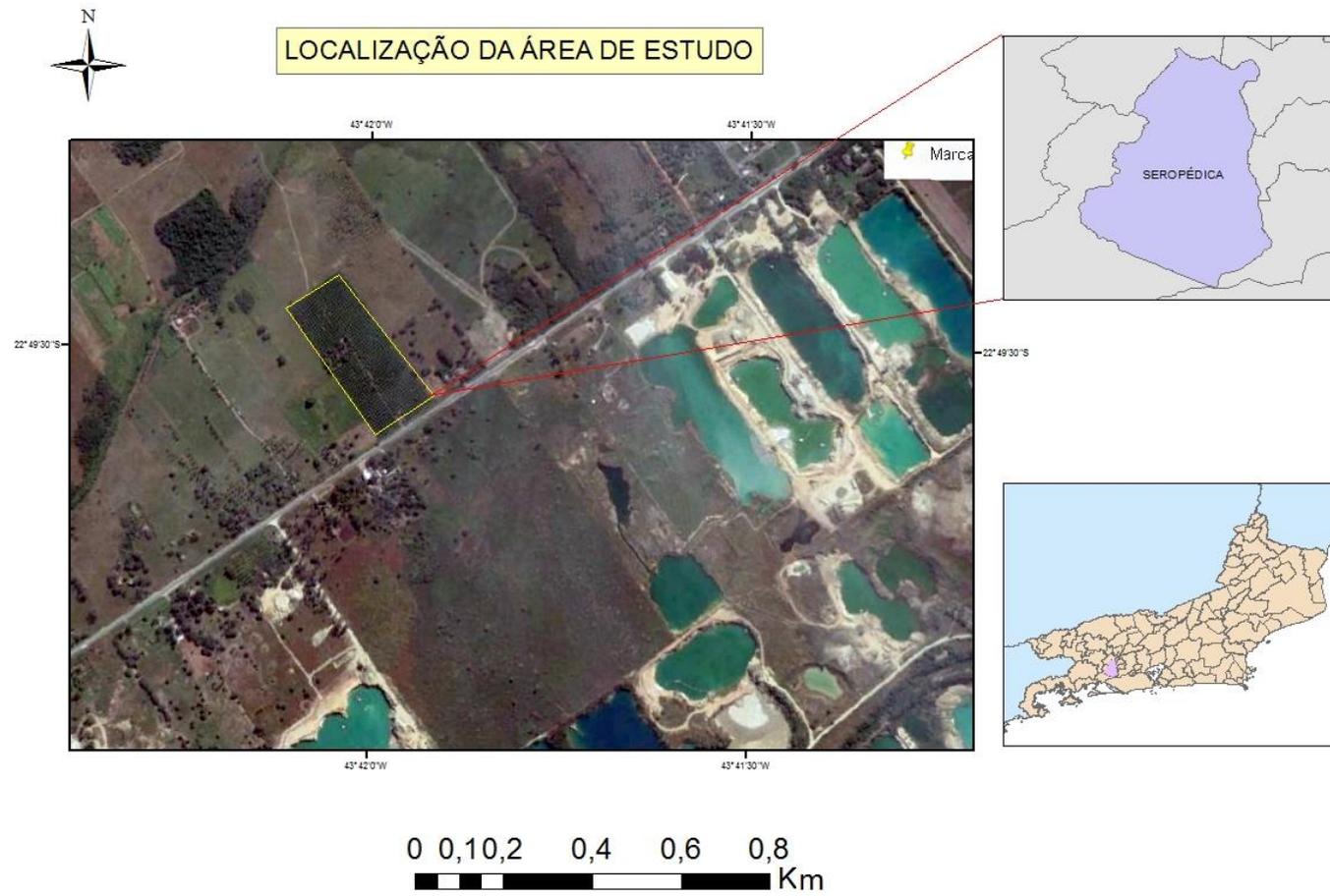


Figura 3: Localização do experimento.

Os coqueiros escolhidos para o experimento apresentam, segundo o proprietário, uma produtividade relativamente baixa, de aproximadamente 100 frutos por ano.

O cultivo é irrigado por um sistema de microaspersão do tipo “bailarina”, a uma distância de, aproximadamente, 90 cm do caule.

Para a caracterização química do solo, foram coletadas amostras nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, profundidades utilizadas para futuras verificação das suas análises químicas. O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em peneira de 2 mm e acondicionado em embalagem plástica até o momento da realização das análises. Já para caracterização física do solo, foram coletadas amostra na profundidade 0-10 e 10-20 cm.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Planossolo Háplico. As características químicas e físicas são apresentadas na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente

Os elementos P, K, Na, Cu, Ca, Mg, Al, H+Al, pH em água seguiram a metodologia proposta por Teixeira (2017); o COT e a MO seguiram a metodologia de Hormes e Brenner (1988).

Tabela 6: Análise química do solo da área experimental nas camadas de 0-5, 5 - 10 e de 10-20 cm, antes da instalação do experimento.

| Profundidade (cm) | Na | Ca | Mg | K | H+Al | Al | S | T | V | n | pH | MO | Cu | COT |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|--------------------|
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Cmol _{dm} ³ | ----- | ----- | % | % | 1:2,5 | % | ppm | g.kg ⁻¹ |
| 0 - 5 | 0,06 | 10,20 | 4,60 | 0,19 | 4,41 | 0,00 | 15,05 | 19,46 | 77,33 | 0,32 | 6,80 | 5,67 | 0,60 | 32,88 |
| 5 - 10 | 0,04 | 7,10 | 3,40 | 0,14 | 3,26 | 0,00 | 10,68 | 13,94 | 76,63 | 0,31 | 6,80 | 3,88 | 0,46 | 22,53 |
| 10 - 20 | 0,04 | 5,30 | 3,40 | 0,11 | 3,29 | 0,00 | 8,84 | 12,14 | 72,87 | 0,30 | 6,30 | 2,83 | 0,38 | 16,44 |

SB: soma de bases; CTC capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; n: saturação por Na

Tabela 7. Análise física do solo da área experimental, nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm, antes da instalação do experimento, Seropédica 2017.

| Prof. (cm) | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | Gf | Classe textural |
|------------|-------------------------------------|-------|-------|----|-----------------|
| | Argila | Areia | Silte | | |
| 0--10 | 46 | 39 | 15 | 26 | Argilosa |
| 10--20 | 46 | 37 | 17 | 18 | Argilosa |

GF: grau de flocação.

Baseado no Manual de Calagem e Adubação do Solo do Rio de Janeiro (2013) o solo do experimento possui teores altos em alguns elementos. Esse fator pode ser atribuído ao manejo inadequado do solo, propiciando teores altos de alguns nutrientes, limitando a produtividade.

O pH, elemento de grande importância para o bom desenvolvimento das plantas e que está diretamente ligado a disponibilidades de outros nutrientes, da área experimental é considerado neutro nas duas primeiras profundidades e moderadamente ácido na profundidade 10-20cm. Por conta da sua neutralidade, valor acima de 5,5 pH, não ocorre saturação de alumínio, não tornando solúvel no solo e nem tóxico para planta.

Os teores de Ca + Mg são considerados muito alto nas duas primeiras profundidades, ou seja, possuem valores > 10,0 cmol_c / dm³; na profundidade 10-20cm o Ca + Mg é considerado alto;

Os teores de carbono orgânico do solo são considerados alto, nas duas primeiras profundidades, já que apresentam valores acima de 20 g Kg⁻¹, porém na profundidade 10-20cm apresenta valor médio (11 - 20 g Kg⁻¹);

O potássio é considerado médio nas duas primeiras profundidades e considerado baixo na profundidade 10 – 20cm.

5.2

Preparação e caracterização do biocarvão utilizado para o experimento

Para a produção do biocarvão foi utilizado a biomassa *Gliricidia sepium* (Jacq.), que é uma espécie que apresenta crescimento rápido, alta capacidade de regeneração, resistência à seca, madeira densa e bastante

durável (DRUMOND & CARVALHO FILHO, 1999; WANDELLI et al., 2006). A Gliricidia é uma leguminosa arbórea de porte médio, nativa do México até a Colômbia, Venezuela e Guianas, que posteriormente, por conta da sua facilidade de se adaptar em países de clima tropicais, é encontrado na África e Ásia (CARVALHO FILHO et al., 1997; DRUMOND & CARVALHO FILHO, 1999). Essa leguminosa tem um melhor desenvolvimento em condições quente e úmidas, tendo o seu crescimento limitado em baixas temperaturas, podendo tolerar longos períodos de seca por conta das suas raízes profundas (CARVALHO FILHO & DRUMOND; LANGUIDEY, 1997).

Durante o seu crescimento, a Gliricídia não necessita solos tão férteis, embora um solo com alta taxa de fertilidade melhore a sua produção. Por conta dessa característica de fácil adaptação, crescimento rápido e de suas características morfológicas, a Gliricídia tem um interesse econômico e tem sido usada para cerca viva, forragem, madeira para lenha e controle de erosão e estabilidade de terraços de rodovia (DRUMOND & CARVALHO FILHO, 1999).

A produção o biocarvão de Gliricidia foi realizada por meio da combustão incompleta, pelo processo chamado pirólise, em um forno, feito com tonel metálico de 200L (*Figura 4*). O tonel possuía um buraco na sua parte superior de 10 cm e na parte inferior um buraco de 15 cm, com o objetivo de controlar a carbonização. Com uma distância de 5 cm do latão foi construído uma parede de tijolos e cimentos. Nesse espaço de 5 cm foi preenchido com solo; o forno foi tampado com uma placa de metal (RODRIGUES, 2017).

A pirólise da gliricídia durou em torno de 10 horas. Após o esse processo, o material foi resfriado naturalmente, moído e peneirado (2 mm) para homogeneização do seu tamanho (RODRIGUES, 2017).



Figura 4: Forno utilizado para a produção do biocarvão utilizado no experimento. FONTE: Rodrigues, 2017

Quanto a caracterização química do biocarvão, foi determinado o pH em água, e os teores totais de Cr, Cu, Fe, Mn, Cd, Pb, Mg, Ca, Al, K e Na de acordo com a metodologia de digestão nitropercolica (USEPA, 3052). O K e o Na foi determinado por fotometria de chama, já os nutrientes Cr, Cu, Fe, Mn, Cd, Pb, Mg, Ca, Al foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Figura 17).

Tabela 8: Caracterização química do biocarvão derivado de Gliricidia utilizado no presente estudo

| Parâmetros | Biocarvão de Gliricidia |
|---------------------------|-------------------------|
| pH (água; 1:2,5) | 8,56 |
| Cr (mg kg ⁻¹) | 7,08 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 11,47 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 2.769 |
| Mn (mg kg ⁻¹) | 81,79 |
| Cd (mg kg ⁻¹) | 0,41 |
| Pb (g kg ⁻¹) | 5,15 |
| Mg (g kg ⁻¹) | 4,522 |
| Ca (g kg ⁻¹) | 16,722 |
| Al (g kg ⁻¹) | 3,949 |
| K (mg kg ⁻¹) | 392 |
| Na(mg kg ⁻¹) | 117 |

Rodrigues (2017) trabalhando com o mesmo biocarvão utilizado nesse experimento, analisou os parâmetros de C, N, O, H/C, O/C (Tabela 9) e de espectro de RMN do C (Tabela 9).

Tabela 9: Caracterização elementar do biocarvão derivado de Gliricidia utilizado no presente. Fonte: Rodrigues, 2017.

| Parâmetros | Biocarvão de Gliricidia |
|---------------------|-------------------------|
| C % | 60,44 |
| H % | 2,2 |
| N % | 0,60 |
| O % | 36,75* |
| H/C (razão atômica) | 0,44 |
| O/C (razão atômica) | 0,46 |

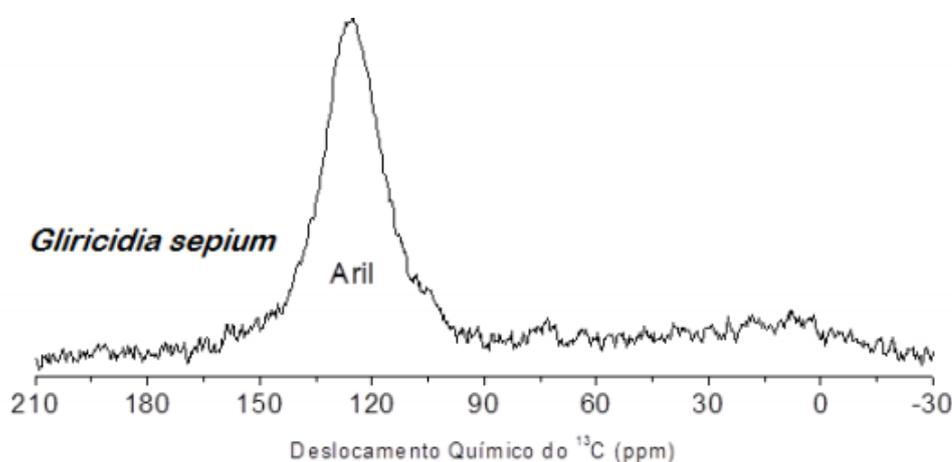


Figura 5: Espectro de RMN do ^{13}C do biocarvão derivado de *Gliricidia* utilizado no experimento. Fonte: Rodrigues, 2017.

Segundo Rodrigues (2017), o espectro de RMN do C evidenciou a presença de grupos aromáticos possivelmente polidensados, com pico de 128 ppm para o biocarvão de *Gliricidia*. Esse resultado indica que o biocarvão com elevado grau de carbonização durante a pirólise, pois não há indício, de acordo com a análise, de material lábil.

5.3

Delineamento do Experimento

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) comparando as amostras com e sem adição de biocarvão, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20cm, em tempos. Cada coqueiro é considerado uma parcela, sendo utilizado 1 coqueiro com 12 kg de biocarvão.

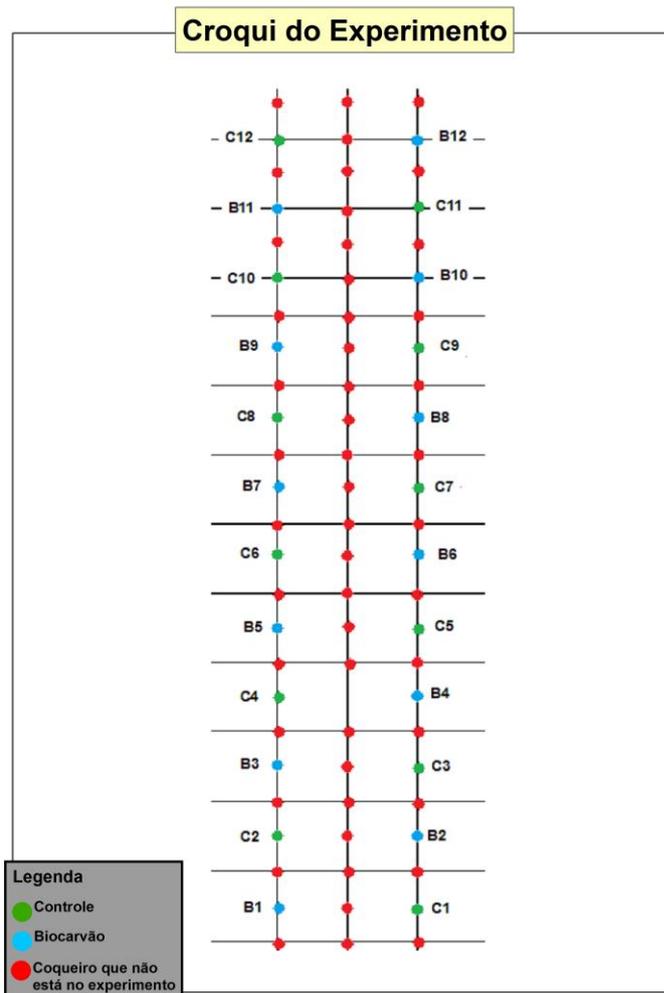


Figura 6: Croqui representando o experimento

Para uma melhor análise sobre a influência do biocarvão na relação solo-planta, foram selecionados coqueiros intercalados, para que não haja interferência do sistema radicular de uma planta como outra.

5.4

Condução do experimento

5.4.1

Caracterização do Solo

Para a caracterização química do solo foram coletas amostras nas camadas de 0 – 5, 5-10 e 10 – 20 cm, com auxílio do trado Saci. O solo foi seco ao ar, moído e amasiado em peneira de malha de 2 mm (TFSA) e acondicionado em uma

embalagem plástica até a sua análise. Vale ressaltar que as primeiras amostras de solo foram coletadas antes da aplicação do biocarvão.

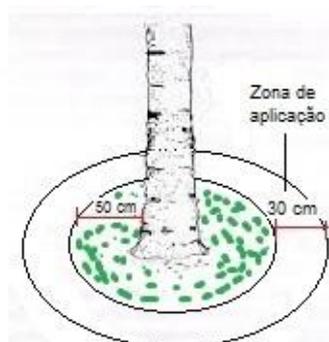
5.4.2

Aplicação do biocarvão

No início do experimento, antes da aplicação o biocarvão, foi feito um coroamento nos 24 coqueiros usados no experimento (12 controle e 12 com biocarvão) (FIGURA 7), com distância de aproximadamente 50 cm do caule do coqueiro, com raio de aplicação de 30 cm, com o objetivo de localizar a área de aplicação do biocarvão. Em seguida foram aplicados 12,5kg de biocarvão. Esta é a distância recomendada para a aplicação de fertilizantes em coqueiros adultos, pois é a área em que a raiz mais absorve os nutrientes do solo (SOBRAL, 2000).

A maioria dos trabalhos utilizam valores em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$). Como nesse trabalho foram aplicados biocarvão nos coroamentos dos coqueiros, foi necessário realizar um cálculo para passar para hectare, para fins de comparação com outros trabalhos que utilizam essa metodologia de medida (Figura 7). Primeiro foi calculado a quantidade de biocarvão (12,5kg) que seriam aplicados por planta em um hectare. Para isso assumimos que em uma plantação de coqueiro tem 205 plantas ha^{-1} , dando um total de 2.562 $t\ ha^{-1}$ de biocarvão.

A segunda formula utilizada foi para verificar a quantidade de biocarvão que seriam aplicados no coroamento de todo os coqueiros por hectare. Para isso foi calculado o raio e o volume de aplicação do biocarvão no solo em toda a superfície, representando 10t ha^{-1} .



Cálculo da área de aplicação de biocarvão por planta:

$$A = \pi (R^2 - r^2) = 3,14 (80^2 - 50^2) = 12.246m^2$$

Estimativa de aplicação de biocarvão aplicado por área de solo

$$A_{total} = (12,5 \times 10.000) / 12.246 = 10.20t\ ha^{-1}$$

Figura 7: Calculo representando a quantidade de biocarvão utilizado por hectare, assumindo uma aplicação na área total do solo.



Figura 8: Abertura do coroamento em uma distância de, aproximadamente, 80 cm do caule do coqueiro. Esse procedimento foi feito em todos os 24 coqueiros. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017

5.4.3

Fertilidade e retenção de água no solo

Visando avaliar as alterações no solo decorrentes da aplicação de biocarvão, foram coletadas amostras compostas de solo durante o período de um ano, em intervalos de três meses para verificar, através de análises químicas os teores, Ca, Mg, Al, H+Al, K, Na, Cu, COT e MO com o objetivo de verificar as possíveis alterações nessas propriedades do solo. Foi denominado para cada intervalo de coleta uma nomenclatura denominada TEMPO (Tempo 0 – início do experimento; Tempo I – 90 dias após a aplicação do biocarvão; Tempo II – 180 dias após a aplicação do biocarvão; Tempo III – 270 dias após a aplicação do biocarvão; Tempo IV – 360 dias após a aplicação do biocarvão).

As amostras foram compostas de cinco subamostras, coletadas em cinco pontos ao redor com coqueiro (Figura 10), a uma distância de aproximadamente 100 cm

do caule, no local onde foi aplicado o biocarvão. Essa distância é referente a área de aplicação dos fertilizantes, onde se encontra a área de projeção da copa, segundo o manual de adubação de coqueiro (SOBRAL, 2000) (FIGURA 10).



Figura 9: Coleta de solo com o trado Saci. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017



Figura 10: Representação dos cinco pontos de coleta de amostras simples de solos para compor uma amostra composta para caracterização da fertilidade do solo. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017

A primeira amostragem, denominada de tempo 0, correu no mês de julho de 2017 com o objetivo de caracterizar o solo do experimento antes da aplicação do biocarvão

No tempo 0 foram coletados solos na forma composta nos 12 coqueiros (B1, B2, B5, B6, B11, B12 C1, C2, C5, C6, C11 e C12). Nessa coleta foram retiradas amostras nas profundidades 0 – 5 cm, 5 – 10 cm e 10 – 20 cm, utilizando o trado eletrônico Saci (Figura 9). Foi coletada nessa profundidade porque o carbono fica retido na camada superficial do solo, além de ser a profundidade que apresenta os maiores nutrientes.

Na segunda amostragem (Setembro/2017), considerado tempo I, três meses após a aplicação do biocarvão, foram coletadas amostras de 12 coqueiros sorteados – 6 com biocarvão e 6 controle -, com o objetivo de verificar as possíveis alterações ocorridas. As amostras de solo foram coletadas nos indivíduos B2, B4, B6, B8, B9, B12; C2, C3, C5, C6, C7 e C9. Todas as coletas posteriores referentes a profundidade 0 – 5 cm, 5 – 10 cm e 10 – 20 cm foram coletadas nesses coqueiros.



Figura 11: Foto referente a coleta de solo na área de aplicação do biocarvão. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017

A coleta de solo para a análise de retenção de água no solo foi realizada no final do experimento, no mês de julho de 2018. As amostras foram coletadas com cilindros metálicos de 100 cm^3 inseridos na camada superficial do solo (0-5cm) (Figura 12) nos mesmos 12 indivíduos (6 com aplicação de biocarvão e 6 controle) utilizados para análise de fertilidade do solo, afim de comparar em dados estatísticos sobre a influência no biocarvão na retenção de água no solo. As amostras foram analisadas no laboratório LAMAS da EMBRAPA Solos



Figura 12: Coleta do solo para análise de retenção de água. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2018

5.4.4

Manejo e adubação

Foi realizado no mês de setembro de 2017 a adubação com 350 gramas de cloreto de potássio (53% de K_2O) na área de coroamento em todos os 24 coqueiros do experimento.

O manejo da área de estudo foi dividido em duas etapas, denominadas de Manejo 1 e Manejo 2.

- O Manejo 1 ocorreu do mês de julho de 2017 até dezembro de 2017. Foram realizadas as seguintes ações
 - Eliminação das folhas secas da copa do coqueiro, com o objetivo de evitar abrigo a pragas;
 - Roçagem, com o objetivo de evitar que a vegetação nativa exerça competição com o coqueiro.
- O Manejo 2 ocorreu desde o mês de dezembro de 2017, quando o proprietário da fazenda desistiu de realizar a colheita comercial dos cocos:

- A roçagem não foi mais feita por máquinas, mas sim pelo gado por meio de associação, com o objetivo de manter a vegetação natural sob controle
- A eliminação das folhas secas do coqueiral foi feita eventualmente.



Figura 13: Roçagem do coqueiral através de maquinários. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2017

5.5

Procedimentos Laboratoriais

Os procedimentos laboratoriais para análise das propriedades do solo – químicas e físicas – foram realizadas nos Laboratório de Estudo das Relações Solo-Planta (Departamento de Ciência do Solo da UFRRJ), Laboratório de Gênese do Solo, no (Departamento de Ciência do Solo da UFRRJ) e no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo na EMBRAPA Solos.

5.5.1

Análise química do solo

As análises químicas foram realizadas no Laboratório Relação Solo e Planta (Departamento de Ciência do Solo da UFRRJ) e no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo (Departamento de Ciência do Solo da UFRRJ). As análises de pH em água, P, K, Na, Mg, Ca, Al, Cu, H+Al, de acordo com a metodologia sugerida por Teixeira et al (2017). As análises de carbono orgânico total (COT) foram realizados no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, seguindo a metodologia de Yeomans e Bremner (1988). As análises de COT, pH em água e CTC foram analisadas detalhadamente nos resultados e discussão.

5.5.2

Análise do pH do solo em água

Colocou-se em um copo plástico (50 ml) a quantidade de 10cm³ de TFSA e 25ml de água destilada. As amostras foram agitadas por 60 segundos com auxílio do bastão de vidro e deixado em repouso por, aproximadamente, uma hora. Após o repouso, cada amostra foi agitada novamente e, logo em seguida, foi colocado os eletrodos na suspensão homogeneizada para proceder a leitura do pH com eletrodo Marte MB-10 (Figura 14)



Figura 14: pHmetro modelo MB -10 usado nas análises para determinado de pH. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019

5.5.3

Análise de potássio (K) e Sódio (Na)

Para a extração do K e Na, foi necessário pesar 10 cm³ de solo TFSA e colocado em *erlenmeyer* de 125mL. Posteriormente foi adicionado 100mL de solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹). Após esse procedimento, o Elenmeyer foi agitado durante 5 minutos em um agitador circular horizontal (Figura 15) deixando em repouso por, aproximadamente, dezesseis horas. Após esse procedimento, foi pipetado, sem filtrar, 25 ml do extrato e passado para um copo plástico de 50ml; posteriormente foi realizada a leitura diretamente no extrato, 20ml, no aparelho espectrofotômetro de emissão de chama (Figura 16).

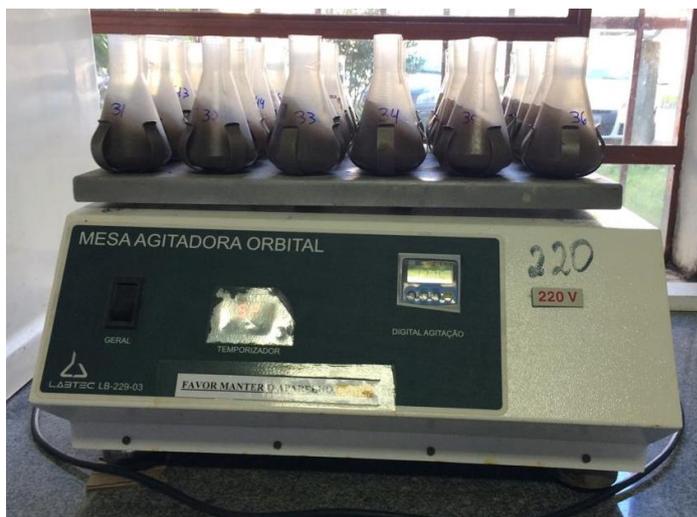


Figura 15: Mesa agitadora utilizado para análise de solo. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019



Figura 16: fotometria de chama usado para determinar os elementos Na e K, tanto para solo quanto para foliar. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019

5.5.4

Análise de Cobre (cu)

Utilizou-se a solução da solução extratora Mehlich-1, descrita anteriormente, para fazer a extração. Coletou-se uma alíquota de 10mL do sobrenadante da solução utilizada do e fez-se uma leitura diretamente do extrato, utilizando o aparelho espectrofotômetro de absorção atômica (Figura 17).



Figura 17: Espectrofotometria de absorção atômica para determinação de Cu, Fe, Ca, Mg, Zn e Mn. Fonte: arquivo pessoal. Ano: 2019

5.5.5

Análise do Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Alumínio (Al)

Em um *erlenmeyer* de 125ml foram adicionados 10cm³ de TFSA e 100ml da solução extratora KCL 1,0mol L⁻¹; agitou-se por 5 minutos em um agitador horizontal circular (Figura 15), deixando em repouso por, aproximadamente 16h. Após esse processo, o solo foi mantido em repouso, com o objetivo do íon de K⁺ em alta concentração provocar o deslocamento de íons de Ca, Mg e Al adsorvidos as cagas dos coloides do solo, tomando seus lugares, e os colocando em solução (Júnior, 1997).

Após esse repouso, foram retiradas três alíquotas de 25 ml da parte sobrenadante da solução extratora, para determinação do Cálcio+Magnésio, Cálcio trocável e alumínio extraível.

Alumínio trocável: Em uma alíquota de 25ml obtida na extração com KCL 1 mol L⁻¹, foram adicionadas três gotas de azul bromotil e, posteriormente, foi titulado com solução padronizada de NaOH 0,025 mol L⁻¹, até que a solução passe da cor amarela para o verde-azulado.

Cálcio + magnésio: Em uma alíquota de 25ml obtida na extração com KCL 1 mol L⁻¹, foram adicionadas 4 ml do coquetel tampão (300 mL da solução tampão pH 10 com 300 mL de trietanolamina e 50 mL de cianeto de potássio a 10%); posteriormente foi adicionado, aproximadamente, 30 mg de

ácido ascórbico e 3 gotas do indicador negro de eriocromo; em seguida foi titulado com solução padronizada de EDTA 0,0125 mol L⁻¹, até a viragem da cor vermelho-arroxeadado para o azul puro ou esverdeado.

Cálcio: Em uma alíquota de 25ml obtida na extração com KCL 1 mol L⁻¹, foram adicionadas 3 mL de KOH a 10% e uma “pitada” de aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico. Posteriormente foi titulado com solução padronizada de EDTA 0,0125 mol L⁻¹ até alcançar a viragem da cor vermelha intenso para azul intenso.

Magnésio: Para determinação do magnésio foi utilizado a seguinte formula:

$$\text{Mg}^{+2} = (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) - \text{Ca}^{+2}$$

5.5.6

Análise de H+AL

Em um *erlenmeyer* de 125 mL, adicionaram-se 5 cm³ de TFSA e 75 mL de solução extratora, acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0, agitando-se por 10 min na mesa agitadora (Figura 15) e deixando em repouso por uma noite, sendo também preparado uma prova em branco. Após esse período, foi pipetado 25 mL da solução sobrenadante e procedeu à titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ em presença de 3 gotas de fenolftaleína, até o desenvolvimento da cor rósea persistente. O mesmo processo foi realizado na prova em branco.

5.5.7

COT e Matéria Orgânica

Para obter a concentração de Carbono Orgânico Total e de Matéria Orgânica, foi utilizada a metodologia de Hormes e Brenners (1988), através do método de oxidação de dicromato. Depois de destorroar o solo e passar em uma peneira de 20 mm fez-se necessário destorroar novamente o solo, em gral de porcelana, e passou em uma peneira de 60 mesh.

Em seguida, foi pesado, aproximadamente, 3g e colocado em um *erlenmeyer* de 250ml; em seguida foi adicionado 5 ml de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) e 7,5 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), colocando em seguida em uma chapa (170°C) por 30 minutos com dedo frio; passando esse tempo, foi adicionado 80 ml de água e 4 gotas do indicador Ferroin, titulando em seguida com o Sulfato Ferroso Amoniacal (0,20 mol L⁻¹), até alcançar o ponto de virada,

a que se dá do verde para o castanho avermelhado. Fez-se necessário dois brancos aquecidos em chapa e dois brancos frios.



Figura 18: Erlenmeyer com dedo frio sobre chapa na temperatura de 170o para determinar os teores de carbono orgânico total e matéria orgânica.

5.5.8

Análise de retenção de água no solo

. As amostras foram saturadas e determinada a retenção de água em mesa de tensão nos potenciais (0, 60, 100 e 330 kPa), detalhes metodológicos são descritos em Teixeira e Behring 2017, A retenção de água no ponto de murcha permanente (1500 kPa) foi determinado em amostras deformadas num psicrometro do ponto de orvalho (WP4C, Meter, USA).

5.5.9

Análise estatística

Os dados foram caracterizados em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo os fatores o tratamento com e sem aplicação de biocarvão (0, 10 t ha), nas profundidades (0-5; 5-10; 10-20 cm) e em tempos de coleta após a aplicação dos tratamentos (Tempo I, Tempo II, Tempo III e Tempo IV). Foi utilizado análise de variância os para análise química do solo analisados estatisticamente usando o software R para investigar o significado das

diferenças de efeito do biocarvão sobre os atributos do solo. As diferenças significativas foram comparadas usando o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Para análise de retenção de água: as umidades volumétricas (m^3 de água / m^3 de solo) determinadas em cada potencial foram analisadas estatisticamente (ANOVA) e as médias comparadas por teste de médias Tukey $p < 0.05$.

6.

Resultados e discussão

As características químicas do solo durante os tempos I, II, III e IV nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm estão presentes nas tabelas abaixo (Tabela 10) (Tabela 11) (Tabela 12).

Tabela 10: Tabela química de COT do solo nos tempos (90, 180, 270 e 360 dias) e nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.

| COT | | | | | |
|--------------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| g.kg ⁻¹ | | | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 – 5 | | 37,13 | 25,81 | 29,13 | 36,09 |
| 5 – 10 | Biocarvão | 23,55 | 19,21 | 17,93 | 21,63 |
| 10 – 20 | | 22,43 | 16,02 | 14,77 | 19,46 |
| 0 - 5 | | 36,51 | 31,06 | 25,43 | 26,04 |
| 5 - 10 | Controle | 27,11 | 20,13 | 17,38 | 17,72 |
| 10 - 20 | | 19,16 | 17,08 | 13,18 | 14,06 |

Tabela 11: Tabela química de K, Mg, MO e Na do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.

| K | | | | | | Mg | | | | | |
|-----------|------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| | | Cmolc / dm3 | | | | | | Cmolc / dm3 | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,30 | 0 - 5 | | 4,10 | 5,03 | 4,69 | 3,28 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,27 | 5 - 10 | Biocarvão | 3,28 | 4,27 | 4,88 | 2,72 |
| 10 - 20 | | 0,16 | 0,15 | 0,94 | 0,21 | 10 - 20 | | 2,67 | 3,87 | 4,32 | 2,18 |
| 0 - 5 | | 0,17 | 0,21 | 0,17 | 0,23 | 0 - 5 | | 4,87 | 4,87 | 4,40 | 3,26 |
| 5 - 10 | Controle | 0,15 | 0,18 | 0,17 | 0,22 | 5 - 10 | Controle | 3,78 | 4,18 | 4,77 | 2,53 |
| 10 - 20 | | 0,14 | 0,15 | 0,11 | 0,20 | 10 - 20 | | 3,27 | 4,20 | 3,67 | 2,37 |
| MO | | | | | | Na | | | | | |
| | | % | | | | | | Cmolc / dm3 | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 6,66 | 4,11 | 5,02 | 6,22 | 0 - 5 | | 0,08 | 0,05 | 0,01 | 0,02 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 4,05 | 3,31 | 3,09 | 3,73 | 5 - 10 | Biocarvão | 0,07 | 0,05 | 0,01 | 0,02 |
| 10 - 20 | | 3,86 | 2,76 | 2,55 | 3,36 | 10 - 20 | | 0,07 | 0,05 | 0,01 | 0,02 |
| 0 - 5 | | 6,29 | 0,54 | 4,38 | 2,88 | 0 - 5 | | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,02 |
| 5 - 10 | Controle | 4,67 | 3,47 | 3,00 | 2,88 | 5 - 10 | Controle | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,01 |
| 10 - 20 | | 3,30 | 2,94 | 2,27 | 2,88 | 10 - 20 | | 0,10 | 0,05 | 0,10 | 0,01 |

Tabela 12: Tabela química de pH, S, T e V do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.

| pH | | | | | | S | | | | | |
|------------------------|------------|---------|----------|----------|----------|------------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| ----- água ----- | | | | | | Cmolc/ dm3 ----- | | | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 6,73 | 6,80 | 5,97 | 6,48 | 0 - 5 | | 13,49 | 6,80 | 19,63 | 11,96 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 6,65 | 6,65 | 6,90 | 6,53 | 5 - 10 | Biocarvão | 10,31 | 15,74 | 17,11 | 9,73 |
| 10 - 20 | | 0,16 | 6,36 | 6,61 | 6,2 | 10 - 20 | | 8,40 | 13,70 | 15,02 | 8,30 |
| 0 - 5 | | 6,62 | 6,71 | 6,71 | 6,25 | 0 - 5 | | 14,43 | 17,84 | 18,45 | 10,96 |
| 5 - 10 | Controle | 6,73 | 6,71 | 6,71 | 6,08 | 5 - 10 | Controle | 10,61 | 16,10 | 16,72 | 8,87 |
| 10 - 20 | | 6,16 | 6,41 | 6,41 | 6,15 | 10 - 20 | | 9,45 | 14,25 | 14,12 | 7,07 |
| T | | | | | | V | | | | | |
| ----- Cmolc/ dm3 ----- | | | | | | ----- % ----- | | | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 18,14 | 19,61 | 23,49 | 16,82 | 0 - 5 | | 74,33 | 85,66 | 83,66 | 71,00 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 15,35 | 18,70 | 21,77 | 14,77 | 5 - 10 | Biocarvão | 67,00 | 84,16 | 78,83 | 65,83 |
| 10 - 20 | | 14,54 | 17,78 | 19,69 | 14,44 | 10 - 20 | | 57,50 | 77,16 | 76,16 | 56,33 |
| 0 - 5 | | 19,33 | 20,76 | 21,61 | 15,86 | 0 - 5 | | 74,66 | 86 | 85 | 69 |
| 5 - 10 | Controle | 15,67 | 19,70 | 19,90 | 13,94 | 5 - 10 | Controle | 67,16 | 81,66 | 83,66 | 63,66 |
| 10 - 20 | | 15,75 | 14,25 | 17,89 | 13,37 | 10 - 20 | | 60,00 | 80,33 | 81,33 | 52,50 |

Tabela 13: Tabela química de Cu, Al, H+Al e Ca do solo no tempo (90, 180, 270 e 360 dias) nas profundidades 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.

| Cu | | | | | | Al | | | | | |
|-----------------|------------|---------|----------|----------|----------|-----------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| ----- mg/L | | | | | | Cmolc / dm3 | | | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 0.85 | 0.73 | 0.43 | 0.80 | 0 - 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 0.92 | 0.54 | 0.21 | 0.57 | 5 - 10 | Biocarvão | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 - 20 | | 0,55 | 0,27 | 0.21 | 0.33 | 10 - 20 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 - 5 | | 0.61 | 0.46 | 0.34 | 0.44 | 0 - 5 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 - 10 | Controle | 0.57 | 0.51 | 0.26 | 0.35 | 5 - 10 | Controle | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 - 20 | | 0.42 | 0.41 | 0.17 | 0.24 | 10 - 20 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| H+AL | | | | | | Ca | | | | | |
| --- Cmolc / dm3 | | | | | | --- Cmolc / dm3 | | | | | |
| Prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias | prof (cm) | Tratamento | 90 dias | 180 dias | 270 dias | 360 dias |
| 0 - 5 | | 0,25 | 0,21 | 0,19 | 0,30 | 0 - 5 | | 9,08 | 11,52 | 14,74 | 8,36 |
| 5 - 10 | Biocarvão | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,27 | 5 - 10 | Biocarvão | 6,78 | 11,23 | 12,05 | 6,73 |
| 10 - 20 | | 0,16 | 0,15 | 0,94 | 0,21 | 10 - 20 | | 5,48 | 9,63 | 9,75 | 5,90 |
| 0 - 5 | | 0,17 | 0,21 | 0,17 | 0,23 | 0 - 5 | | 9,22 | 12,73 | 13,80 | 7,45 |
| 5 - 10 | Controle | 0,15 | 0,18 | 0,17 | 0,22 | 5 - 10 | Controle | 6,55 | 11,68 | 11,75 | 6,10 |
| 10 - 20 | | 0,14 | 0,15 | 0,11 | 0,20 | 10 - 20 | | 5,94 | 9,87 | 10,34 | 4,50 |

- Carbono

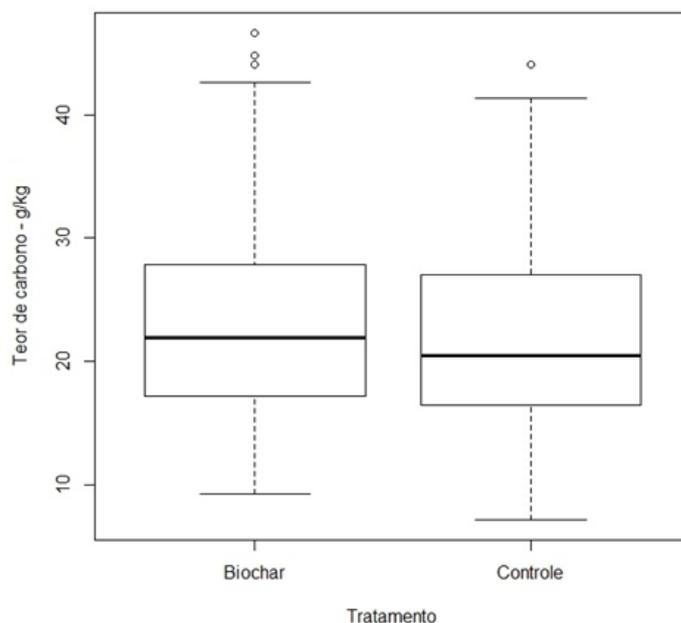


Figura 19: *Boxplot* representando a concentração de carbono orgânico por tratamento no final do experimento.

Os teores médios de carbono orgânico (COT), na profundidade 0-20 cm, no solo estudado, no final do experimento, não aumentaram significativamente pela aplicação do biocarvão ($p < 0.061$), se comparado com o controle (Figura 19). Esta pequena elevação nos teores de C é contrastante com os elevados teores de C de carbono do biocarvão utilizando (60,44% C) (Tabela 9)

Espera-se que a aplicação do biocarvão no solo promova aumento dos teores de COT no solo (TEIXEIRA et al., 2015, LEHMANN & JOSEPH, 2009), pois o biocarvão possui uma estrutura aromática recalcitrante, contribuindo para o sequestro de carbono ao longo prazo (LEHMANN & JOSEPH, 2009; NOVOTNY et al., 2015).

Provavelmente, esses baixos teores de C são devido a metodologia utilizada para a determinação do carbono no solo, que utiliza o dicromato de potássio, este método pode não determinar todo o carbono existente no biochar. Contudo, alguns trabalhos utilizando dicromato de potássio para determinação de carbono orgânico no solo encontram aumentos significativos (SILVA, 2017; PETTER, 2010, FILHO, 2017, SILVA, 2016, PADILHA, 2017).

Guimarães et al (2017) avaliaram o efeito do biocarvão de pó de serra nos teores de carbono orgânico no solo em um Latossolo amarelo na Amazônia usando a metodologia de dicromato de potássio. Os pesquisadores não encontram aumento de carbono orgânico no solo. Segundo eles, esse resultado pode ser explicado pela estabilidade do C contido no carvão vegetal que não é oxidável, ou somente pouco oxidável, e pelo reagente utilizado na determinação do carbono orgânico, um agente oxidante que não oxida totalmente o carbono presente nas estruturas aromáticas do biocarvão. Os mesmos pesquisadores encontraram aumento significativo de carbono total no solo usando a metodologia de combustão seca (CHN).

Silva (2016) utilizando dicromato para determinação de carbono, avaliou o efeito de dois biocarvões, um produzido de borra de café e um produzido de casca de café, nas doses 4, 8, 12, 16 Mg ha⁻¹, em um Neossolo Regolítico eutrófico típico durante 45 dias. No final do experimento o pesquisador encontrou aumento de carbono orgânico em todos os tratamentos. Esse resultado corrobora com Silva (2016) e Padilha (2017), que verificaram aumento dos teores de carbono total após aplicação de biocarvão.

A aplicação do biocarvão como efeito para adição de carbono no solo podem provocar efeitos importantes para o manejo, conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. De acordo com van Raij (1983) a adição da matéria orgânica incorpora no solo dois elementos essenciais, carbono e nitrogênio.

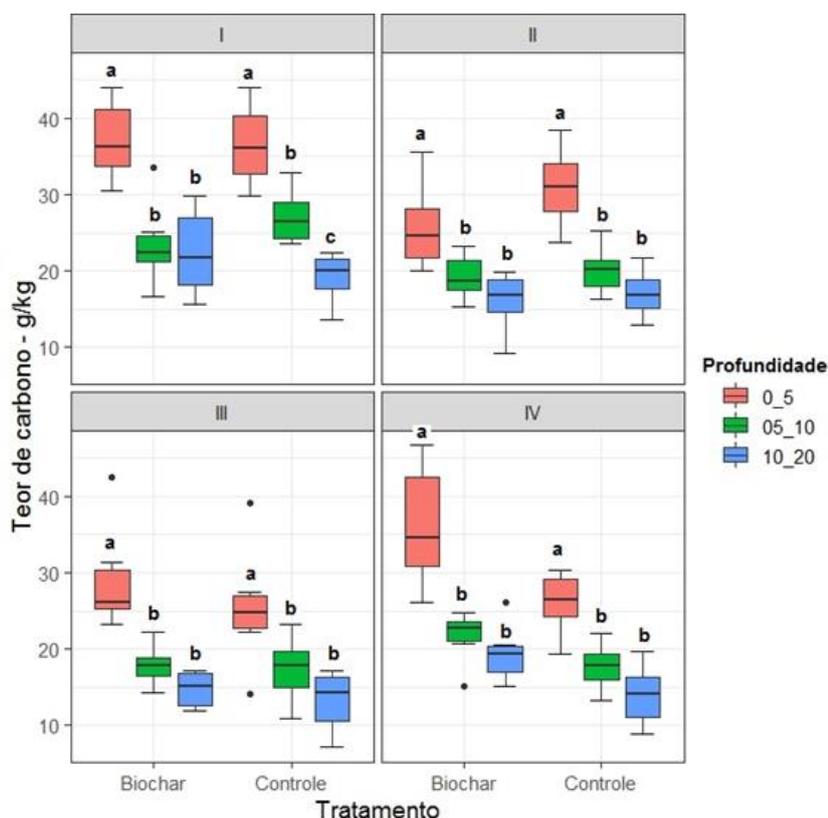


Figura 20: *Boxplot* representando os teores de carbono nos tratamentos com aplicação de biochar e controle, nas profundidades 0,5, 5,10, 10-20 cm (0-5 – vermelho; 5-10 – verde; 10-20 – azul) no tempo.

Analisando os teores de carbono em função do aplicação de biochar, nos quatro períodos de avaliação (I, II, III e IV) e nas três profundidades estudadas (0 -5, 5 - 10 e 10 – 20 cm), nota-se que em todas as quatro épocas de amostragem, os teores de carbono nas profundidades de 0-5 cm foi maior que o horizontes subsuperficiais, 5-10 e 10-cm, sendo que estas camadas subsuperficiais não apresentaram diferenças entre si, exceto no Tempo I nas parcelas de controle, onde os teores de COT são diferentes nas três profundidades. A maior quantidade de COT na camada de 0-5cm do solo se deve ao fato do carbono estar presente em maior quantidade na camada superficial do solo pelas maiores adições de biomassa de vegetais e aportes do sistema radicular das plantas.

Provavelmente, o resultado dos teores de carbono no solo, neste experimento, em especial na camada mais superficial, pode ter aumentado os teores de COT que foram detectados pela metodologia aplicada. O aumento dos teores de COT no solo está associado à presença da estrutura aromática, recalcitrante e à sua alta concentração de C/N, acarretando no aumento na estabilidade da matéria orgânica. Desta forma, aumento de carbono no solo é de suma importância para recuperação e manejo do solo, uma vez que o carbono pode servir como fonte

de nutrientes e energia para os microrganismos, aumento da retenção de água do solo, facilitando a penetração das raízes, estrutura do solo e sua estabilidade, porosidade, retenção de macro e micronutrientes, devido do aumento da MO regularem a Capacidade de Troca Catiônica (MADARI et al., 2009).

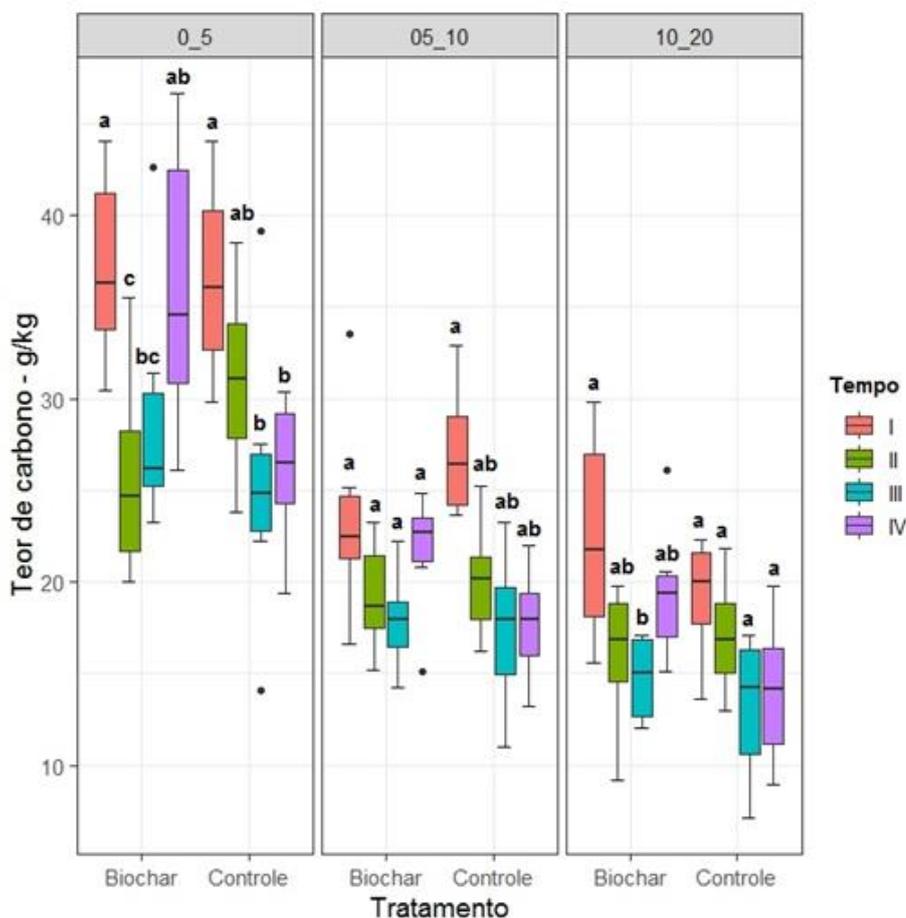


Figura 21: Boxplot representando os teores de carbono entre os tratamentos com aplicação de biocavão e controle, nas profundidade (colunas) e nos tempos de coletas (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV)

Observando a Figura 21, pode-se verificar que os teores de carbono, tratamento com biocavão, na profundidade 0-5cm, variou com o tempo, principalmente com uma redução dos teores nos tempo II e tempo III em relação ao tempo I. A diminuição dos teores de carbono orgânico no tempo II e III pode estar relacionada a mudança do manejo na área do experimento, dado que nesse período ocorreu uma associação de gado bovino pastejando na área do coqueiral do experimento. A metodologia utilizada para determinação do carbono orgânico pode também ser relacionada a esta variação, dado que ela não determina o teor de COT. Pode-se observar que durante o tempo IV, na mesma profundidade, os teores de carbono no solo que recebeu biocavão aumentaram significativamente. Esse fator pode ter ocorrido porque o carbono estava

incorporado nestas camadas mais profundas. No tratamento controle, ocorreu uma diminuição dos teores de carbono no solo no tempo.

No tempo IV, referente ao final do experimento, a camada superficial do solo com biocarvão apresentou um aumento, se comparado com os tempos anteriores e entre o controle no mesmo tempo, fato esse que confere ao biocarvão de *Gliricidia* uma alternativa para adição de carbono no solo. Diversos autores (SILVA et al., 2016, SILVA, 2011, PADILHA, 2017, PURAKAYASTH et al., (2015), OLADELE et al., 2019, PETTER et al., 2016) também encontraram um aumento do COT com a adição do biocarvão no solo. Petter et al. (2016) observaram aumento significativo nos teores de COT com a aplicação de 30 Mg ha⁻¹ de biocarvão de eucalipto em um Plintossolo háplico. Novak et al (2009) verificou que o biocarvão produzido de casca de arroz em um solo franco arenoso aumentou não só nos teores de COT, como também do Ca, K, Mn, P e do pH, e a diminuição dos teores de Al³⁺. Silva (2011) observou o efeito do biocarvão de casca de pequi em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico nos aumentos dos teores COT. Padilha (2017) também teve observou o aumento do COT após a aplicação de biocarvão nas doses 0, 40, 80, 120 Mg ha⁻¹.

O aumento do teor de carbono no solo encontrados por esses pesquisadores é porque o biocarvão possui uma estrutura aromática, dando uma forma de carbono estável, que quando aplicado no solo pode contribuir para diminuição de emissão de gases de efeito estufa. Petter & Madaria (2012),

Na profundidade 5-10 cm nota-se que o tratamento com biocarvão não apresentou diferença entre os tempos, contudo o controle apresentou uma diferença na média entre o tempo I e o tempo IV, 27,12 e 17,07, respectivamente.

Na profundidade 10-20 cm o tratamento com biocarvão registrou uma pequena variação nos teores de carbono tempo I em relação aos tempos II, III e IV. Não houve variação nos teores de C no tratamento Controle nessa profundidade no tempo.

- **pH e Al³⁺ do solo**

Não foi observado diferenças significativas nos valores de pH entre os dois tratamentos na profundidade 0-20cm (Figura 22) ($p < 0,2332$). Possivelmente,

não ocorreu aumento do pH do solo, dado que o solo já se apresentava com pH neutro (*Tabela 6*) antes da aplicação do biocarvão no solo.

Esse resultado se assemelha com o trabalho de Souza (2015), que avaliou o efeito do biocarvão de lodo de esgoto nas doses 20, 40, 60 80 e 100 Mg ha⁻¹ em um Latossolo Vermelho com pH 6,5. No final do experimento o autor observou que o biocarvão não influenciou na acidez do solo, corroborando com o resultado encontrado nesta pesquisa. De acordo com, Van Zwieten et al. (2010), fica mais evidente os efeitos do biocarvão no solo quando aplicados em solos ácidos e com altos teores de Al³⁺. Deve-se considerar que a aplicação de biocarvão em solos que já possuem alto teor de pH pode ser prejudicial para o solo e para a produção de culturas.

Normalmente são encontrados efeitos no pH do solo quando há adição de biocarvão, usando diferentes matérias primas e em diversos tipos de solos (CASTRO et al., 2018; BUTNAN, et al., 2014; EL-NAGGAR et al., 2018; GIAGNONI, et al., 2019; RODRIGUES, 2017; VAN ZWIETEN et al., 2010).

Castro et al. (2018) utilizando biocarvão derivado de Gliricídia em um experimento em campo sob Planossolo Háplico, em Seropédica, observou aumento no pH do solo. Durante o experimento, o solo do tratamento com biocarvão o pH atingiu valores de 5,6 e o controle de 4,8. Porém, no final do experimento, 120 dias depois, o pH do tratamento do biocarvão diminuiu para 5,3. Rodrigues (2017), utilizando o mesmo biocarvão, observou que o aumento no teor de pH do solo acompanhou com as doses aplicadas de biocarvão, 20 e 40%.

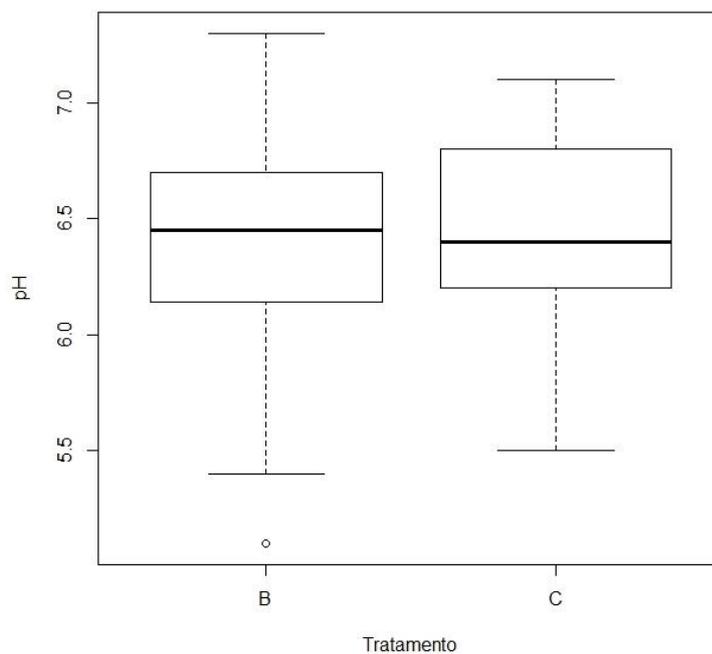


Figura 22: *Boxplot* representando a concentração média de pH por tratamento no final do experimento, na camada de 0 – 20cm.

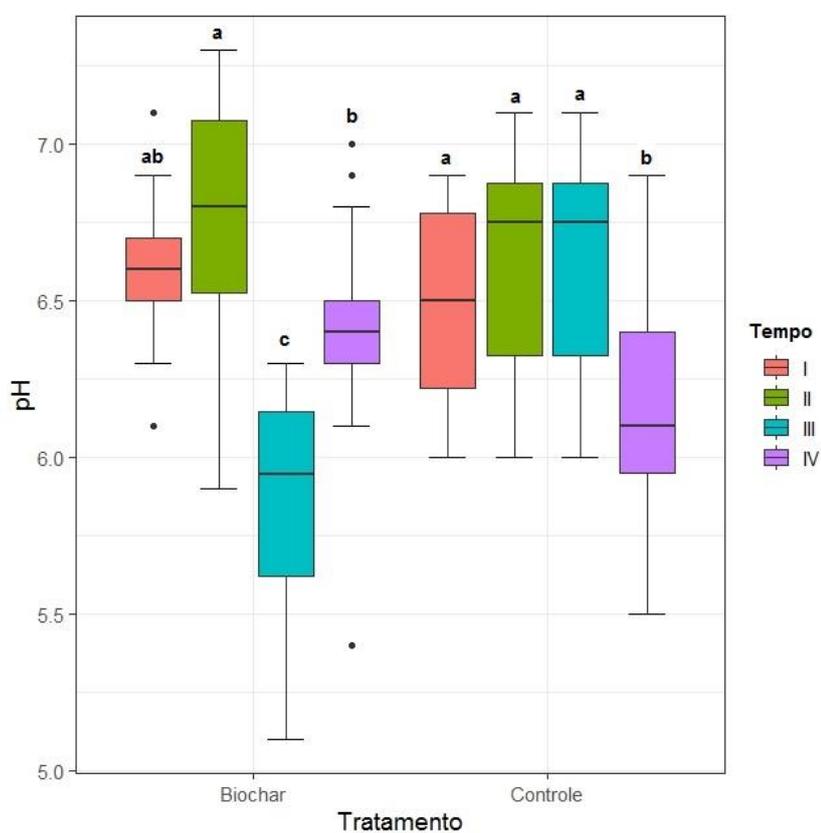


Figura 23: *Boxplot* representando o pH no solo por tempo de coleta. (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV)

No desdobramento do efeito do pH do solo nos tempos de coleta (Figura 23), observa-se que o tratamento com biocarvão teve uma pequena variação,

principalmente no Tempo II para o Tempo III. Provavelmente durante entre esses dois tempos o pH diminuiu por conta do manejo, já que durante esses dois tempos, ocorreu um consórcio com os gados, que pode ter influenciado no pH do solo através da ureia deixada pelo animal no solo. No tempo II o pH do solo apresentou uma taxa maior que o Tempo III e IV. Esse valor possivelmente ocorreu por conta das cinzas do biocarvão, que são ricas em óxidos e hidróxidos de metais alcalinos, resultando no aumento de pH. Observando o pH do solo no tratamento controle, nota-se que o pH só variou no final do experimento (IV).

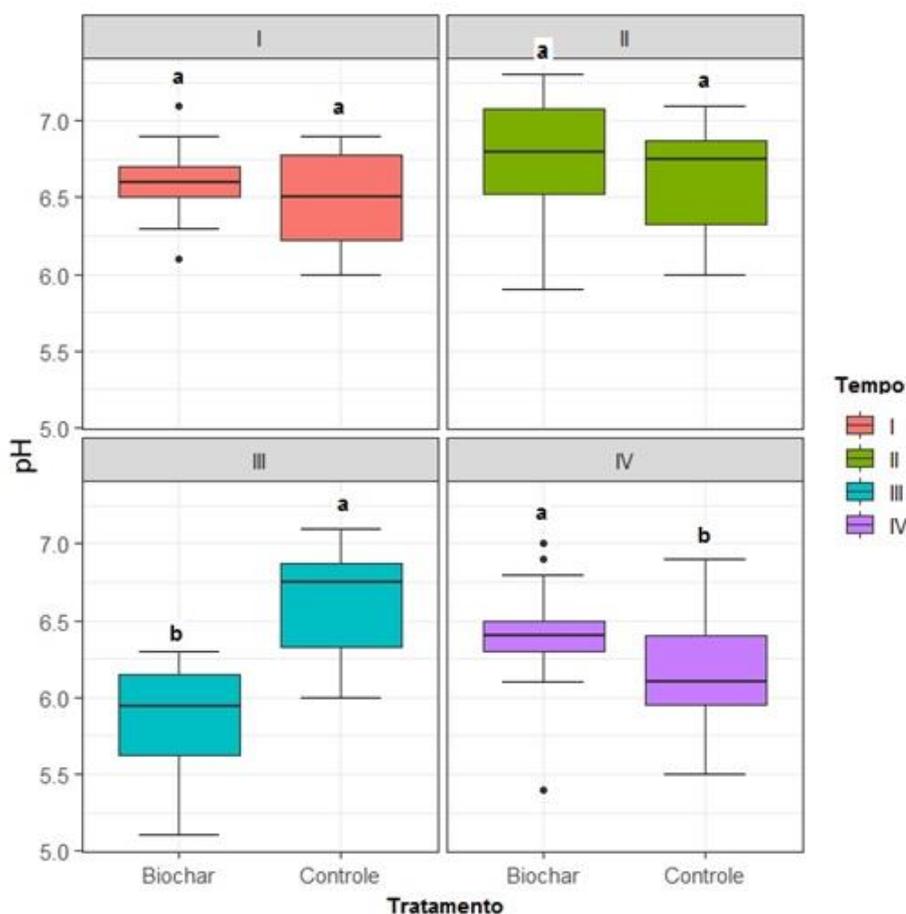


Figura 24: Boxplot representando o desdobramento do pH por tempo entre os tratamentos.

No desdobramento do pH no tempo de coleta, a adição de (Figura 24) biocarvão aumentou o pH no solo, comparado com o controle. Contudo, no tempo III o pH do solo controle estava maior que o tratamento com biocarvão. Porém, no final do experimento (IV), o tratamento com biocarvão apresenta um maior valor de pH que as parcelas de solo controle.

Em função da baixa concentração de Al trocável no solo (Tabela 18), não foi possível verificar os efeitos do biocarvão entre os tratamentos e entre as

profundidades do solo. Os teores de alumínio estão baixos devido ao pH do solo está acima de 5,5, não deixando promover o aparecimento do alumínio em solução, que passar a ser um cátion trocável (VAN RAIJ, 1983). Segundo Nóbrega (2011), a aplicação do biocarvão no solo pode suprimir o alumínio trocável e o ferro trocável, que são toxidades para algumas plantas.

- **CTC efetiva**

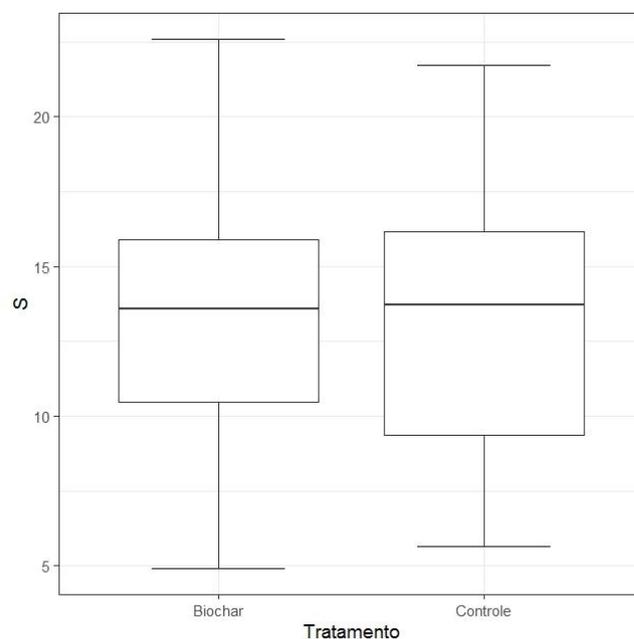


Figura 25 Boxplot representando a média da CTC efetiva no solo no final do tratamento, na camada de 0-20 cm.

Um dos principais benefícios da aplicação de biocarvão no solo está relacionado ao aumento da CTC, contudo analisando a Figura 25, observa-se que o biocarvão não ($p < 0.8993$) aumentou dos teores de Capacidade de Troca catiônica efetiva na camada de 0-20 cm no final do experimento. Possivelmente não ocorreu aumento na CTC efetiva, pois o solo no começo do tratamento já apresentava altos teores de Ca, Mg e K (*Tabela 6*). Esperasse que a aplicação do biocarvão contribua no aumento dos teores de Ca, Mg, K, elevando, consecutivamente, a CTC efetiva do solo, além de diminuir a acidez, que pode ser prejudicial para as plantas (LIANG, et al., 2016; YUAN et al., 2011).

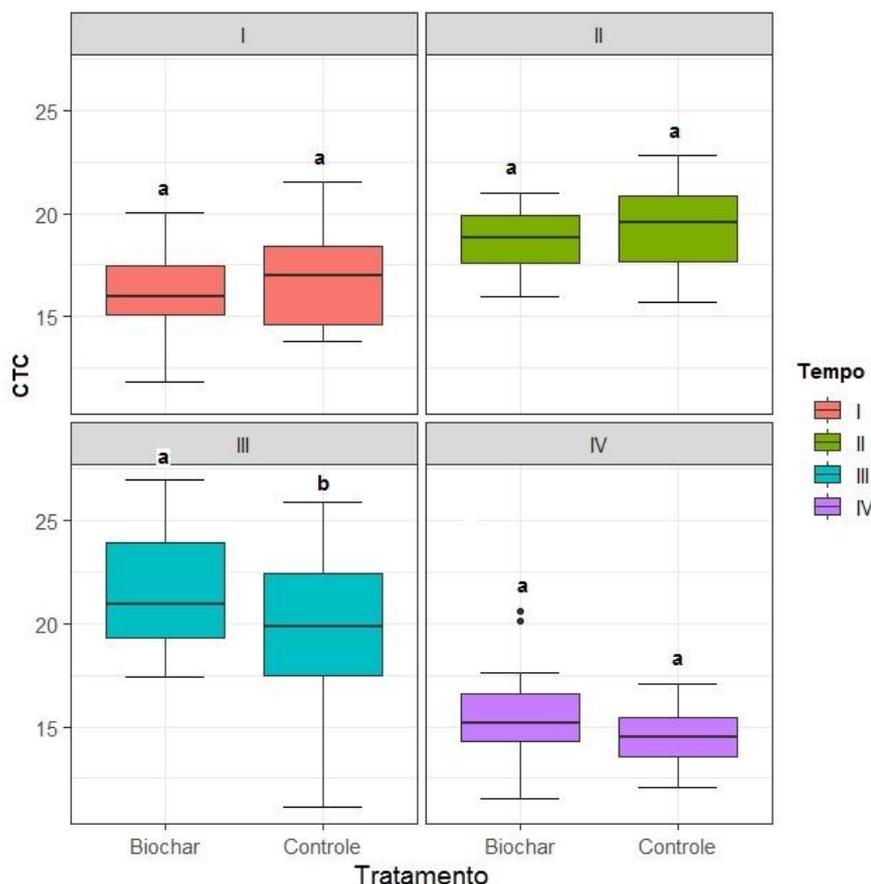


Figura 26 *Boxplot* representando o desdobramento da CTC por tempo entre os tratamentos. (vermelho – Tempo 1; verde – Tempo II, azul – Tempo III; roxo – Tempo IV).

Observando o desdobramento no tempo entre os tratamentos (Figura 26), observa-se que a CTC efetiva só teve diferença no tempo III. Nesse tempo observamos que o biocarvão proporcionou aumento nos teores de CTC efetiva no solo, se comparado com o controle.

O aumento da CTC pode proporcionar melhorias na fertilidade do solo, pois pode reduzir a lixiviação de nutriente e fornecer nutrientes disponíveis para as plantas (NOBREGA, 2011; VAN ZWIETEN et al., 2010).

• Retenção de água

Observou-se que o biocarvão de Gliricidia, apesar do aumento da umidade do solo em todos os potenciais estudados (Figura 27), não há diferenças significativas entre o solo com e sem aplicação de biochar. Esse resultado contrasta com os de Liang et al (2014), que aplicaram doses de 30, 60 e 90 Mg ha⁻¹ de biocarvão no solo, em um experimento com três anos de duração, onde observaram aumento da retenção de água na adição de 90 Mg ha⁻¹. Abel et al.

(2013), observaram aumento no conteúdo de água no ponto de murcha permanente, que foi atribuído à elevada porosidade do biocarvão aplicado no solo. No presente estudo isto não foi observado aumento na umidade no PMP, provavelmente devido ao solo ser de textura média, e estudados pelos autores citados serem de textura arenosa e franco arenosa. Os efeitos da adição de biocarvão na retenção de água no solo são controversos na literatura. O aumento da retenção de água com a aplicação de biocarvão foi observado por (Omondi et al., 2016; Blanco-Canqui, 2017;). Entretanto alguns estudos, concordando com os resultados encontrados nessa pesquisa, também não mostraram efeito significativo ou mesmo redução da retenção de água com a adição de biocarvão (Jeffery et al., 2015; Ojeda et al., 2015).

Nóbrega (2011), afirma que os efeitos da aplicação de biocarvão podem ser diretos e indiretos na retenção de água, podendo ser de curta ou longa duração. O efeito direto está relacionado com a elevada superfície específica e grande número de microporos, onde a água fica retida por capilaridade (KARHU et al., 2011). Os efeitos indiretos relacionam-se com a hipótese que a adição do biocarvão no solo aumenta a agregação ou estruturação, pela sua interação com a matéria orgânica, minerais e microrganismos.

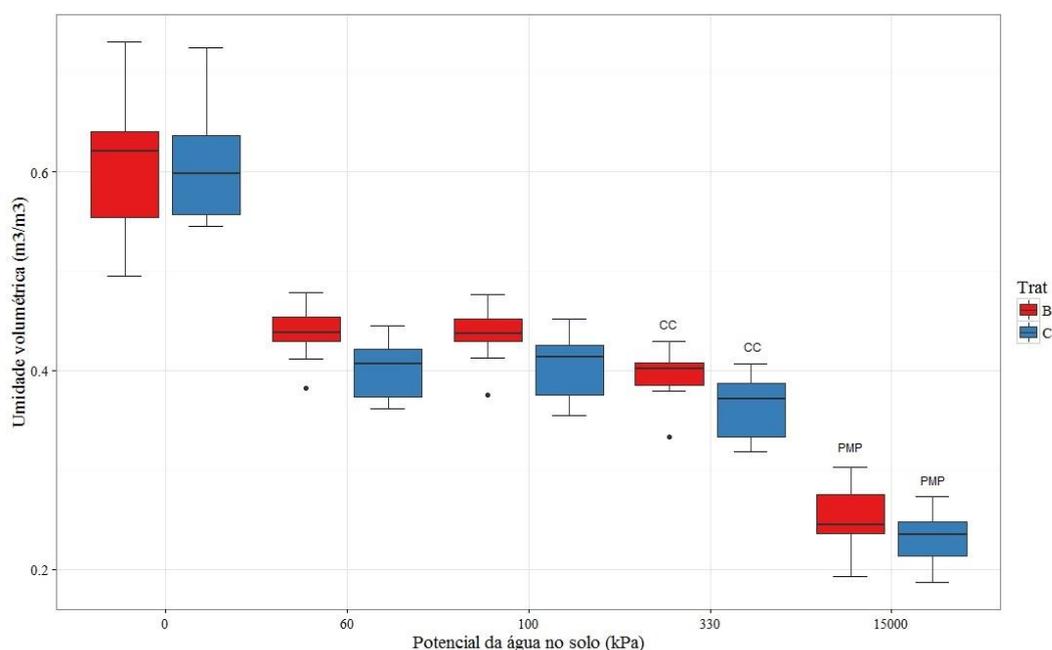


Figura 27: Retenção de Água em amostras de biocarvão e do controle. Vermelho – Biocarvão; Azul – Controle; CC - capacidade de campo; PMP- Ponto de murcha permanente.

Solos argilosos, como o do presente trabalho, retém naturalmente grande quantidade de água, na capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Isto é devido à grande porosidade e superfície específica das argilas estruturadas. Contudo, apesar das diferenças não serem significativas, a aplicação do biocarvão favoreceu o aumento da água retida no solo.

7.

Conclusão

Os resultados obtidos com o uso do biocarvão demonstram que a aplicação do mesmo no solo não aumentou significativamente os teores de carbono na camada superficial do solo. A aplicação do biocarvão no solo também não proporcionou aumento da CTC efetiva e na acidez do solo. Possivelmente as características químicas do solo pré-existent não permitiram que fossem observados resultados significativos pela adição de biocarvão. No entanto, é importante considerar que o efeito da aplicação do biocarvão no solo vai depender de diversos fatores, como a característica do material utilizado, o tipo de pirólise, a temperatura da pirólise, o tipo de solo, o clima, entre outros.

Ocorreu aumento na retenção de água no solo, porém esse aumento não foi significativo, tanto na capacidade de campo quanto no ponto de murcha permanente

Apesar das poucas mudanças nas propriedades químicas do solo, a adição de carbono no solo pode ser uma medida para mitigação do efeito estufa e no aumento das atividades microbianas no solo.

Os estudos em relação a aplicação do biocarvão no solo aumentaram nos últimos anos, porém diversos desafios ainda existem. O desafio maior é compreender como funciona a relação do biocarvão no solo e quais as condições mais favoráveis para a sua aplicação e os benefícios que o mesmo podem gerar para mitigar os impactos ambientais, uma vez que, o biocarvão tem se mostrado como potencial para recuperação de áreas degradadas, aumento da fertilidade e da retenção de água no solo, mitigação do efeito estufa, reutilização de biomassa.

8. Referências

AMANTINO, M. Doadores e a Companhia de Jesus no Rio de Janeiro e São Vicente, séculos xvi e xvii. **Universum (Talca)**, v. 33, n. 2, p. 35-51, 2018.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Principais classes de solo do Estado do Rio de Janeiro. In FREIRE, L. R (org). Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2013.

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARAGÃO, W. M. Sistema para Cultivares de Coqueiro. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, A. L. (Org.). **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros, 2002. p. 16-18.

ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos. In: CINTRA, F. L. D. et al. (Ed.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009.

CERRI, C. E. P; et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Sci. Agric**. Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução à geografia física. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012

Castro, A S.B et al, 'The Effects of Gliricidia-Derived Biochar on Sequential Maize and Bean Farming', **Sustainability**, vol. 10, no. 3, 578.

CARVALHO FILHO, O. M.; DRUMOND, M. A.; LANGUIDEY, P. H. **Gliricidia sepium - leguminosa promissora para regiões semi-áridas**. Petrolina: EMBRAPA, 199. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 35)..

CUENCA, M. A. G. Aspectos da Comercialização e Mercado do Coco. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, A. L. (Org.). **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros, 2002. p. 52-56,

Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 81(4), pp. 687-711.

BRANDY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BENITES, V. M. et al. Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. I. (Ed.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso**

deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 285-296, 2009

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERTONI, J; NETO, F. L. **Conservação do solo.** 7 ed. São Paulo: Ícone, 2010.

BERBERT, M. C. **A mineração de areia no Distrito Areeiro de Itaguaí-Seropédica/RJ: geologia dos depósitos e caracterização das atividades de lavra e dos impactos ambientais.** 2003. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

BIEDERMAN, L, A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **GCB bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 202-214, 2013.

Cavalcante, L. V. A nova geografia do coco: reestruturação produtiva, territorialização do capital e dinâmicas socioespaciais. **GeoUECE**, v. 4, n. 7, p. 218-219, 2015

DIAS, C. M. F. **Estudos de adsorção de co2 gasoso em biocarvão (biochar).** 2014. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014..

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DRUMOND, M. A.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semi-árida do Nordeste brasileiro. *In*: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, 1999.

EL-NAGGAR, Ali et al. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. **Geoderma**, v. 332, p. 100-108, 2018.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (Aracaju, SE). **Recomendações Técnicas para o cultivo do coqueiro.** Aracaju, 1993. 49 p. il (EMBRAPA).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FERREIRA NETO, M. **Doses de N e K aplicadas via fertirrigação na cultura do coqueiroanão (Cocos nucifera L.) anão.** 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) –Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FERREIRA, P. H. Z et al.. **Diagnóstico e propostas de uso para áreas degradadas no município de Seropédica-RJ pela extração de areia em cava.** 2016.

FRIDMAN, F. De chão religioso a terra privada: o caso da Fazenda de Santa Cruz. **Cadernos Ippur**, v. 16, n. 1, p. 311-343, 2002.

FONTES, H. R. **Caracterização do quadro atual e principais ameaças à produção de coco seco no nordeste do Brasil**. 2010

FREIRE, L. R. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E)**, Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013.

SOUZA F; NAZARETH, J. **O Brasil na rota da seda: uma contribuição para a recuperação, o enriquecimento e a divulgação da memória de Seropédica, Itaguaí e do Estado do Rio de Janeiro**. 2. ed. Seropédica: Universidade Rural. 2004.

GIAGNONI, L et al. Long-term soil biological fertility, volatile organic compounds and chemical properties in a vineyard soil after biochar amendment. **Geoderma**, v. 344, p. 127-136, 2019.

GÓES, M. H. B. **Diagnóstico Ambiental por Geoprocessamento do Município de Itaguaí, RJ**. 1994. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, 1994.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos: conceitos e temas. *In*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 15-50.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G. M. **características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Cidade: Editora, 1996.

GUERRA, M. D. F et al. Revisitando a teoria eossistêmica de Bertrand no século xxi: aportes para o GTP (?). **Geografia em Questão**. Cascavel-PR, v.5, n. 2., p. 28-42 2012. Disponível em: <<http://erevista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/5454>>. Acessado em: 16/06/2019

GUIMARÃES, R. S. et al. Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. **Revista Vitual de Química**, v. 9, n. 5, p. 1944-1956, 2017.

HOSSAIN, Mustafa K. et al. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Chemosphere**, v. 78, n. 9, p. 1167-1171, 2010.

IBGE. **Produção agrícola municipal, culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro**.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA – Sistema IBGE de recuperação automática**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.

_____. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006a. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE. Canandaigua: Biochar International, 2017.

IPCC. **Climate change 2007: mitigation of climate change**. Summary for policymakers. Bangkok, 2007b.

Jeffery, S. et al., Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. **Geoderma**, 251, pp. 47-54.

KERN, D. C. et al. As Terras Pretas de índios na Amazônia. In: TEIXEIRA, W. et al. (Ed). **As terras pretas de índio na Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 62-72.

KARHU, K, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity—Results from a short-term pilot field study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 140, n. 1-2, p. 309-313, 2011.

LEHMANN, J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol...and...a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and...charcoal...amendments.... **Plant...and Soil**, Netherlands, v. 249, p. 343-357, 2003.

LEHMANN, J. **Bio-energy in the black**. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 5, n. 7, p. 381- 387, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. Cidade: Earthscan, 2009.

LEHMANN, J. et al. Biochar effects on soil biota - A review. **Soil Biology & Biochemistry**, London, v. 43, p. 1812-1836, 2011.

LEPSCH. I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LIANG, Chenfei et al. Biochar alters the resistance and resilience to drought in a tropical soil. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 6, p. 064013, 2014.

LIANG, B. et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1719-1730, 2006.

LINS, J. **Terra Preta de Índio: uma lição dos povos pré-colombianos da Amazônia**. 2013. 43f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Biológicas). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas.

Major, J. et al. ,Nutrient leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. **J. Environ. Qual.**, 41 (4), pp.1076–1086. 2012

MANGRICH, A. S.; et al. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v.47, p.48-52, 2011.

MADARI, B. E. et al. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 286-296

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. de. (2011). **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: Panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 28.

MARTINS FILHO. **Impacto do biochar de café sobre as atividades enzimáticas e biomassa microbiana em neossolo cultivados com milho e feijão.** 2017. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola da UFRPE).

MOREIRA, R. **Para onde vai o pensamento geográfico.** 2009

MOREIRA, Ruy. A Geografia serve para desvendar máscaras sociais. **Geografia, teoria e crítica: o saber posto em questão. Petrópolis: Vozes**, p. 33-63, 1982.

NÓBREGA, I. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo.** 2005. 38f Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

NOVAK, J. M. et al. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Science**, Berlin, v. 174, p. 105-112, 2009.

Obia, Alfred. et al . (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. **Soil and Tillage Res.**, 155, 35–44.

OHLER, J. G. **Coconut, tree of life.** RoMa: FAO, 1984, 446p.

OLADELE, S. O.; ADEYEMO, A. J.; AWODUN, M. A. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. **Geoderma**, v. 336, n. August 2018, p. 1–11, 2019.

Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., and Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. **Geoderma**, 274, pp. 28-34.

LAL. R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of The Royal Society B. London*, v. 363, p. 815-830, 2008.

MALAVOLTA. et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo: Pioneira**, 1974. O 668-685, il.

OJEDA, Gerardo et al. Are soil–water functions affected by biochar application?. **Geoderma**, v. 249, p. 1-11, 2015.

OUVRIER, M. Exportation par la recolte du cocotier PB-121 em fonction de la fumure potassique et magnésienne. **Oléagineux**, v.39, n.5, p. 263-271, 1984.

PADILHA, Felipe de Jesus et al. **Caracterização física, química e espectroscópica do biocarvão em Latossolo Amarelo distrófico da Amazônia Central.** 2017. Dissertação de Mestrado. Dissertação em Agricultura no Trópico Úmido. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

PANEQUE, Marina et al. Effect of biochar amendment on morphology, productivity and water relations of sunflower plants under non-irrigation conditions. **Catena**, v. 147, p. 280-287, 2016.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado.** 2010. 130p. 2010. Tese de Doutorado. Tese Doutorado (Doutorado em Produção

Vegetal), Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PETTER, F. A et al. Impact of biochar on nitrous oxide emissions from upland rice. **Journal of environmental management**, v. 169, p. 27-33, 2016.

PURAKAYASTHA, T. J. et al. Biochar carbon sequestration in soil-A myth or reality. **International Journal of Bio-Resource & Stress Management**, v. 6, n. 5, 2015.

REZENDE, E. I. P. et al. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. In: Revista Virtual de Química. 2017, 5. **Anais...** Niterói: Editoria da RVq, 2017. p. 426-433

REZENDE, E. I. P. et al., . S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Rev. Virtual Quim**, 3(5), 426-433, 2011.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, p. 69-77, 5 maio 2011.

RODRIGUES, A. F. **O efeito do biocarvão em mudas da Mata Atlântica: uma análise ambiental e socioeconômica**. 2017, 104p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Geografia e Meio Ambiente. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RODRIGUES. et al. Cultivo de eucalipto com biocarvão de resíduos de folhas de palmeira dendê. **Ciência & Tecnologia: Fatec-JB**, Jaboticabal, v. 8, p. 139 – 143, 2016. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ROSALÉM, N. P; ARCHELA, R. S.. GEOSSISTEMA, TERRITÓRIO E PAISAGEM COMO MÉTODO DE ANÁLISE GEOGRÁFICA. VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Maio de 2010. <<http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema1/nathalia>>.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teórico e metodológico da Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1988.

SILVA, M. S. **A Biochar de casca de pqui como condicionador de solo no desempenho agrônomo de feijoeiro**. 2011. 90p. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

SILVA, W. D. M. **Aplicação de biochar de resíduos de café em Neossolo Regolítico: Efeitos nas características químicas e biológicas e na produção de milho e feijão**. Tese (Mestrado / Produção Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Garanhuns, PE., 2016b.

ROSS, J. L. S.. Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade-natureza. **Anais..** Buenos Aires: CLACSO, 2008.

ROSSETE, AMANITAS NAZARETH. **Mineração e planejamento ambiental. Estudo de caso: A mineração de areia no município de Itaguaí-RJ**. 1996, 141p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências. Unicamp.

SIQUEIRA, L. A. et al. **A introdução do coqueiro no Brasil: importância histórica e agrônômica.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 24 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 47).

SILVA, J. H. **Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (Theobroma cacao L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica.** 2013, 79f. Dissertação (Magister Scientiae en Agroforestería Tropical). Turrialba, Costa Rica

SOBRAL, L. F. Adubação do coqueiro. In. Fontes, H. R.; Ferreira, J. M. S.; Siqueira, A. L. (Org). **Sistema de produção para a cultura do coqueiro.** Aracaju-SE: 01 – Embrapa Tabuleiros, v. 01, p.12-16, dez. 2002;

SOMBROEK, W.G. **Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region.** Wageningen, Centre for Agricultural Publication and Documentation, 1966. 292p. (Agricultural Research Reports, 672)

SOUSA, A. A. T. C. **Biochar De Lodo De Esgoto: Efeitos No Solo e Na Lanta No Cultivo De Rabanete.** 2015, 63p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília.

SPOKAS, K. A.; et al. A. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. **Journal of Environmental Quality**, special section: 973-989, 2012.

TAVARES, G. C. A Fazenda de Santa Cruz: sua importância para o comércio de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro no período joanino (1808 – 1821): **Revista do arquivo geral da cidade do Rio de Janeiro**, n.5, 2011, p.269-283

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. **3ª edição revista e atualizada.** Brasília, DF: EMBRAPA. 573p, 2017.

TEIXEIRA, W; et al. **Potencialidades do uso do biocarvão como condicionador de solo no Brasil.** EMBRAPA, 2015.

ROSSETE, A. N. **Mineração e planejamento ambiental. Estudo de Caso: A Mineração de Areia no Município de Itaguaí-RJ.** Campinas, 1996.

SILVA, H. S.; OLIVEIRA. M. F. R. **Fazenda Jesuítica, Imperial, Nacional de Santa Cruz: da acumulação fundiária à colonização agrícola dirigida (fazenda Nacional de Santa Cruz, rio de Janeiro, 1950-1930)** n. 14, 208, p. 169-191.

Silva R. W. C., Paula B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. *Terra Didática*, 5(1):42-49<[http:// www.ige.unicamp.br/terraedidatica/](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/)>

VAN RAIJ. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** IAC, 1983.

VAN ZWIETEN, L.; et al.,. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, p. 235-246, 2010.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo, R. Bras.Ci.Solo, 33:743-755, **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**. 2009, vol.33, n.4, pp.743-755.ISSN1806-9657. 2009

VERHEIJEN, F. G. A; et al. **Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions**. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VICENTE, J. F. **Caracterização Hidrogeológica de uma Área Experimental no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica/RJ**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008

WANDELLI, E. V. et al. **Cerca-Viva de Gliricidia sepium. Comunicado técnico** (EMBRAPA), 2006

WOOLF, D. Biochar as soil amendment: A review of the environmental implications. **Nature**, p. 1-10, 2008.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.13, p.1467-1476, 19

Apêndice

Desdobramentos

Carbono

```
> fat3.dic(trat,prof,t,c,quali=c(TRUE,TRUE,TRUE),fac.names=c("Tratamentos",  
"Profundidade [cm]", "Tempo de coleta"),sigT = 0.05, sigF = 0.65)
```

Legenda:

FATOR 1: Tratamentos
FATOR 2: Profundidade [cm]
FATOR 3: Tempo de coleta

Quadro da análise de variancia

| | GL | SQ | QM |
|---|-----|------------|------------|
| Tratamentos | 1 | 83.48020 | 83.4802 |
| Profundidade [cm] | 2 | 4990.82702 | 2495.41351 |
| Tempo de coleta | 3 | 1265.59325 | 421.86442 |
| Tratamentos*Profundidade [cm] | 2 | 42.26903 | 21.13452 |
| Tratamentos*Tempo de coleta | 3 | 377.98489 | 125.99496 |
| Profundidade [cm]*Tempo de coleta | 6 | 64.39855 | 10.73309 |
| Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta | 6 | 142.18456 | 23.69743 |
| Residuo | 120 | 2780.40105 | 23.17001 |
| Total | 143 | 9747.13855 | |

| | Fc | Pr>Fc |
|---|----------|--------|
| Tratamentos | 3.6029 | 0.0601 |
| Profundidade [cm] | 107.7002 | 0 |
| Tempo de coleta | 18.2073 | 0 |
| Tratamentos*Profundidade [cm] | 0.9121 | 0.4044 |
| Tratamentos*Tempo de coleta | 5.4378 | 0.0015 |
| Profundidade [cm]*Tempo de coleta | 0.4632 | 0.8343 |
| Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta | 1.0228 | 0.4139 |
| Residuo | | |
| Total | | |

CV = 9.79 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.1541942

De acordo com o teste de Shapiro-wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

Interacao Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta
significativa: desdobrando a interacao

Desdobrando Tratamentos dentro de cada nivel de Profundidade [cm] e Tempo de coleta

Quadro da análise de variancia

```

-----
-----

```

| | GL | SQ | QM | Fc |
|------------------------|-----|--------------|-------------|-----------|
| Pr>Fc | | | | |
| Tratamentos: 0_5 I | 1 | 1.1532000 | 1.1532000 | 0.049771 |
| 0.823841 | | | | |
| Tratamentos: 0_5 II | 1 | 82.6297601 | 82.6297601 | 3.566238 |
| 0.06138 | | | | |
| Tratamentos: 0_5 III | 1 | 41.0330083 | 41.0330083 | 1.770954 |
| 0.185787 | | | | |
| Tratamentos: 0_5 IV | 1 | 303.0075000 | 303.0075000 | 13.077574 |
| 0.000438 | | | | |
| Tratamentos: 10_20 I | 1 | 32.0133333 | 32.0133333 | 1.381671 |
| 0.242144 | | | | |
| Tratamentos: 10_20 II | 1 | 3.3920333 | 3.3920333 | 0.146398 |
| 0.702679 | | | | |
| Tratamentos: 10_20 III | 1 | 7.5525333 | 7.5525333 | 0.325962 |
| 0.569114 | | | | |
| Tratamentos: 10_20 IV | 1 | 87.5340083 | 87.5340083 | 3.777901 |
| 0.054275 | | | | |
| Tratamentos: 5_10 I | 1 | 38.1990083 | 38.1990083 | 1.64864 |
| 0.201618 | | | | |
| Tratamentos: 5_10 II | 1 | 2.5761333 | 2.5761333 | 0.111184 |
| 0.739382 | | | | |
| Tratamentos: 5_10 III | 1 | 0.8856333 | 0.8856333 | 0.038223 |
| 0.845326 | | | | |
| Tratamentos: 5_10 IV | 1 | 45.9425333 | 45.9425333 | 1.982845 |
| 0.161676 | | | | |
| Residuo | 120 | 2780.4010475 | 23.1700087 | |

```

-----
-----

```

Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 0_5 de Profundidade [cm] e I de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

```

-----
-----

```

| | Niveis | Medias |
|---|--------|----------|
| 1 | B | 37.13167 |
| 2 | C | 36.51167 |

```

-----
-----

```

Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 0_5 de Profundidade [cm] e II de Tempo de coleta

Teste de Tukey

```

-----
-----

```

| Grupos | Tratamentos | Medias |
|--------|-------------|----------|
| a | C | 31.05983 |
| a | B | 25.81167 |

```

-----
-----

```

Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 0_5 de Profundidade [cm] e III de Tempo de coleta

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|---|----------|
| a | B | 29.13 |
| a | C | 25.43167 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 0_5 de
 Profundidade [cm] e IV de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

| | | |
|---------------------------|---|----------|
| Grupos Tratamentos Medias | | |
| a | B | 36.09167 |
| b | C | 26.04167 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 10_20 de
 Profundidade [cm] e I de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

| | | |
|---------------------------|---|----------|
| Grupos Tratamentos Medias | | |
| a | B | 22.42667 |
| a | C | 19.16 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 10_20 de
 Profundidade [cm] e II de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao
 estatisticamente iguais.

| | | |
|---|--------|----------|
| | Niveis | Medias |
| 1 | B | 16.01667 |
| 2 | C | 17.08000 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 10_20 de
 Profundidade [cm] e III de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

| | | |
|---------------------------|---|----------|
| Grupos Tratamentos Medias | | |
| a | B | 14.76833 |
| a | C | 13.18167 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 10_20 de
 Profundidade [cm] e IV de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

 Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|---|----------|
| a | B | 19.45833 |
| a | C | 14.05667 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 5_10 de
 Profundidade [cm] e I de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

| | | |
|---------------------------|---|----------|
| Grupos Tratamentos Medias | | |
| a | C | 27.11333 |
| a | B | 23.545 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 5_10 de
 Profundidade [cm] e II de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao
 estatisticamente iguais.

| | | |
|---|--------|----------|
| | Niveis | Medias |
| 1 | B | 19.20500 |
| 2 | C | 20.13167 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 5_10 de
 Profundidade [cm] e III de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao
 estatisticamente iguais.

| | | |
|---|--------|----------|
| | Niveis | Medias |
| 1 | B | 17.92667 |
| 2 | C | 17.38333 |

 Tratamentos dentro da combinacao dos niveis 5_10 de
 Profundidade [cm] e IV de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

| | | |
|---------------------------|---|----------|
| Grupos Tratamentos Medias | | |
| a | B | 21.62833 |
| a | C | 17.715 |

 Desdobrando Profundidade [cm] dentro de cada nivel de
 Tratamentos e Tempo de coleta

 Quadro da analise de variancia

```

-----
-----
                                GL          SQ          QM          Fc
Pr>Fc
Profundidade [cm]: B I      2  804.1704  402.08521  17.353692
0
Profundidade [cm]: B II     2  299.5111  149.75554   6.463335
0.002158
Profundidade [cm]: B III    2  683.4944  341.74722  14.749551   2e-
06
Profundidade [cm]: B IV     2  981.1294  490.56469   21.1724
0
Profundidade [cm]: C I      2  905.3290  452.66452  19.536657
0
Profundidade [cm]: C II     2  648.3465  324.17324  13.991071   3e-
06
Profundidade [cm]: C III    2  464.9843  232.49217  10.034186   9.3e-
05
Profundidade [cm]: C IV     2  452.7140  226.35701   9.769397
0.000117
Residuo                                120 2780.4010  23.17001
-----
-----

```

Profundidade [cm] dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e I de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

 Grupos Tratamentos Medias
 a 0_5 37.13167
 b 5_10 23.545
 b 10_20 22.42667

Profundidade [cm] dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e II de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

 Grupos Tratamentos Medias
 a 0_5 25.81167
 b 5_10 19.205
 b 10_20 16.01667

Profundidade [cm] dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e III de Tempo de coleta

 Teste de Tukey

 Grupos Tratamentos Medias
 a 0_5 29.13
 b 5_10 17.92667
 b 10_20 14.76833

```

b      5_10    17.715
b      10_20   14.05667

```

```

-----
Desdobrando Tempo de coleta dentro de cada nivel de
Tratamentos e Profundidade [cm]
-----

```

```

-----
Quadro da analise de variancia
-----

```

| | GL | SQ | QM | Fc | |
|--------------------------|-----|-----------|-----------|----------|----------|
| Pr>Fc | | | | | |
| Tempo de coleta: B 0_5 | 3 | 537.6078 | 179.20260 | 7.734248 | 9.1e-05 |
| Tempo de coleta: B 10_20 | 3 | 215.9230 | 71.97434 | 3.106358 | 0.029132 |
| Tempo de coleta: B 5_10 | 3 | 112.9258 | 37.64195 | 1.624598 | 0.187265 |
| Tempo de coleta: C 0_5 | 3 | 479.0102 | 159.67007 | 6.891239 | 0.000254 |
| Tempo de coleta: C 10_20 | 3 | 136.8211 | 45.60703 | 1.968365 | 0.12238 |
| Tempo de coleta: C 5_10 | 3 | 367.8733 | 122.62443 | 5.292377 | 0.00184 |
| Residuo | 120 | 2780.4010 | 23.17001 | | |

```

-----
Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e 0_5 de Profundidade [cm]
-----

```

```

-----
Teste de Tukey
-----

```

| Grupos | Tratamentos | Medias |
|--------|-------------|----------|
| a | I | 37.13167 |
| ab | IV | 36.09167 |
| bc | III | 29.13 |
| c | II | 25.81167 |

```

-----
Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e 10_20 de Profundidade [cm]
-----

```

```

-----
Teste de Tukey
-----

```

| Grupos | Tratamentos | Medias |
|--------|-------------|----------|
| a | I | 22.42667 |
| ab | IV | 19.45833 |
| ab | II | 16.01667 |
| b | III | 14.76833 |

```

-----
Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis B de
Tratamentos e 5_10 de Profundidade [cm]
-----

```

Teste de Tukey

```
-----
-----
Grupos Tratamentos Medias
a      I      23.545
a      IV     21.62833
a      II     19.205
a      III    17.92667
-----
-----
```

Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis C de
Tratamentos e 0_5 de Profundidade [cm]

Teste de Tukey

```
-----
-----
Grupos Tratamentos Medias
a      I      36.51167
ab     II     31.05983
b      IV     26.04167
b      III    25.43167
-----
-----
```

Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis C de
Tratamentos e 10_20 de Profundidade [cm]

Teste de Tukey

```
-----
-----
Grupos Tratamentos Medias
a      I      19.16
a      II     17.08
a      IV     14.05667
a      III    13.18167
-----
-----
```

Tempo de coleta dentro da combinacao dos niveis C de
Tratamentos e 5_10 de Profundidade [cm]

Teste de Tukey

```
-----
-----
Grupos Tratamentos Medias
a      I      27.11333
ab     II     20.13167
b      IV     17.715
b      III    17.38333
-----
-----
```

pH

```
> fat3.dic(trat,prof,t,pH,quali=c(TRUE,TRUE,TRUE),fac.names=c("Trat
amentos","Profundidade [cm]", "Tempo de coleta"),sigT = 0.05,
sigF = 0.05)
-----
-----
```

Legenda:

FATOR 1: Tratamentos
 FATOR 2: Profundidade [cm]
 FATOR 3: Tempo de coleta

 Quadro da análise de variancia

| QM | Fc | Pr>Fc | GL | SQ |
|---|---------|--------|-----|----------|
| Tratamentos | | | 1 | 0.14503 |
| 0.14503 | 1.4359 | 0.2332 | | |
| Profundidade [cm] | | | 2 | 2.78327 |
| 1.39163 | 13.7777 | 0 | | |
| Tempo de coleta | | | 3 | 4.89189 |
| 1.63063 | 16.1439 | 0 | | |
| Tratamentos*Profundidade [cm] | | | 2 | 0.01636 |
| 0.00818 | 0.081 | 0.9223 | | |
| Tratamentos*Tempo de coleta | | | 3 | 5.47490 |
| 1.82497 | 18.0679 | 0 | | |
| Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | | 6 | 0.32560 |
| 0.05427 | 0.5373 | 0.779 | | |
| Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | | 6 | 0.39506 |
| 0.06584 | 0.6519 | 0.6885 | | |
| Residuo | | | 120 | 12.12072 |
| 0.10101 | | | | |
| Total | | | 143 | 26.15283 |

 CV = 34.7 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.01996501

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

 Interacao Tratamentos*Tempo de coleta significativa: desdobrando a interacao

Desdobrando Tratamentos dentro de cada nível de Tempo de coleta

Quadro da análise de variancia

| | GL | SQ | QM | Fc |
|---------------------------------|-----|----------|---------|--------|
| Pr>Fc | | | | |
| Tratamentos:Tempo de coleta I | 1 | 0.05367 | 0.05367 | 0.5313 |
| 0.4675 | | | | |
| Tratamentos:Tempo de coleta II | 1 | 0.21778 | 0.21778 | 2.1561 |
| 0.1446 | | | | |
| Tratamentos:Tempo de coleta III | 1 | 4.81071 | 4.81071 | 47.628 |
| 0 | | | | |
| Tratamentos:Tempo de coleta IV | 1 | 0.53778 | 0.53778 | 5.3242 |
| 0.0227 | | | | |
| Residuo | 120 | 12.12072 | 0.10101 | |

Tratamentos dentro do nível I de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

| | Niveis | Medias |
|---|----------|----------|
| 1 | Biochar | 6.583333 |
| 2 | Controle | 6.506111 |

Tratamentos dentro do nível II de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

| | Niveis | Medias |
|---|----------|----------|
| 1 | Biochar | 6.772222 |
| 2 | Controle | 6.616667 |

Tratamentos dentro do nível III de Tempo de coleta

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|----------|----------|
| a | Controle | 6.616667 |
| b | Biochar | 5.885556 |

Tratamentos dentro do nível IV de Tempo de coleta

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|----------|----------|
| a | Biochar | 6.405556 |
| b | Controle | 6.161111 |

Desdobrando Tempo de coleta dentro de cada nível de
Tratamentos

Quadro da análise de variancia

| | GL | SQ | QM | Fc |
|--------------------------------------|-----|----------|---------|---------|
| Pr>Fc | | | | |
| Tempo de coleta:Tratamentos Biochar | 3 | 7.85340 | 2.61780 | 25.9173 |
| 0 | | | | |
| Tempo de coleta:Tratamentos Controle | 3 | 2.51339 | 0.83780 | 8.2945 |
| 0 | | | | |
| Residuo | 120 | 12.12072 | 0.10101 | |

Tempo de coleta dentro do nível Biochar de Tratamentos

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|----|-----|----------|
| a | II | 6.772222 |
| ab | I | 6.583333 |
| b | IV | 6.405556 |
| c | III | 5.885556 |

Tempo de coleta dentro do nível Controle de Tratamentos

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|-----|----------|
| a | II | 6.616667 |
| a | III | 6.616667 |
| a | I | 6.506111 |
| b | IV | 6.161111 |

Analisando os efeitos simples do fator Profundidade [cm]

Profundidade [cm]

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|-------|----------|
| a | 05_10 | 6.546667 |
| a | 0_5 | 6.536667 |
| b | 10_20 | 6.246875 |

CTC efetiva

```
> fat3.dic(trat,prof,t,T,quali=c(TRUE,TRUE,TRUE),fac.names=c("Trata
mentos","Profundidade [cm]", "Tempo de coleta"),sigT = 0.05, sigF
= 0.05)
```


Legenda:

FATOR 1: Tratamentos

FATOR 2: Profundidade [cm]

FATOR 3: Tempo de coleta

Quadro da análise de variancia

| QM | Fc | GL | SQ |
|---|---------|--------|------------|
| Tratamentos | | 1 | 4.02671 |
| 4.02671 | 0.8993 | | |
| Profundidade [cm] | | 2 | 237.40753 |
| 118.70376 | 26.5118 | | |
| Tempo de coleta | | 3 | 720.04903 |
| 240.01634 | 53.6063 | | |
| Tratamentos*Profundidade [cm] | | 2 | 1.01221 |
| 0.5061 | 0.113 | | |
| Tratamentos*Tempo de coleta | | 3 | 54.39171 |
| 18.13057 | 4.0494 | | |
| Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | 6 | 29.25387 |
| 4.87564 | 1.0889 | | |
| Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | 6 | 3.06615 |
| 0.51103 | 0.1141 | | |
| Residuo | | 120 | 537.28697 |
| 4.47739 | | | |
| Total | | 143 | 1586.49418 |
| | | Pr>Fc | |
| Tratamentos | | 0.3449 | |
| Profundidade [cm] | | 0 | |
| Tempo de coleta | | 0 | |
| Tratamentos*Profundidade [cm] | | 0.8932 | |
| Tratamentos*Tempo de coleta | | 0.0088 | |
| Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | 0.373 | |
| Tratamentos*Profundidade [cm]*Tempo de coleta | | 0.9946 | |
| Residuo | | | |
| Total | | | |

 CV = 15.92 %

 Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

valor-p: 0.005574832

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

Interacao Tratamentos*Tempo de coleta significativa: desdobrando a interacao

Desdobrando Tratamentos dentro de cada nivel de Tempo de coleta

Quadro da analise de variancia

| | GL | SQ | QM | Fc |
|---|-----|-----------|----------|--------|
| Pr>Fc | | | | |
| Tratamentos:Tempo de coleta I 0.2006 | 1 | 7.41654 | 7.41654 | 1.6564 |
| Tratamentos:Tempo de coleta II 0.2869 | 1 | 5.12268 | 5.12268 | 1.1441 |
| Tratamentos:Tempo de coleta III 0.0044 | 1 | 37.69960 | 37.69960 | 8.42 |
| Tratamentos:Tempo de coleta IV 0.179 | 1 | 8.17960 | 8.17960 | 1.8269 |
| Residuo | 120 | 537.28697 | 4.47739 | |

Tratamentos dentro do nivel I de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

```

-----
-----
      Niveis      Medias
1 Biochar      16.01278
2 Controle     16.92056
-----
-----

```

Tratamentos dentro do nível II de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

```

-----
-----
      Niveis      Medias
1 Biochar      18.70056
2 Controle     19.45500
-----
-----

```

Tratamentos dentro do nível III de Tempo de coleta

Teste de Tukey


```

-----
-----
Grupos Tratamentos Medias
a      Biochar      21.65556
b      Controle     19.60889
-----
-----

```

Tratamentos dentro do nível IV de Tempo de coleta

De acordo com o teste F, as medias desse fator sao estatisticamente iguais.

```

-----
-----
      Niveis      Medias
1 Biochar      15.34833
2 Controle     14.39500
-----
-----

```

Desdobrando Tempo de coleta dentro de cada nível de
Tratamentos

Quadro da análise de variancia

| Fc | Pr>Fc | | GL | SQ | QM |
|------------------|-------------|----------|-----|----------|-----------|
| Tempo de coleta: | Tratamentos | Biochar | 3 | 446.6567 | 148.88557 |
| 33.2527 | 0 | | | | |
| Tempo de coleta: | Tratamentos | Controle | 3 | 327.7840 | 109.26134 |
| 24.4029 | 0 | | | | |
| Residuo | | | 120 | 537.2870 | 4.47739 |

Tempo de coleta dentro do nível Biochar de Tratamentos

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|-----|----------|
| a | III | 21.65556 |
| b | II | 18.70056 |
| c | I | 16.01278 |
| c | IV | 15.34833 |

Tempo de coleta dentro do nível Controle de Tratamentos

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

| | | |
|---|-----|----------|
| a | III | 19.60889 |
| a | II | 19.455 |
| b | I | 16.92056 |
| c | IV | 14.395 |

Analisando os efeitos simples do fator Profundidade [cm]

Profundidade [cm]

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a 0_5 19.45729

b 05_10 17.47812

c 10_20 16.35083

Retenção de água

Análise de variância da umidade nos diferentes potenciais em função dos tratamentos B e C

```
> fat2.dic(Trat,Pot,umidade,quali=c(TRUE,TRUE),
fac.names=c("Tratamentos","Potenciais [cm de água]"),sigT = 0.05,
sigF = 0.05)
```


Legenda:

FATOR 1: Tratamentos

FATOR 2: Potenciais [cm de água]

Quadro da análise de variancia

| | GL | SQ | QM | Fc |
|--|-----|---------|---------|---------|
| Pr>Fc | | | | |
| Tratamentos 0.00227 | 1 | 0.01424 | 0.01424 | 9.769 |
| Potenciais [cm de água] 0.00000 | 4 | 1.60777 | 0.40194 | 275.828 |
| Tratamentos*Potenciais [cm de água] 0.33583 | 4 | 0.00672 | 0.00168 | 1.153 |
| Residuo | 110 | 0.16029 | 0.00146 | |
| Total | 119 | 1.78902 | | |

CV = 9.22 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-wilk)

p-valor: 0.005994788

ATENCAO: a 5% de significancia, os residuos nao podem ser considerados normais!

Interacao nao significativa: analisando os efeitos simples

Tratamentos

Teste de Tukey

| Grupos | Tratamentos | Medias |
|--------|-------------|-----------|
| a | B | 0.4249833 |
| b | C | 0.4032 |

Potenciais [cm de água]

Teste de Tukey

| Grupos | Tratamentos | Medias |
|--------|-------------|-----------|
| a | 0 | 0.604625 |
| b | 100 | 0.4217917 |
| b | 60 | 0.4214167 |
| c | 330 | 0.3800417 |
| d | 15000 | 0.2425833 |