

**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA O SEMIÁRIDO**

JULIANA RIBEIRO COSTA PEREIRA

**POTENCIAL DO BIOCARVÃO PARA A PRODUÇÃO DE
MILHO E MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO**

Petrolina, PE
2019

JULIANA RIBEIRO COSTA PEREIRA

**POTENCIAL DO BIOCARVÃO PARA A PRODUÇÃO DE
MILHO E MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido, da Universidade de Pernambuco Campus Petrolina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Diana Signor Deon

Coorientador: Dr. Magnus Dall Igna Deon

Petrolina, PE
2019

Pereira, Juliana Ribeiro Costa.

P437p Potencial do biocarvão para a produção de milho e melhoria da qualidade do solo. / Juliana Ribeiro Costa Pereira. – Petrolina: do autor, 2019.

90 f.: il.; 30 cm.

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Diana Signor Deon e Prof. Dr. Magnus Dall Igna Deon.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido - PPGCTAS. Universidade de Pernambuco, Campus Petrolina, Petrolina-PE, 2019.

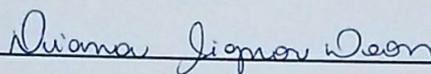
1. Pirólise. 2. Biomassa carbonizada. 3. Semiárido. 4. Qualidade do solo. 5. Rendimentos de culturas. I. Deon, Diana Signor. II. Universidade de Pernambuco - Campus Petrolina - PPGCTAS. III. Título.

CDD 363.73874

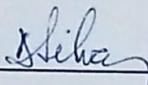
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AMBIENTAL PARA O SEMIÁRIDO

Juliana Ribeiro Costa Pereira

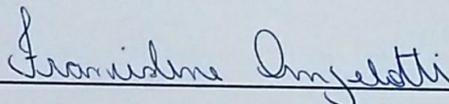
**Potencial do biocarvão para a produção de culturas e melhoria da
qualidade do solo no semiárido**



Dra. Diana Signor Deon



Dr. Davi José Silva



Dra. Francislene Angelotti

DEDICATÓRIA

Dedico a Josimar Rocha (*in memoriam*), pois foi uma pessoa de extrema importância durante o todo ensino médio e cursinho pré-vestibular, acreditando sempre no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Longo foi o caminho, muitos foram os esforços e as renúncias para passar no mestrado, mas, enfim, se concretizou e agora chegou ao fim. Inicialmente, agradeço a Deus por esta realização, por me mostrar que sou mais forte do que penso, por me dar forças nos momentos de dificuldade.

Agradeço aos meus pais, por ficarem ao meu lado em todos os momentos, por demonstrarem seu amor incondicional, pelos conselhos que me guiaram e continuarão a guiar minha vida. Ao meu irmão Felipe por estar sempre ao meu lado. A toda minha família, que mesmo distante sempre me deram forças e estímulo para continuar.

A Dr^a Diana Signor Deon, pela orientação e amizade nesses dois anos de convívio. Por tentar me manter calma nos meus momentos de ansiedade e desespero. Um exemplo de dedicação e empenho ao ensino e à pesquisa. Ao Dr^o Magnus Dall'Igna Deon, por me ajudar sempre quando precisei durante a execução dos experimentos e correções do trabalho.

Aos amigos pós-graduandos, Gilmar, Tatiane, Ytalo e Sam, pelos conhecimentos divididos e ajuda mútua durante a execução das nossas pesquisas na Embrapa Semiárido.

A todos os funcionários da Embrapa Semiárido, em especial a Tio Herbert e a todos os estagiários, em especial Bianca, Thâmara, Amélia e Carlos, que me auxiliaram na implementação e execução dos experimentos em campo.

Aos queridos amigos da “Caverna”, com os quais dividi o dia a dia na Embrapa, compartilhando nossas histórias, brincadeiras, conselhos e comidinhas diariamente.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido, pela confiança, carinho e conhecimento passado.

Aos colegas e amigos do programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido, em especial a Patrícia e Virgínia, com os quais dividi disciplinas e momentos de desespero e descontração.

Aos meus eternos amigos Fabio, Leila e Víctor que sempre acreditaram e marcaram a minha vida. Aos amigos do Sem Concurso, com os quais, desde a graduação, construí uma amizade em Juazeiro e que jamais esquecerei.

Ao grupo “Bolsistas Capes” do *Facebook* não apenas por proporcionar momentos de humor e descontração em postagens, mas, principalmente, pelas dicas, conselhos e reflexões relacionadas à vida acadêmica.

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa, à Embrapa Semiárido pela infraestrutura para execução da pesquisa e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido (PPGCTAS/UPE) pelo apoio às atividades de pesquisa. À Capes pela bolsa de mestrado concedida.

O tempo é capaz de tudo, ele é o senhor da razão. Lutar contra o tempo, persistir, acreditar é virtude de poucos, pois, às vezes desistir é mais fácil... mas eu prefiro continuar e enfim **CONSEGUIR!!!**

RESUMO

O biocarvão é uma forma estável de carbono que proporciona melhoria em diversos atributos do solo e na disponibilidade de nutrientes para as plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do biocarvão, produzido a partir de matérias-primas regionais, como condicionador do solo, a fim de reduzir os efeitos das limitações edafoclimáticas e garantir a produtividade em sistemas de produção de milho dependentes de chuva no Semiárido brasileiro. Para avaliar o efeito do biocarvão sobre a produção de biomassa do milho foi realizado um experimento em vasos, com esquema fatorial [3x5] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão) em delineamento ao acaso, com quatro repetições. Foram utilizados três tipos de biocarvão (resíduo de poda de mangueira, resíduo de processamento de uva e carvão vegetal comercial), que foram produzidos em forno de alvenaria, e posteriormente caracterizados quimicamente e aplicados em cinco doses (0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹). O pH do biocarvão de uva é ácido, enquanto o do carvão vegetal é neutro e o de resíduo de manga é alcalino. O biocarvão de resíduo de uva apresenta a maior capacidade de troca de cátions e, quando aplicado na dose de 6 Mg ha⁻¹, permite a obtenção do maior rendimento de biomassa de milho. O biocarvão produzido a partir de vegetação nativa da Caatinga não incrementa a produção de milho. Foram ainda avaliados os efeitos dos mesmos biocarvões, ao longo do tempo, sobre os atributos químicos de Argissolo e Vertissolo. Para a condução do experimento no Argissolo o esquema fatorial [3x5x4] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão e 4 tempos de avaliação) e para o Vertissolo o esquema fatorial [3x5x5] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão e 5 tempos de avaliação), em delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os biocarvões foram misturados aos solos nas doses de 0; 0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹ e a mistura foi acondicionada em tubos de PVC (30 cm de altura e 10 cm de diâmetro) que foram enterrados a 20 cm de profundidade. As alterações promovidas pelos biocarvões no Vertissolo foram menos evidentes que no Argissolo, tendo em vista que, o Vertissolo já possuía características de maior fertilidade do solo. O tempo foi a variável que refletiu um maior efeito para os atributos. Os biocarvões oriundo do resíduo de processamento de uva e resíduo de poda de mangueira apresentaram o melhor desempenho dentre as fontes avaliadas tanto para atributos químicos do solo quanto para o rendimento de biomassa aérea do milho.

Palavras-chave: pirólise, biomassa carbonizada, semiárido, qualidade do solo, rendimento de culturas, dependente de chuva

ABSTRACT

Biochar is a rich and stable carbon form that improves soil attributes and nutrients availability to plants. The objective of this study was evaluated the potential of biochars produced by regional raw materials to be used as a soil conditioner in order to reduce limitations of soil and climate and to ensure productivity of corn in rain dependent systems in Brazilian semi-arid region. The effects of biochar under corn biomass production were evaluated in a pot experiment in a randomized factorial design [3x5] (3 types of biochars, 5 biochar rates), with four replicates. Three biochar types (mango pruning waste, processing grape juice wastes and commercial charcoal) were produced in a masonry oven, chemically characterized and applied to soils at five rates (0; 0,5; 1; 5 and 10 Mg ha⁻¹). Grape residue biochar pH is acid, charcoal is neutral and biochar from branch mango is alkaline. Biochar from grape juice residue has the higher cation exchange capacity and promotes the highest corn biomass yield when applied at 6 Mg ha⁻¹. Biochar from Caatinga native forest does not increase the corn production. There were also evaluated the effects of the same biochars, over time, under chemical attributes of an Ultisol and a Vertisol. In order to conduct the experiment in the Ultisol, the randomized block factorial design [3x5x4] (3 types of biochar, 5 doses of biochar and 4 evaluation times) was used and for the Vertisol the randomized block factorial design [3x5x5] (3 types of biochar, 5 doses of biochar and 5 times of evaluation), with four replications. The biochars were mixed to the soils in the doses of 0; 0.5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹ and the mixture was packed in PVC tubes (30 cm high and 10 cm in diameter) which were buried 20 cm deep. The changes promoted by the biochars in the Vertisol were less evident than in Ultisol, since the Vertisol already had characteristics of better soil fertility. The time was the variable that reflected a greater effect for the attributes. The biochars from grape processing residue and those from pruning residue presented the best performance among the sources evaluated for both soil chemical attributes and corn aerial biomass yield.

Keywords: pyrolysis, carbonized biomass, semi-arid, soil quality, crop yield, rainfall dependent

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Terra Preta de Índio	16
Figura 3.2 - Representação da biomassa e do respectivo biocarvão.....	17
Figura 3.3 - Tipos de Pirólise, de acordo com a faixa de temperatura e características predominantes do biocarvão produzido	18
Figura 3.4 - Micrografia do biocarvão de palha de cana-de-açúcar produzido a 350 °C (a, b); 450 °C (c, d) e 550 °C (e, f). As setas brancas indicam os detalhes em destaque no canto inferior esquerdo (a, c, e).....	19
Figura 3.5 - Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	24
Figura 3.6 - Usina de produção de biocarvão em Selangor, Malaysia	28
Figura 4. 1 - Regressão da produtividade de matéria seca do milho em função das doses aplicadas e biocarvões diferentes.....	42
Figura 5. 1 - Precipitação acumulada em Petrolina e Juazeiro.....	50
Figura 5. 2 - Produção do Biocarvão. A- Forno de Alvenaria produzindo o biocarvão; B- Biocarvão de RPM; C- Biocarvão de RPU	51
Figura 5. 3 - Efeito de tempo de incubação ao solo e de doses de biocarvão sobre a condutividade elétrica de Argissolo, em Petrolina-PE.....	55
Figura 5. 4 - Efeito da interação dupla entre tempo de incubação e tipo de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE	56
Figura 5. 5 - Efeito da interação dupla entre tipo e doses de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE.....	56
Figura 5. 6 - Efeito da interação dupla entre tempo de incubação e doses de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE	57
Figura 5. 7 - Efeito do tempo de incubação e tipo de biocarvão no P disponível em Argissolo, em Petrolina-PE	59
Figura 5. 8 - Efeito do tempo de incubação e da dose de biocarvão sobre os teores de P disponível em Argissolo, em Petrolina-PE	59
Figura 5. 9 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de potássio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE.....	61
Figura 5. 10 - Efeito do tempo de incubação no teor de Na trocável em Argissolo, em Petrolina-PE.....	62
Figura 5. 11 - Efeito da dose aplicada no teor de Na trocável em Argissolo, em Petrolina-PE	62

Figura 5. 12 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de cálcio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE	63
Figura 5. 13 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de magnésio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE.....	64
Figura 5. 14 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a capacidade de troca de cátions (CTCcalculada) em Argissolo, em Petrolina-PE.....	65
Figura 5. 15 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o teor de alumínio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE.....	66
Figura 5. 16 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a acidez potencial em Argissolo, em Petrolina-PE.....	67
Figura 5. 17 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a Soma de Bases em Argissolo, em Petrolina-PE	68
Figura 5. 18 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a saturação por bases em Argissolo, em Petrolina-PE.....	69
Figura 5. 19 - Efeito da interação dupla entre tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a condutividade elétrica no Vertissolo, em Juazeiro-BA	71
Figura 5. 20 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão no pH em Vertissolo, em Juazeiro-BA	72
Figura 5. 21 - Efeito do tempo de incubação no P disponível em Vertissolo, em Juazeiro-BA	72
Figura 5. 22 - Efeito do tempo de incubação no K trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA	74
Figura 5. 23 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o sódio trocável em Vertissolo, Juazeiro-BA.....	75
Figura 5. 24 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão no Ca ⁺² trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA.....	76
Figura 5. 25 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação sobre o teor de Mg trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA.....	77
Figura 5. 26 - Efeito de tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o teor de Mg trocável no Vertissolo, em Juazeiro-BA.....	78
Figura 5. 27 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação na Soma de bases em Vertissolo, em Juazeiro-BA.....	78
Figura 5. 28 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação na Capacidade de Troca de Cátions em Vertissolo, em Juazeiro-BA.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Rendimento do processo de pirólise de diferentes biomassas submetidas à pirólise nas temperaturas de 400 e 700 °C.....	20
Tabela 3.2 - Efeito do biocarvão no crescimento / rendimento de plantas cultivadas em solos afetados por sal/condições salinas	23
Tabela 3.3 - Emissões de GEE na produção de biocarvão de EFB	28
Tabela 3.4 - Capacidade de adsorção de diferentes biocarvões para remoção de íons metálicos da água	30
Tabela 4. 1 - Caracterização dos biocarvões produzidos a partir de resíduo de poda de mangueira (RPM), resíduo de processamento de uva (RPU) e CV (carvão vegetal).....	41
Tabela 5. 1 - Caracterização dos biocarvões produzidos a partir de resíduo de poda de mangueira (RPM), resíduo de processamento de uva (RPU) e CV (carvão vegetal).....	52
Tabela 5. 2 – Valor P de análise de variância para efeitos de tipo de biocarvão, doses de biocarvão, tempo de incubação e respectivas interações sobre atributos químicos de Argissolo, em Petrolina-PE	54
Tabela 5. 3 - Valor P de análise de variância para efeitos de tipo de biocarvão, doses de biocarvão, tempo de incubação e respectivas interações sobre atributos químicos do solo de Vertissolo em Juazeiro-BA	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 BIOCARVÃO.....	15
3.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO	17
3.3 EFEITOS DO BIOCARVÃO SOBRE O SOLO.....	20
3.4 EFEITOS DO BIOCARVÃO SOBRE AS PLANTAS	24
3.5 BIOCARVÃO E PERSPECTIVAS AMBIENTAIS	26
3.6 REFERÊNCIAS.....	31
4 CARACTERIZAÇÃO DE BIOCARVÕES REGIONAIS E EFEITOS SOBRE PRODUÇÃO DE BIOMASSA DO MILHO EM PETROLINA – PE.....	36
4.1 INTRODUÇÃO	38
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.4 CONCLUSÃO	44
4.5 REFERÊNCIAS.....	44
5 EFEITO DE BIOCARVÕES REGIONAIS SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ARGISSOLO E VERTISSOLO	47
5.1 INTRODUÇÃO	49
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	50
5.2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	50
5.2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS.....	52
5.2.4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	53
5.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	53
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.3.1 ARGISSOLO	54
5.3.2 VERTISSOLO	69
5.4 CONCLUSÕES	80
5.5 REFERÊNCIAS.....	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
APÊNDICE A – PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO	86

APÊNDICE B – EXPERIMENTO BIOCARVÃO CAMPO EXPERIMENTAL CAATINGA 2017.....	87
APÊNDICE C –EXPERIMENTO BIOCARVÃO CAMPO EXPERIMENTAL MANDACARU 2017	87
APÊNDICE D – EXPERIMENTO BIOCARVÃO NO MILHO 2018	88

1 INTRODUÇÃO

A utilização indiscriminada dos recursos naturais, visando suprir de imediato a população mundial, acaba gerando graves problemas ambientais, como a poluição de mananciais e dos solos, devido ao uso dos fertilizantes e agrotóxicos. Além dos fatores de degradação antrópicos, o Brasil possui solos que sofrem também com alta acidez, fixação de fósforo e decomposição rápida da matéria orgânica, como os encontrados na região Semiárida.

Para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade na produção, diversos manejos são utilizados no solo. Porém o uso excessivo destes pode gerar vários problemas, como a salinização e, posteriormente, desertificação.

Entretanto, várias práticas alternativas de manejo de solo estão sendo utilizadas em busca de otimizar a produção em quantidade e qualidade, sem o uso de fertilizantes, tais como compostagem, adubação verde, fertilizantes naturais e a adição de biocarvão (biomassa carbonizada através da pirólise).

Por ser advindo de uma energia limpa, o biocarvão, que é um material rico em carbono estável, se apresenta como uma alternativa viável para o melhoramento de características químicas, físicas e biológicas dos solos, como capacidade de retenção de água, biorremediação de água e solos contaminados por metais, além de mitigar a emissão de gases de efeito estufa em longo prazo.

A região semiárida do Brasil possui a maioria dos solos ácidos e com baixa capacidade de retenção de água, escassez de precipitação pluviométrica, elevada temperatura e taxa de evapotranspiração. A utilização do biocarvão no solo demonstra ser uma prática de manejo viável, tendo em vista que as intempéries da região diminuem ou impossibilitam a produtividade de algumas culturas (principalmente em condições de sequeiro). Além disso, a região do Submédio São Francisco gera uma quantidade elevada de biomassa, advinda de processos da agricultura irrigada, que pode ser convertida em biocarvão, trazendo benefícios ao meio ambiente e à agricultura.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial do biocarvão, produzido a partir de matérias-primas regionais, como condicionador do solo, a fim de reduzir os efeitos das limitações edafoclimáticas e garantir a produtividade em sistemas de produção agrícolas dependentes de chuva no Semiárido brasileiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar algumas características químicas dos biocarvões produzidos em forno de alvenaria a partir de matérias primas regionais;
- Avaliar o efeito da aplicação de biocarvão sobre os atributos químicos em Argissolo (Petrolina/PE) e Vertissolo (Juazeiro/BA);
- Avaliar os efeitos do biocarvão sobre a produtividade de milho em Argissolo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 BIOCARVÃO

Biocarvão é um material sólido, rico em carbono, obtido a partir da carbonização de biomassa, com pouco ou nenhum oxigênio, por um processo denominado pirólise (TANG et al., 2015, 2016). Tem sido utilizado para aumentar a fertilidade e melhorar a retenção de água no solo, inativar moléculas de pesticidas (biorremediação) e diminuir a emissão de gases do efeito estufa (REN et al., 2016).

A investigação do uso de biocarvão para melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos no solo iniciou-se a partir do estudo da fertilidade e produtividade das terras pretas de índio (TPI) (GLASER et al., 2001), que, apresentam boa fertilidade e produtividade, mesmo sem adubação, e isso foi atribuído à presença do carvão.

Segundo Mangrich & Maia & Novotny (2011), algumas pesquisas sugerem que essas TPI ocupam cerca 63 mil km² de toda a área de floresta na Amazônia. Não há certeza se o processo de formação das terras pretas pelos índios pré-colombiano foi um processo intencional de melhoria do solo ou se foi um subproduto das atividades agrícolas e de habitação desses povos. A TPI é caracterizada pela cor escura no solo e pela presença de fragmentos de artefatos de cerâmica.

Além de apresentar maior índice de pH e concentração de matéria orgânica que os solos adjacentes, a TPI (Figura 3.1) é caracterizada por apresentar elevada concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), zinco (Zn) e cobre (Cu) entre outros (TEIXEIRA et al., 2009). Segundo Lehmann et al. (2003), a fertilidade desses solos está associada às altas quantidades de partículas finas de carvões, advinda da queima natural ou realizada por populações indígenas.

Figura 3.1 - Terra Preta de Índio



Fonte: Rezende et al. (2011)

O biocarvão não é um produto padrão, pois suas características variam de acordo com o processo de queima e seus desdobramentos (tipo de pirólise, temperatura, tempo de queima, quantidade de oxigênio disponível durante o processo), tipo e granulometria da biomassa (MORALES, 2010). Devido ao seu baixo custo, os resíduos de processos agrícolas são as matérias-primas mais comuns utilizadas na pirólise para a produção de biocarvão (Figura 3.2) (VERHEIJEN et al., 2010). O biocarvão difere do carvão vegetal devido ao uso, uma vez que o biocarvão não é utilizado como combustível, mas é produzido para uso exclusivamente como condicionante do solo (KOOKANA et al., 2011).

Figura 3.2 - Representação da biomassa e do respectivo biocarvão



Fonte: Meyer & Glaser & Quicker (2011)

Assim a utilização do biocarvão destaca-se como uma alternativa viável, principalmente por apresentar uma forma estável da matéria orgânica, que nos cultivos agrícolas proporcionam mudanças no solo, como densidade, retenção de água, textura, estrutura, porosidade, condutibilidade térmica, capacidade de troca catiônica (CARVALHO, 2010), garantindo fertilidade por muito mais tempo e um maior número de microrganismos benéficos no solo (MAIA, 2011). Além disso, em solos ácidos e neutros, com texturas de média a arenosa, têm-se observado uma elevada produtividade com a utilização do biocarvão (SMEBYE et al., 2016).

O biocarvão apresenta em sua estrutura alta porosidade e área superficial específica, conferindo condições susceptíveis à absorção de composto orgânicos solúveis, contribuindo com a disponibilidade de nutrientes e retenção de água no solo (MADARI et al., 2006). A retenção e disponibilidade de nutriente para as plantas, segundo Petter (2010) e Petter & Madari (2012), se dá, à medida que vai acontecendo a oxidação parcial do biocarvão, e o surgimento de novos sítios eletroquímicos.

3.2 PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO

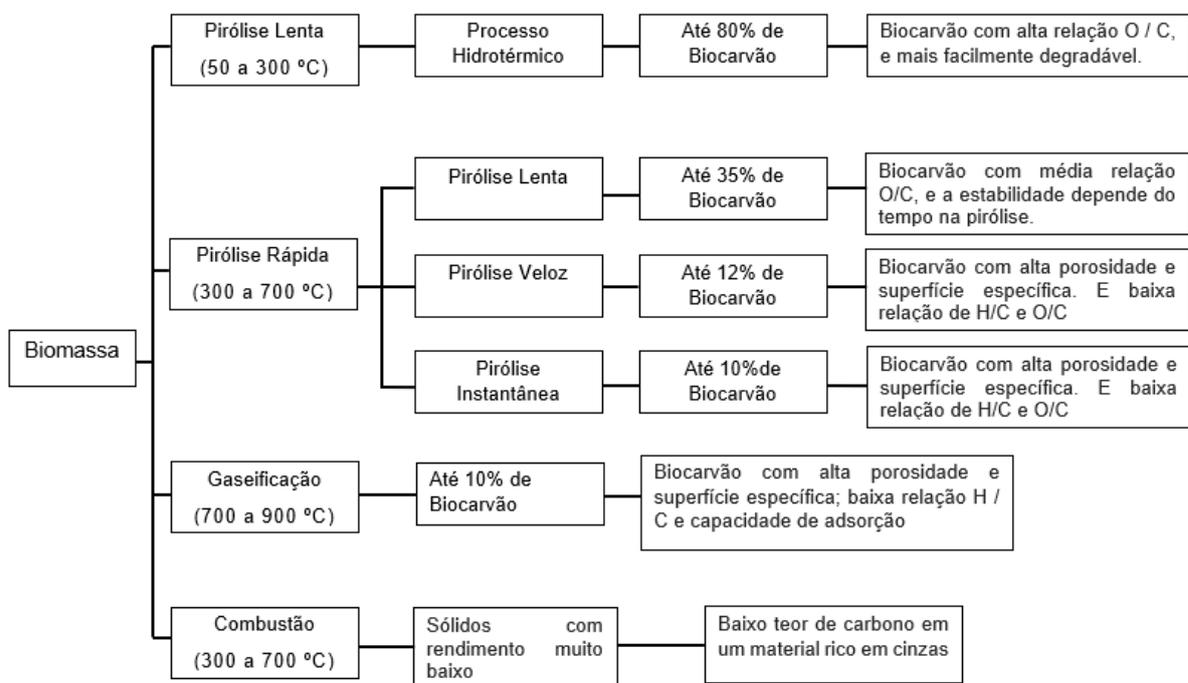
A pirólise é uma técnica de conversão térmica de biomassa orgânica, que origina gases não condensáveis (syngas), vapor/líquido condensável (bio-óleo) e uma fração sólida (finos de

carvão), na ausência completa ou com quantidade mínima de oxigênio (CANABARRO et al., 2013; SANTOS, 2011). O biocarvão é rico em carbono sólido de textura fina e com uma área superficial específica elevada (KOOKANA et al., 2011).

Existem diferentes tipos de pirólise (Figura 3.3), sendo os principais a pirólise lenta e a pirólise rápida, que diferem entre si principalmente em relação ao tempo de queima e aos produtos gerados. Na pirólise rápida obtêm-se como produto principal o bio-óleo, que é produzido em altas taxas de aquecimento (acima de $100^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e com temperaturas próximas a 500°C . O bio-óleo tem inúmeras utilizações, pois possui uma variedade de famílias de compostos (GÓMEZ et al., 2008), havendo então a necessidade de refiná-lo (biorrefinarias), para obtenção de produtos como combustíveis, adesivos, saborizantes e fertilizantes (RODRIGUES et al, 2011).

Por outro lado, a pirólise lenta favorece a produção da parte sólida, o biocarvão, e é realizada em baixas taxas de aquecimento (abaixo de $80^{\circ}\text{C min}^{-1}$), na faixa de temperatura entre 350 a 750°C (NACHENIUS et al., 2013).

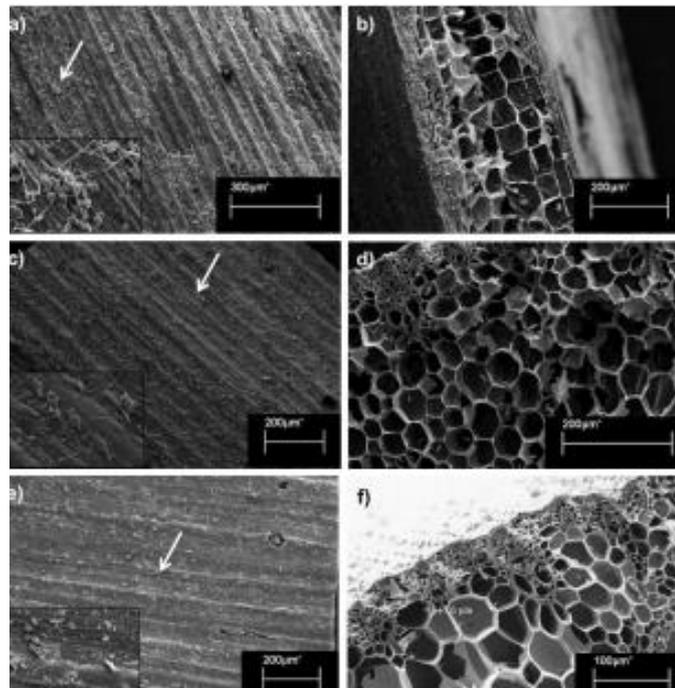
Figura 3.3 - Tipos de Pirólise, de acordo com a faixa de temperatura e características predominantes do biocarvão produzido



Fonte: Adaptado de Novotny et al. (2015)

A temperatura da pirólise é o fator que exerce maior influência nas diversas características físicas do biocarvão. Com a combustão, há a formação de compostos com alto teor de carbono. No entanto, a biomassa carbonizada sofre uma perda de massa em volume (através de compostos voláteis), hemicelulose, celulose e lignina (DOWNIE et al., 2009). Com a perda, há formação de micro, meso e macroporos, que fazem com que aumente a área de superfície específica do biocarvão. Segundo (BROWN, et al., 2006) o aumento da superfície específica é diretamente proporcional ao aumento da temperatura de pirólise (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Micrografia do biocarvão de palha de cana-de-açúcar produzido a 350 °C (a, b); 450 °C (c, d) e 550 °C (e, f). As setas brancas indicam os detalhes em destaque no canto inferior esquerdo (a, c, e)



Fonte: Conz et al. (2015)

No entanto, o rendimento da produção de biocarvão é inversamente proporcional à temperatura de pirólise (RÓZ et al., 2015). Maia & Lima & Guiotoku (2013), em um estudo onde foram preparados biocarvões da fibra do coco, em três temperaturas (350 °C, 450 °C e 550 °C), por 60 minutos em mufla, observaram que, com o aumento da temperatura de carbonização, houve uma redução no rendimento de biocarvão, resultado semelhante ao apresentado por Bibar (2014) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Rendimento do processo de pirólise de diferentes biomassas submetidas à pirólise nas temperaturas de 400 e 700 °C

Biomassa	Temperatura	Biomassa (g)	Biocarvão (%)
Borra de café	400°C	621,1	30
	700°C	637,8	16
Dejeto de galinha	400°C	608,6	51
	700°C	639,6	45
Lodo de esgoto	400°C	776,5	68
	700°C	1002,3	59
Torta de filtro	400°C	406,0	69
	700°C	439,8	57
Lodo de curtume	400°C	1535	67
	700°C	1511	37
Micélio fúngico	400°C	594,5	33
	700°C	901,6	28
Lodo de esgoto compostado	400°C	1077	84
	700°C	1000,8	74

Fonte: Adaptado de Bibar (2014)

3.3 EFEITOS DO BIOCARVÃO SOBRE O SOLO

Na agricultura, para aumentar a qualidade e quantidade da produção, são necessários alguns cuidados relacionados ao bom manejo do solo (LOPES & GUILHERME, 2007). Para isso, são utilizados, por exemplo, fertilizantes sintéticos que visam aumentar a quantidade de nutrientes no solo, de modo a elevar a produtividade. No entanto, o uso excessivo desses materiais, além de aumentar o custo da produção, pode gerar sérios problemas ambientais, como a degradação e salinização do solo e a poluição de corpos hídricos (PIVA, 2011).

Para diminuir a dependência de fertilizantes, bem como otimizar a produção e reduzir o risco de poluição, faz-se necessário a utilização de alternativas para o manejo do solo, tais como o plantio direto, a adubação verde, biofertilizante, e o uso de “biocarvão” (BIBAR, 2014).

Por ser advindo de uma energia limpa, produzido através da pirólise de resíduos orgânicos, o biocarvão é cada vez mais viável pois é uma alternativa para o melhoramento de solos, sequestro de carbono e incremento da produtividade agrícola (REZENDE et al., 2011).

As principais vantagens da aplicação do biocarvão para as propriedades do solo são: aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre); aumento do pH, diminuição da acidez e da toxidez por alumínio e outros metais pesados; redução de odores e das emissões de gases de efeito estufa; sequestro de carbono; aumento da

capacidade de troca catiônica (CTC), da aeração e retenção de água no solo (EKEBAFE et al., 2013).

Para a região semiárida, a retenção de água (SULIMAN et al., 2017) e nutrientes (YUAN & XU & ZHANG, 2011) são os principais benefícios fornecidos pela aplicação do biocarvão no solo e estão diretamente relacionadas à porosidade do biocarvão. De acordo com Song et al. (2014), quanto maior a quantidade microporos, maior será a retenção de água e nutrientes no solo. Ainda segundo esses autores, no processo de produção de biocarvão, o aumento da temperatura de pirólise aumenta a perda das moléculas de água e, conseqüentemente, há formação de microporos e um aumento de até três vezes da área superficial do biocarvão.

Segundo Petter (2010), a área de superfície específica do biocarvão é de 200-400 m²g⁻¹ e pode ser comparada à da argila e é superior à da areia. Por isso, a presença de biocarvão em solos arenosos pode suprir a limitada disponibilidade de água, baixa capacidade de troca catiônica, disponibilidade de nutrientes e atividade de microrganismos.

As alterações nas propriedades físicas do solo após o incremento do biocarvão, podem levar a outras mudanças nas propriedades químicas e biológicas, com a formação de sítios quimicamente reativos e habitats de proteção para microrganismos do solo (BRADY & WEIL, 2008).

O Brasil é um país essencialmente agrícola e por isso gera uma quantidade elevada de resíduos que podem ser convertidos em biocarvão, trazendo benefícios ao meio ambiente (destino de resíduos e fixação de carbono que seria lançado para atmosfera) e na agricultura (RODRIGUES, 2016). Os diversos efeitos positivos do biocarvão têm despertado o interesse de muitos pesquisadores no mundo, entre estes: Novak et al. (2009); Brewer et al. (2011); Van Zwiter et al. (2010); Devereux et al. (2012); Liang et al. (2014); Lima et al. (2018a); El-naggar et al. (2018); Oladele & Adeyemo & Awodun (2019).

Novak et al. (2009), trabalhando com solos da planície costeira dos Estados Unidos (solos arenosos, ácidos, com baixo teor de C e baixa capacidade de troca de cátions), avaliaram a influência da adição de biocarvão de casca de noz-pecã sobre a fertilidade do solo. Aos 67 dias de incubação em casa de vegetação, os autores constataram que o biocarvão aumentou o pH do solo, o carbono orgânico total e alguns nutrientes, e diminuiu a acidez trocável do solo. O biocarvão apresentou ainda uma alta capacidade de sorção de nutrientes, principalmente Ca, P, Zn e Mn.

Brewer et al. (2011) utilizaram 17 biocarvões provenientes de diferentes matérias primas e produzidos sob diferentes condições de pirólise em solo de textura argilosa e, de forma

geral, observaram que a aplicação de 36 Mg ha⁻¹ dos biocarvões aumentaram o pH dos solos, de 6,6 a 7,2 (biocarvão obtido pelo processo de gaseificação) e 6,3 a 7,0 (biocarvão obtido pelo processo de pirólise lenta) após oito semanas de avaliação.

Após a aplicação de 10 Mg ha⁻¹ de biocarvão fabricado a partir de resíduos das indústrias de celulose, Van Zwieten et al. (2010), em experimento em casa de vegetação utilizando um latossolo e um solo calcáreo de textura argilosa, observaram aumento de pH, da capacidade de troca de cátions, dos teores trocáveis de K e Ca e do teor total de carbono no solo.

Devereux et al. (2013) avaliaram a capacidade potencial do biocarvão em melhorar a retenção de água em experimento em casa de vegetação e constataram que o tamanho médio dos poros do solo diminuiu de 0,07 mm², no tratamento sem biocarvão, para 0,046 mm² no tratamento com 5% de biocarvão no solo. Também foi observado que o biocarvão diminuiu a condutividade hidráulica, a densidade e a repelência de água no solo, concluindo então que pode aumentar a retenção de água em solos propensos a períodos de seca, como os do Semiárido brasileiro.

Em um trabalho realizado em um solo calcário com a aplicação de 90 Mg ha⁻¹ de biocarvão, Liang et al. (2014) constataram que, três anos após da data de aplicação do biocarvão, houve um aumento no pH, na disponibilidade de K e na capacidade de retenção de água e redução na densidade do solo.

Lima et al. (2018a) avaliaram os efeitos da aplicação quatro doses (4, 8, 12 e 16 Mg ha⁻¹) de biocarvão de resíduos de café (café moído e casca de café) em Latossolo em Garanhuns /PE sobre as características físico-químicas do solo, a eficiência do uso da água e produção do milho (*Zea mays*). O experimento foi realizado em vasos em casa de vegetação por 45 dias. Os autores concluíram que a área superficial específica em dois tipos de biocarvão são maiores que as do solo. A medida que as doses aumentavam, as propriedades de retenção de nutrientes, de água do solo e o crescimento do milho melhoraram significativamente, sendo que a eficiência do uso da água foi 50% maior para o tratamento com a maior dose de biocarvão em comparação ao controle.

El-naggar et al. (2018), em um experimento de incubação de 90 dias, utilizou três tipos de biocarvões (*Miscanthus sacchariflorus*, *Oryza sativa* e *Maesopsis eminii*) produzidos a 500–600 ° C foram adicionados a dois tipos de solos inférteis (arenoso e franco-arenoso) em dose única de 30 Mg ha⁻¹. No solo arenoso, o CTC aumentou significativamente de 0,3 cmol_c kg⁻¹ (controle) para 0,7, 0,9 e 3,1 cmol_c kg⁻¹ respectivamente, enquanto no solo franco-arenoso, o CTC aumentou apenas para biocarvão de *Oryza sativa* de 10,2 cmol_c kg⁻¹ a 11,5 cmol_c kg⁻¹.

Oladele & Adeyemo & Awodun (2019) determinaram o efeito do biocarvão de casca de arroz, fertilizante N e suas interações no crescimento e produção de arroz e estado nutricional de um Argissolo na Nigéria, onde os tratamentos consistiram em quatro níveis de biocarvão (0, 3, 6 e 12 Mg ha⁻¹) e quatro níveis de fertilizante nitrogenado (Ureia - 46% N) (0, 30, 60 e 90 kg / ha⁻¹). A Combinação de biocarvão e fertilizante inorgânico melhorou a produtividade do arroz irrigado. O efeito principal da alteração do biocarvão no solo foi para os níveis de P e K disponíveis, onde a medida que a dose aumentava o P disponível aumentava conjuntamente, porém o efeito foi inverso para K trocável.

A utilização do biocarvão em estudos recentes (Tabela 3.2) indica também o aumento no conteúdo de nutrientes (principalmente Ca, Mg, K, N e P) em solos afetados por sais e, conseqüentemente, melhoria da produtividade de algumas culturas. A disponibilidade destes nutrientes vai depender das condições da matéria-prima e da pirólise na produção do biocarvão.

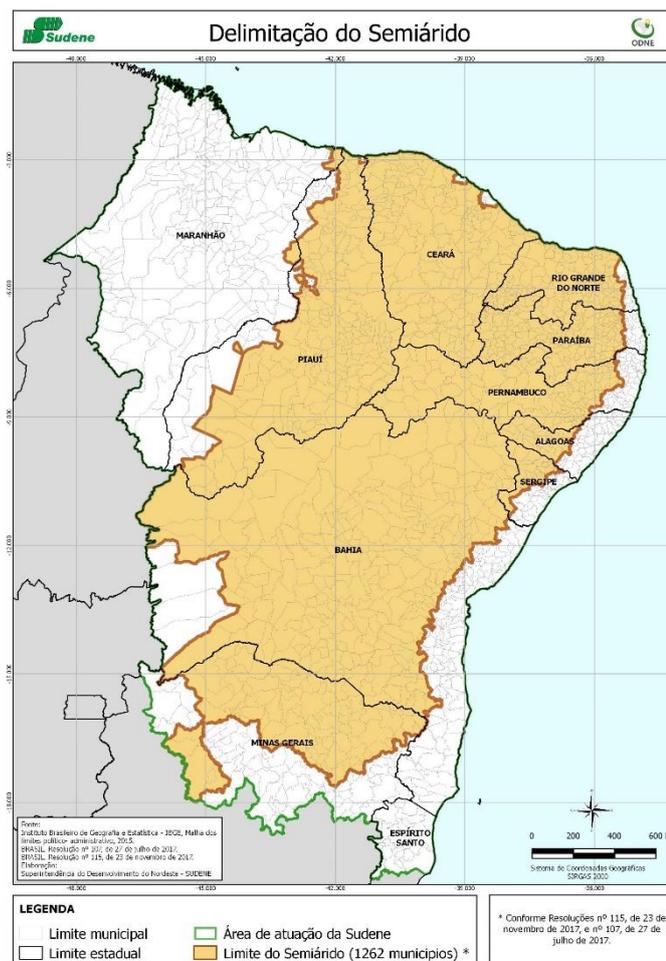
Tabela 3.2 - Efeito do biocarvão no crescimento / rendimento de plantas cultivadas em solos afetados por sal/condições salinas

Biomassa	Taxa de aplicação	Status de salinidade (dS m ⁻¹)	Cultura Testada	Resposta (%)	Referência
Palha de trigo, 300 ° C	5% massa 10% massa 20% massa	CE: 2,39	Salsa Suaeda (<i>Chenopodina salsa</i> L.) / Biomassa da parte aérea	+11 +121 +110	Sun et al. 2017
Composto de amendoim 350 ° C	1,5 Mg ha ⁻¹ 5 Mg ha ⁻¹ 10 Mg ha ⁻¹	CE: 1	Sesbania (<i>Sesbania grandiflora</i> L.) / biomassa da parte aérea	+341 +148 -59	Luo et al. 2017
Casca de arroz 500 ° C	5% massa	CE: 1,3	Milho (<i>Zea Mays</i> L.) / Matéria seca	+101	Kim et al. 2016
Lascas de madeira de coníferas 500 ° C	5% massa	CE: 1,3	Alface de jardim (<i>Lactuca sativa</i> L.) / Matéria seca de broto	+120	Hammer et al. 2015

3.4 EFEITOS DO BIOCARVÃO SOBRE AS PLANTAS

Segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2017a,b), a baixa precipitação pluviométrica anual (menor que 800 mm), o índice de aridez de Thornthwaite até 0,5 e o risco de seca maior que 60%, considerando todos os dias do ano, são os critérios utilizados para a delimitação do Semiárido Brasileiro, que é atualmente composto por 1.262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: Brasil (2017b)

Os solos do semiárido são geralmente rasos, apresentando cerca de 0,60 m, além da baixa capacidade de infiltração, reduzida drenagem natural e alto escoamento superficial (SUASSUNA, 2002). Neste contexto, em solos onde a matéria orgânica é essencial para a fertilidade, a utilização do biocarvão tem seu efeito sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas agrícolas e florestais. A utilização de diferentes tipos de biocarvão (matéria-prima diversa) pode promover resultados variáveis em relação aos nutrientes no solo, crescimento e produtividade das culturas (MELO, 2016).

Segundo Ekebafé et al. (2013), o aumento no crescimento e produtividade das culturas agrícolas utilizando biocarvão deve-se à melhoria da estrutura do solo, aumento da aeração, infiltração e disponibilidade de água para as plantas; redução da taxa evapotranspiração; aumento da fertilidade do solo; complexação e redução da toxidez de metais pesados sobre as plantas, bem como alívio dos efeitos da salinidade sobre as plantas.

Alguns trabalhos já vêm sendo realizados com a utilização do biocarvão em sistemas de produção, com um aumento médio de 10% na produtividade de inúmeras culturas após a aplicação de biocarvão no solo, como observado no trabalho de meta-análise de Jeffery et al. (2011).

Sukatarno et al. (2011) avaliaram a aplicação do biocarvão e de esterco sobre a produção de milho em solos arenosos da Indonésia e observaram que, no primeiro ano de cultivo, as produtividades foram semelhantes nos tratamentos com esterco e com o biocarvão. Entretanto, com a aplicação apenas no primeiro ano, na safra subsequente a produtividade de milho foi menor na área que recebeu apenas o esterco, mas manteve-se similar à da safra anterior para os tratamentos com biocarvão. Portanto, o biocarvão não precisa ser reaplicado anualmente para garantir uma produtividade satisfatória de milho para aquela região, ao contrário do esterco.

Na avaliação de quatro safras consecutivas, o uso de biocarvão associado com fertilização mineral proporcionou quase o dobro da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) em comparação ao uso apenas de fertilizantes minerais (STEINER et al., 2007).

Major et al. (2010) avaliaram o efeito do biocarvão comercial, nas doses 0, 8 e 20 Mg ha⁻¹, sobre a retenção de cátions de reação básica em solo ácido (Latosolo) e na produtividade de soja e milho, durante quatro anos. O aumento na produtividade foi verificado a partir do segundo ano, sendo que a melhor diferença entre as doses de biocarvão e o controle foi verificada no quarto ano após a aplicação e as melhorias de produtividade foram atribuídas principalmente ao aumento do pH e da retenção de nutrientes no solo.

Em um experimento em solos degradados na Indonésia, Islami et al. (2011) avaliaram os efeitos benéficos do biocarvão sobre a produtividade da mandioca, que aumentou em 32% após a aplicação de biocarvão na dose 15 Mg ha⁻¹.

Lima et al. (2013) avaliaram a aplicação do biocarvão de diversas matérias primas em Latossolo Vermelho Distrófico na produção de mudas de berinjela e verificaram que o biocarvão de esterco bovino beneficiou principalmente nos parâmetros número de folhas e altura na produção de mudas de berinjela.

Já Milla et al. (2013) trabalharam com a aplicação de biocarvão de casca de arroz em Argissolo argiloso na cultura do espinafre, e observaram um aumento na biomassa, tamanho de raiz, largura das folhas e tamanho das hastes.

3.5 BIOCARVÃO E PERSPECTIVAS AMBIENTAIS

Ao longo da sua existência, o homem vem fazendo uso dos recursos naturais para atender as suas necessidades, porém a exploração desses recursos tem sido, muitas vezes, feita de forma irracional, gerando assim, graves problemas para o planeta como poluição da água, do solo e do ar e desmatamento, o que tem contribuído para o aquecimento global (BRAGA & EL-DEIR, 2012).

Oдум (2012) afirma que, a fim de que se possam suprir as necessidades das populações:

“a sociedade deve se reorganizar completamente, reduzir os gastos energéticos e desenvolver novos mecanismos políticos e econômicos, internacionais e holísticos, para lidar com um mundo de recursos limitados”.

Por isso, a agropecuária mundial está passando pelo desafio de ter que produzir alimentos para atender a demanda do crescente número populacional, e ao mesmo tempo sendo obrigada a reduzir os fatores que causam impactos ambientais como a emissão dos gases de efeito estufa (GEE), degradação do solo, poluição da água de rios, mares e oceanos, processos de desertificação, desmatamento e outros (GAMARRA & FABRE, 2017; PEDROTTI et al., 2015).

Além disso, a utilização de técnicas inadequadas no processo de produção acaba degradando o solo, afetando assim, a própria produção agrícola que, conseqüentemente, pode

causar instabilidade social e política. Vale ressaltar que essas práticas também contribuem para a redução de área de remanescentes florestais, aceleram a exploração de terras marginais e frágeis e causam a emissão de GEE (gás carbônico, metano e óxido nitroso) (PEDROTTI et al., 2015).

De acordo com MCTI (2016), as emissões antrópicas de GEE no Brasil são da ordem de 739.671 Gg de dióxido de carbono (CO₂), 16.688,2 Gg de metano (CH₄), e 560,49 Gg de óxido nitroso (N₂O). A pecuária e a Agricultura são os setores que mais emitem GEE em termos nacionais (SEEG, 2015).

O Brasil apresenta um grande potencial para a geração de tecnologias de mitigação que podem ser empregadas em diferentes áreas (VENTURA et al., 2013). No que se refere à agricultura, Ventura et al., (2013), afirmam que para amenizar os impactos causados pela agricultura e enfrentar os efeitos das mudanças climáticas no semiárido baiano, são apresentadas as seguintes opções:

“ajustes no período e variedade dos plantios; rotação de culturas; melhorias no gerenciamento e conservação dos solos; utilização de sistemas de irrigação que promovam eficiência energética; processamento de alimentos para segurança alimentar; recuperação de solos e terras degradadas; utilização de compostos/fertilizantes orgânicos; dedicação a culturas com potencial energético para substituir utilização de combustíveis fósseis; redução da prática de queimadas; e práticas agroflorestais em terras degradadas”.

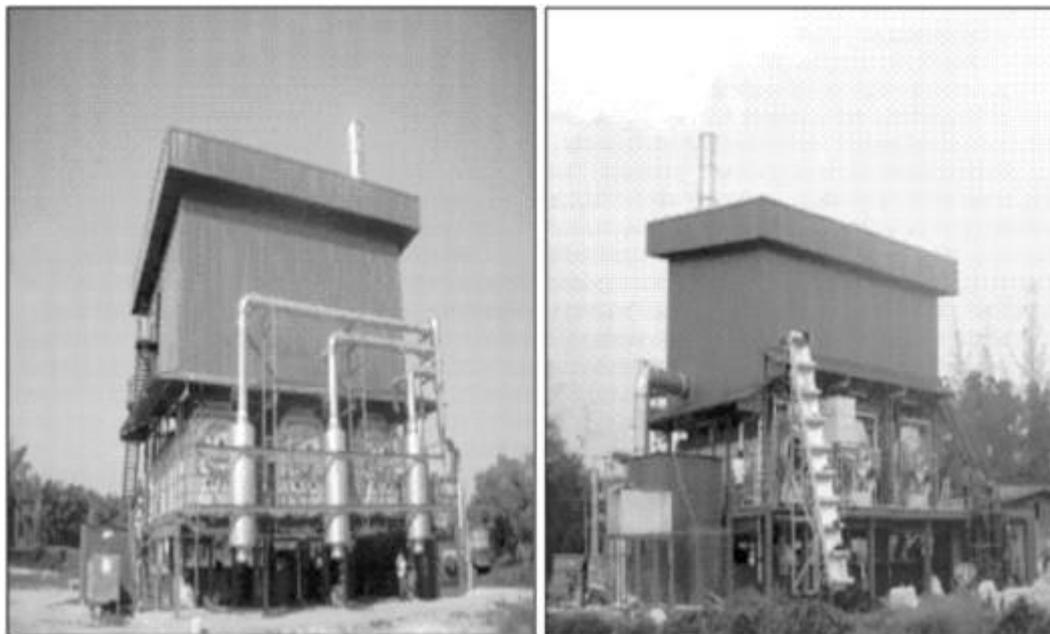
Atualmente, uma gama de técnicas utilizadas na agricultura tem se destacado como artifícios para manter o carbono fixado ao solo e, conseqüentemente, mitigar as emissões de GEE. Segundo Roberts et al., (2010), a conversão da biomassa em biocarvão é uma estratégia possível para a mitigação das mudanças climáticas e redução do consumo de combustível fóssil.

Carmo et al. (2010) e Kannan et al. (2013) apontam o uso do biocarvão como uma das alternativas mais eficientes para armazenar o carbono no solo e reduzir a emissão de GEE do solo para atmosfera, justificando o ganho de espaço nos últimos anos como uma nova metodologia de mitigação às mudanças climáticas.

A estabilidade e recalcitrância do biocarvão é o fator decisivo que determina o seu potencial para o sequestro de carbono no solo (LENG et al., 2019). Meyer & Glaser & Quicker (2011), mostram que o balanço dos GEE para produção e aplicação de biocarvão variam de 0,7-1,3 Mg de CO₂ equiv. Mg⁻¹ de matéria prima pirolisada. Harsono et al. (2013),

avaliaram as emissões de GEE, na produção de biocarvão, em usinas de biocarvão (Figura 3.6), a partir do resíduo óleo de palma e concluíram que, as emissões totais de GEE de todo o processo de produção de biocarvão na Malásia, são 0,046 Kg CO₂ equiv. Kg⁻¹ de EFB ano⁻¹(Tabela 3.3).

Figura 3.6 - Usina de produção de biocarvão em Selangor, Malaysia



Fonte: Harsono et al. 2013

Tabela 3.3 - Emissões de GEE na produção de biocarvão de EFB

Emissão de GEE	(g CO₂ -equiv. kg⁻¹ EFB ano⁻¹)
1 Processamento do resíduo de óleo de palma	1,49
2 Transporte do resíduo do óleo de palma para o pirolisador	0,10
3 Pirólise lenta	35,94
4 Geração da eletricidade	8,22
5 Transporte do biocarvão para armazém	0,29
6 Transporte de biocarvão para a plantação	0,01
Total	46,05

Fonte: Adaptado Harsono et al. (2013)

Moura et al. (2018) avaliaram a capacidade adsorptiva do biocarvão produzido a partir de sementes de mangaba (*Hancornia speciosa*) visando à captura de CO₂. Os dados experimentais foram ajustados a três tipos diferentes de isoterma: Langmuir, Freundlich e

Toth, sendo que a que melhor se ajustou foi a isoterma de Freundlich. Com experimentos de adsorção do dióxido de carbono no biocarvão, concluíram que o mesmo tem uma elevada capacidade adsorptiva, cerca de $5,21 \text{ mol kg}^{-1}$, o que equivale a $0,00022924 \text{ Kg de CO}_2 \text{ equiv. Kg}^{-1}$ de carvão em 250 minutos.

Além das mudanças no solo para agricultura, devido ao seu alto poder de adsorção, vários estudos vêm sendo realizados com a utilização de biocarvão para remediação de solos e águas contaminadas (TANG et al., 2013).

Em um estudo em Multan, Paquistão, Abbas et al. (2017) analisaram o efeito do biocarvão de palha de arroz sobre a imobilização de Cádmio no solo (devido à irrigação com efluentes brutos da cidade) e a absorção pelo trigo. Foram utilizadas três doses do biocarvão (1,5; 3,0; e 5 % massa) e um tratamento controle, que foram incorporados ao solo e incubados por duas semanas antes da semeadura de trigo. Os resultados mostram que os tratamentos com biocarvão aumentaram o pH da solução do solo, os teores de silício nos tecidos vegetais, as concentrações de Zinco e Manganês na parte aérea, raízes e grãos de trigo, e diminuíram os teores de Cádmio e Níquel. A concentração de Cádmio nos grãos de trigo diminuiu em 26%, 42% e 57% após a aplicação de 1,5%, 3,0% e 5,0% do biocarvão, respectivamente. De forma geral, Abbas et al. (2017) observaram que a aplicação do biocarvão de palha de arroz pode ser eficaz na imobilização de metais no solo e reduzir sua absorção e translocação para grãos.

Além do solo, o biocarvão possui também aplicação na remediação de contaminação de águas, que se divide em remediação orgânicos (corantes, fenólicos, pesticidas, aromáticos polinucleares e remoção de antibióticos), e a remediação inorgânica (cátions e remoção de ânions) (MOHAN et al., 2014). Inúmeros trabalhos têm sido realizados para verificar o poder de adsorção do biocarvão na remoção de contaminantes na água (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Capacidade de adsorção de diferentes biocarvões para remoção de íons metálicos da água

Biocarvão	Temperatura de Pirólise	Íons de Metal	Capacidade de adsorção (mg / g)	Referências
Carvalho	400 - 450°C	Cr ⁶⁺	3,03	Mohan et al., 2011
		Cr ⁶⁺	4,08	
		Cr ⁶⁺	4,93	
Estrume de porco	^a SA400°C	Cu ²⁺	78,36	Kolody´ska et al., 2012
	^a SA600°C	Zn ²⁺	62,13	
		Cd ²⁺	114,75	
	^b SB400°C	Pb ²⁺	212,77	
Cu ²⁺		88,50		
Estrume de Vaca Leiteira	^b SB600°C	Zn ²⁺	61,91	
		Cd ²⁺	118,40	
	^c SC400°C	Pb ²⁺	219,34	
		Cu ²⁺	81,50	
Biocarvão de <i>Ambrosia trifida</i> L. var. trifida	^c SC600°C	Zn ²⁺	49,06	
		Cd ²⁺	78,19	
	700°C	Pb ²⁺	151,52	
		Cu ²⁺	83,97	
Palha de arroz	400°C	Zn ²⁺	51,28	Han et al., 2013
		Cd ²⁺	34,13	
		Pb ²⁺	333,33	
		Cd ²⁺	11,63	

^aSA400°C, SA600°C – Biocarvão de esterco de porco pré-tratado usando tecnologia de separação Kemira; ^bSB400°C, SB600°C - Biocarvão de esterco de vaca leiteira pré-tratado usando a tecnologia de separação Bimatech; e ^cSC400°C e SC600°C – Biocarvão de esterco de vaca leiteira pré-tratado usando a tecnologia de separação Samson.

Fonte: Adaptado de Mohan et al. (2014)

3.6 REFERÊNCIAS

ABBAS, T.; RIZWAN, M.; ALI, S.; ZIA-UR-REHMAN, M.; FAROOQ QAYYUM, M.; ABBAS, F.; HANNAN, F.; RINKLEBE, J.; SIK OK, Y. Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 140, p. 37–47, 2017.

BIBAR, M. P. S. **Potencial agrícola de biocarvão proveniente de biomassas alternativas**. Dissertação (Mestrado / Agricultura Tropical e Subtropical). Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical. Instituto Agrônomo. Campinas - SP, 2014.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2008.

BRAGA E. C. B.; EL-DEIR S. G. Educação Ambiental como tema para a Extensão Rural. In: **Educação Ambiental no Semiárido: propostas metodológicas de extensão rural**. 1. ed. Recife. GAMPE/UFRRPE: p. 9–24, 2012.

BRASIL. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Resolução nº 107- Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. **Diário Oficial da União**, 2017a.

BRASIL. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Resolução nº 115 - Acréscimo do Quantitativo de Municípios Aptos a integrar o Semiárido da. **Diário Oficial da União**, n. 232, p. 32–34, 2017b.

BREWER, C. E.; UNGER, R.; SCHMIDT-ROHR, K.; BROWN, R. C. Criteria to Select Biochars for Field Studies based on Biochar Chemical Properties. **Bioenergy Research**, v. 4, n. 4, p. 312–323, 2011.

BROWN, R. A.; KERCHER, A. K.; NGUYEN, T. H.; NAGLE, D. C.; BALL, W. P. Production and characterization of synthetic wood chars for use as surrogates for natural sorbents. **Organic Geochemistry**, v. 37, n. 3, p. 321–333, 2006.

CANABARRO, NICHOLAS.; SOARES, JULIANA F.; ANCHIETA, CHAYENE G. KELLING, CAMILA S.; MAZZUTTI, M. A. Thermochemical processes for biofuels production from biomass. **Sustainable Chemical Processes**, p. 1–10, 2013.

CARMO, H. F.; SILVA, M. A. S.; MADARI, B. E. Utilização do biochar como adionador de carbono no solo e seus efeitos químicos nas propriedades do solo, sob feijoeiro comum no Cerrado brasileiro. II Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos Países de Língua Portuguesa. **Anais[...]**2010

CARVALHO, E. R. **Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agrônômicas da soja e nutrientes no solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Fitotecnia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia. Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG., 2010.

CONZ, R. F.; ABBRUZZINI, T. F.; PELLEGRINO, C. E. Caracterização morfológica de biochars produzidos a partir de diferentes biomassas e temperaturas de pirólise. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais[...]**2015

- DEVEREUX, R. C.; STURROCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh**, v. 103, n. 1, p. 13–18, 2012.
- DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical Properties of Biochar. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. In: **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. Ed.Londres: earthscan: p. 416, 2009.
- EKEBAFE, M. O.; EKEBAFE, L. O.; MALIKI, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. **Science Progress**, v. 96, p. p.85-94, 2013.
- EL-NAGGAR, A. et al. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. **Geoderma**, v. 332, n. June, p. 100–108, 2018.
- GAMARRA-ROJAS, G.; FABRE, N. Agroecologia e mudanças climáticas no Trópico Semiárido. **Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul**, v. 22, n. 2, p. 174–188, 2017.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. **Naturwissenschaften**, v. 88, p. 37–41, 2001.
- GÓMEZ, E. O.; PÉREZ, J. M. M.; PÉREZ, L. E. B. Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para a obtenção de bioóleo. In: **Biomassa para energia**. Editora Un ed. Campinas, SP: p. 353–418, 2008.
- HAMMER, E. C.; FORSTREUTER, M.; RILLIG, M. C.; KOHLER, J. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 114–121, 2015.
- HAN, X.; LIANG, C.; LI, T.; WANG, K.; HUANG, H.; YANG, X. Simultaneous removal of cadmium and sulfamethoxazole from aqueous solution by rice straw biochar. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)**, v. 14, n. 7, p. 640–649, 2013.
- HARSONO, S. S. et al. Energy balances, greenhouse gas emissions and economics of biochar production from palm oil empty fruit bunches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 77, p. 108–115, 2013.
- ISLAMI, T.; GURITNO, B.; BASUKI, N.; SURYANTO, A. Biochar for sustaining productivity of cassava based cropping systems in the degraded lands of East Java , Indonesia. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 49, p. 40–46, 2011.
- JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN, M. D. V.; BASTOS, A. C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 144, n. 1, p. 175–187, 2011.
- KANNAN, P., ARUNACHALAM, P., PRABUKUMAR, G., GOVINDARAJ, M. Biochar an alternate option for crop residues and solid waste disposal and climate change mitigation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 2403–2412, 2013.

- KIM, H. S.; KIM, K. R.; YANG, J. E.; OK, Y. S.; OWENS, G.; NEHLS, T.; WESSOLEK, G.; KIM, K. H. Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays* L.) response. **Chemosphere**, v. 142, p. 153–159, 2016.
- KOŁODYŃSKA, D.; WNETRZAK, R.; LEAHY, J. J.; HAYES, M. H. B.; KWAPIŃSKI, W.; HUBICKI, Z. Kinetic and adsorptive characterization of biochar in metal ions removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 197, p. 295–305, 2012.
- KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; ZWIETEN, L. V.; KRULL, E. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. In: **Advances in Agronomy**. 1. ed. Elsevier Inc., v. 112, p. 103–143, 2011.
- LEHMANN, J.; SILVA JUNIOR, J. P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER, B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v. 249, p. 343–357, 2003.
- LENG, L. et al. Biochar stability assessment methods: A review. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 210–222, 2019.
- LIANG, F.; LI, G. T.; LIN, Q. M.; ZHAO, X. R. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 525–532, 2014.
- LIMA, J. R. DE S.; SILVA, W. DE M.; MEDEIROS, E. V. DE; DUDA, G. P.; CORRÊA, M. M.; FILHO, A. P. M.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONIO, A. C. D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, v. 319, p. 14–23, 2018.
- LIMA, S. L.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; PETTER, F. A.; TAMIOZZO, S.; BOSSI BUCK, G.; MARIMON, B. S. Biochar como substituto de matéria orgânica na formação de substratos para mudas. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 333–341, 2013.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. I – Fertilidade Do Solo e Produtividade Agrícola. **Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA.**, p. 64, 2007.
- LUO, X.; LIU, G.; XIA, Y.; CHEN, L.; JIANG, Z.; ZHENG, H.; WANG, Z. Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 3, p. 780–789, 2017.
- MADARI, B. E.; COSTA, A. R. DA; CASTRO, L. M. DE; SANTOS, J. L. S.; BENITES, V. DE M.; ROCHA, A. DE O.; MACHADO, P. L. O. DE A. Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo. **Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico**, 125, p. 6, 2006.
- MAIA, C. M. B. DE F.; LIMA, R. M.; GUIOTOKU, M. Efeito da Temperatura final de carbonização nas propriedades físico-químicas do biocarvão da fibra de coco. **Embrapa Floresta - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, p. 4, 2013.
- MAIA, C. M. B. D. F. Produção De Biocarvão a Partir De Diferentes Fontes De Biomassa. **ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**, p. 4, 2011.

- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.
- MANGRICH, A. S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, v. 47, n. 281, p. 48–52, 2011.
- MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, T. E I. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/Volume+3.pdf/355d4a1e-9f3c-474a-982e-b4a63312813b>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- MELO, I. G. C. **Efeitos do carvão vegetal no solo e sobre cultivos de feijão- caupi em ambiente protegido**. Tese (Doutorado / Manejo de Solo e Água). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN., 2016.
- MEYER, S.; GLASER, B.; QUICKER, P. Technical, economical, and climate-related aspects of biochar production technologies: A literature review. **Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 22, p. 9473–9483, 2011.
- MILLA, O. V.; RIVERA, E. B.; HUANG, W. J.; CHIEN, C. C.; WANG, Y. M. Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field tes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 13, n. 2, p. 251–266, 2013.
- MOHAN, D.; RAJPUT, S.; SINGH, V. K.; STEELE, P. H.; PITTMAN, C. U. Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 188, n. 1–3, p. 319–333, 2011.
- MOHAN, D.; SARSWAT, A.; SIK, Y.; PITTMAN, C. U. Bioresource Technology Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review. **Bioresource Technology**, v. 160, p. 191–202, 2014.
- MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. Tese (Doutorado / Agronomia). Faculdade de Ciências Agrômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2010.
- MOURA, L. F. S.; MARQUES, J.J.; FREITAS, J. A. Adsorção de dióxido de carbono utilizando o biochar produzido a partir de sementes de mangaba (*Hancornia speciosa*). **Scientia plena**, v. 14, n. x, p. 1–10, 2018.
- NACHENIUS, R. W.; RONSSE, F.; VENDERBOSCH, R. H.; PRINS, W. Biomass Pyrolysis. In: **Chemical Engineering for Renewables Conversion**. 1. ed. Elsevier Inc., v. 42, p. 75–139, 2013.
- NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; LAIRD, D. L.; AHMEDNA, M.; WATTS, D. W.; NIANDOU, M. A. S. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. **Soil Science**, v. 174, n. 2, p. 105–112, 2009.

- NOVOTNY, E. H.; MAIA, C. M. B. DE F.; CARVALHO, M. T. DE M.; MADARI, B. E. Biochar: Pyrogenic Carbon for Agricultural Use - a Critical Review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 321–344, 2015.
- ODUM, E. P. Humanidade em crise, perspectivas. In: **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan: p. 377–385, 2012.
- 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.
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. DO N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. DOS. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308–1324, 2015.
- PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761–768, 2012.
- PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. Tese (Doutorado /Produção Vegetal). Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, 2010.
- PIVA, R. **Adubação de videiras cultivares isabel e bordô (*Vitis labrusca* L.) Para sistema orgânico de produção**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava - PR., 2011.
- REN, X.; ZHANG, P.; ZHAO, L.; SUN, H. Sorption and degradation of carbaryl in soils amended with biochars: influence of biochar type and content. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2724–2734, 2016.
- REZENDE, E. I. P.; ANGELO, L. C.; SANTOS, S. S. DOS; MANGRICH, A. S. Biocarvão (Biochar) e sequestro de carbono. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 426–433, 2011.
- ROBERTS, K. G. et al. Life Cycle Assessment of Biochar Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential. **Environ. Sci. Technol**, p. 827–833, 2010.
- RODRIGUES, E. M.; PAULA, N. F. DE; PAULA, R. C. DE. Cultivo de eucalipto com biocarvão de resíduos de folhas de palmeira dendê. **IV Simpósio de Tecnologia Sucroenergética e de Biocombustíveis**, p. 139–143, 2016.
- RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P.; RÁPIDA, P. Bioóleo: Uma Alternativa Para Valorização Energética Da Biomassa. **Revista Brasileira de Energia**, v. 17, n. 2, p. 39–56, 2011.
- RÓZ, A. L. et al. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono Maximization of fixed carbon content in biochar applied to carbon sequestration. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 810–814, 2015.

SANTOS, K. G. DOS. **Aspectos fundamentais da pirólise de biomassa em leito de jorro: fluidodinâmica e cinética do processo**. Tese (Doutorado / Engenharia Química). Programa de Pós-graduação Engenharia Química. Universidade Federal de Uberlândia., 2011.

SEEG, S. D. E. D. E. D. G. D. E. E. Evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1970-2013): Setor agropecuário. **Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLORA)**. p. 57, 2015.

SMEBYE, A.; ALLING, V.; VOGT, R. D.; GADMAR, T. C.; MULDER, J.; CORNELISSEN, G.; HALE, S. E. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. **Chemosphere**, v. 142, p. 100–105, 2016.

SONG, X. D.; XUE, X. Y.; CHEN, D. Z.; HE, P. J.; DAI, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**, v. 109, p. 213–220, 2014.

STEINER, C., TEIXEIRA, W.G., LEHMANN, J., NEHLS, T., DE MACEDO, J.L.V., BLUM, W.E.H., ZECH, W. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. **Plant Soil**, v. 291, p. 275–290, 2007.

SUASSUNA, J. SEMIÁRIDO: **Proposta de convivência com a seca**. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&id=659&Itemid=376>. Acesso em: 1 jan. 2016.

SUKATORNO, W. H.; UTOMO, W. H.; KUSUMA, Z.; NUGROHO, W. H. Soil fertility status, nutriente uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonésia. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 49, p. 47–52, 2011.

SULIMAN, W. et al. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment**, v. 574, n. March 2018, p. 139–147, 2017.

SUN, H.; LU, H.; CHU, L.; SHAO, H.; SHI, W. Biochar applied with appropriate rates can reduce N leaching, keep N retention and not increase NH₃ volatilization in a coastal saline soil. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 820–825, 2017.

TANG, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70–85, 2015.

TANG, X. F.; LIU, Y. G.; GU, Y. L.; XU, Y.; ZENG, G. M.; HU, X. J.; LIU, S. B.; WANG, X.; LIU, S. M.; LI, J. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 318–333, 2016.

TANG, J. et al. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 116, n. 6, p. 653–659, 2013.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, E.; N.; WOODS, W. As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso desse conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**, p. 420, 2009.

VAN ZWIETN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, n. 1, p. 235–246, 2010.

VENTURA, A. C.; FERNÁNDEZ, L.; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias Sociais para Enfrentamento às Mudanças Climáticas no Semiárido: Caracterização e Contribuições. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 44, n. Especial, p. 213–238, 2013.

VERHEIJEN, F.; JEFERY, S.; BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. **European Communities**, Luxembourg, 2010.

YAKKALA, K.; YU, M.; ROH, H.; YANG, J. .; CHANG, Y. Buffalo weed (*Ambrosia trifida* L . var . trifida) biochar for cadmium (II) and lead (II) adsorption in single and mixed system. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, p. 7732–7745, 2013.

YUAN, J.; XU, R.; ZHANG, H. Bioresource Technology The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 3488–3497, 2011.

4 CARACTERIZAÇÃO DE BIOCARVÕES REGIONAIS E EFEITOS SOBRE PRODUÇÃO DE BIOMASSA DO MILHO EM PETROLINA – PE

Caracterização de biocarvões regionais e efeitos sobre produção de biomassa do milho em Petrolina – PE

Juliana Ribeiro Costa Pereira ⁽¹⁾, Diana Signor ⁽²⁾, Magnus Dall Igna Deon ⁽²⁾ and Cláudia Maria Branco de Freitas Maia ⁽³⁾

⁽¹⁾ University of Pernambuco / Postgraduate Program in Environmental Science and Technology for the Semi-Arid. BR 203, Km 2, s/n, Petrolina/PE, CEP: 56328-903. E-mail: julianarcp86@hotmail.com

⁽²⁾ Brazilian Agricultural Research Corporation, Semi-arid Embrapa. Rodovia BR 428, km 152, Petrolina-PE, CEP 56302-970, caixa postal 23. E-mail: diana.signor@embrapa.br; magnus.deon@embrapa.br

⁽³⁾ Embrapa Florestas, Colombo, PR. E-mail: claudia.maia@embrapa.br.

Characterization of regional biochars and effects in corn biomass production in Petrolina - PE

Abstract - Biochar is a rich and stable carbon form that improves soil attributes and nutrients availability to plants. The objective of this study is evaluate chemical characteristics of biochar and its effects under corn biomass production, at Embrapa Semi-arid, in Petrolina-PE. We used a pot experiment in a randomized factorial design [3x5] (3 types of biochars, 5 biochar rates), with four replicates. Biochars were produced from mango pruning waste and processing grape juice wastes. The third evaluated material was a commercial charcoal. Biochars were applied to soils at rates: 0; 0,5; 1; 5 and 10 Mg ha⁻¹ and were packed in pots at field conditions. Grape residue biochar pH is acid, charcoal is neutral and biochar from branch mango is alkaline. Biochar from grape juice residue has the higher cation exchange capacity and promotes the highest corn biomass yield when applied at 6 Mg ha⁻¹. Biochar from Caatinga native forest does not increase the corn production.

Index terms: Pyrolysis, organic matter, soil fertility, residues, *Zea mays*

Caracterização de biocarvões regionais e efeitos sobre produção de biomassa do milho em Petrolina – PE

Resumo - O biocarvão é uma forma estável de carbono que proporciona melhoria em diversos atributos do solo e disponibilidade de nutrientes para as plantas. O objetivo deste trabalho é avaliar as características químicas do biocarvão, e o efeito sobre a produção de biomassa do milho, na Embrapa Semiárido, em Petrolina – PE. Para a condução, foi utilizado o esquema fatorial [3x5] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão) em delineamento ao acaso, com quatro repetições. Os biocarvões foram produzidos a partir de resíduos de poda de mangueira e de processamento de uva para suco. O terceiro material avaliado foi um carvão vegetal. Os biocarvões foram misturados ao solo nas doses de 0; 0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹ e acondicionados em vasos em campo. O pH do biocarvão de resíduo de processamento de uva é ácido, enquanto o do carvão vegetal é neutro e o de resíduo de mangueira é alcalino. O biocarvão de resíduo de processamento de uva apresenta a maior capacidade de troca de cátions e, quando aplicado na dose de 6 Mg ha⁻¹, permite a obtenção do maior rendimento de biomassa de milho. O biocarvão produzido a partir de vegetação nativa da Caatinga não incrementa a produção de milho.

Termos para indexação: Pirólise, matéria orgânica, fertilidade do solo, resíduos, *Zea mays*

4.1 INTRODUÇÃO

Biocarvão é um material sólido, rico em carbono, obtido a partir da carbonização de biomassa, com pouco ou nenhum oxigênio, por um processo denominado pirólise (Tang et al., 2015, 2016), destinado à aplicação no solo com a finalidade de aumentar a retenção de água, a fertilidade, inativar moléculas de pesticidas (biorremediação) e diminuir a emissão de gases do efeito estufa (Ren et al., 2016).

Por possuir uma estrutura altamente porosa e grande área superficial, o biocarvão pode fornecer refúgios para microrganismos benéficos do solo, que podem aumentar a disponibilidade de macronutrientes, como N e P (Atkinson et al., 2010). Além disso, em solos ácidos e neutros, com texturas de média a arenosa, têm-se observado aumento de produtividade de culturas agrícolas com a utilização do biocarvão (Smebye et al., 2016). Segundo Ekebafé et al. (2013), isso se deve à melhoria da estrutura do solo, aumento da aeração, infiltração e disponibilidade de água para as plantas; redução da taxa evapotranspiração; melhoria da fertilidade do solo; complexação e redução da toxidez de metais pesados e alívio dos efeitos da salinidade sobre as plantas.

Sukatorno et al. (2011) avaliaram a aplicação do biocarvão e de esterco sobre a produção de milho em solos arenosos da Indonésia e observaram que, no primeiro ano de cultivo, as produtividades foram semelhantes para os dois tratamentos. Entretanto, com a aplicação apenas no primeiro ano, na safra subsequente a produtividade de milho foi menor na área que recebeu apenas o esterco, mas manteve-se similar à da safra anterior para os tratamentos com biocarvão. Portanto, o biocarvão não precisa ser reaplicado anualmente para garantir uma produtividade satisfatória de milho para aquela região, ao contrário do esterco.

Sampaio et al., (2012) enfatizam que os baixos índices de produtividade no Semiárido brasileiro devem-se ao baixo emprego de tecnologias por parte dos produtores e também os longos períodos de escassez hídrica associados aos baixos índices pluviométricos. Nos solos do Semiárido brasileiro, cuja capacidade de retenção de água, de maneira geral, não é elevada, além de precipitação pluvial limitada, o uso de biocarvão pode ser viável, inclusive para os cultivos de sequeiro.

O objetivo desse trabalho foi caracterizar e avaliar o efeito do biocarvão produzido a partir de matérias-primas regionais sobre a produção de biomassa do milho, em Argissolo Amarelo em Petrolina – PE.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Caatinga, na Embrapa Semiárido, em Petrolina-PE (09° 09' S de 40° 22' W). A região possui clima Semiárido do tipo BSsw, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26°C, umidade relativa do ar média anual de 60% e precipitação média anual de 522 mm.

Dois biocarvões foram produzidos a partir resíduos de poda de mangueira (RPM) e de resíduos do processamento de uva para suco (RPU). O terceiro biocarvão avaliado (carvão vegetal – CV) foi doado para a Embrapa Semiárido, para fins de pesquisa, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), e possivelmente é oriundo de exploração ilegal de madeira de vegetação nativa da Caatinga. Esse material foi utilizado nos experimentos por dois motivos: disponibilidade e comparação com os biocarvões de resíduos.

Os biocarvões RPM e RPU foram produzidos de forma experimental em forno de alvenaria, no Campo Experimental da Caatinga. Cada matéria-prima foi colocada dentro de um tambor de metal fechado, acomodado dentro de um forno de alvenaria, rodeado por galhos de mangueira secos, que foram queimados por 30 minutos. Na tampa do tambor havia quatro furos de cinco mm de diâmetro para permitir a saída dos gases produzidos durante a pirólise do material. Antes da utilização, os biocarvões foram moídos em máquina estacionária, utilizando a peneira de 0,2 mm.

Os biocarvões utilizados no experimento foram encaminhados para o laboratório, na Embrapa Florestas em Colombo/PR, e para o Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais, da Embrapa Semiárido para caracterização química. Como indicado por Igalavithana et al. (2017), os métodos de caracterização de solo podem ser usados para caracterização de biocarvão e, por isso, as análises de condutividade elétrica, pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca de cátions foram realizadas pelos métodos de análise de solo descritos em Embrapa, (2017).

Os efeitos dos três biocarvões sobre a produção de biomassa de milho foram avaliados em um experimento de vasos, conduzido em esquema fatorial [3x5] (3 tipos de biocarvão, 5 doses (0; 0,5; 1; 5; 10 Mg ha^{-1}), em delineamento experimental ao acaso com quatro repetições, totalizando 52 unidades experimentais, cultivado em vasos de 10 litros.

O solo utilizado no experimento foi um Argissolo Amarelo, coletado da camada 0-20 cm, no Campo Experimental do Bebedouro da Embrapa Semiárido, no município de Petrolina – PE e apresentou as seguintes características: pH = 5,9; condutividade elétrica = 0,29 mS cm^{-1}

¹; cálcio trocável (Ca^{+2}) = 1,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; magnésio trocável (Mg^{+2}) = 0,70 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; alumínio trocável (Al^{+3}) = 0,00 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; hidrogênio + alumínio (H+Al) = 0,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; soma de bases (SB) = 2,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; capacidade de troca de cátions (CTC) = 2,9 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação por bases (V) = 75,3 % (Embrapa, 2017).

Os biocarvões de CV, RPM e RPU foram misturados manualmente ao solo (destorroado e peneirado), nas respectivas doses, e o material (solo + biocarvão) foi acondicionado em vasos, dispostos no campo, a céu aberto (Apêndice D). Antes da semeadura, a umidade dos vasos foi ajustada para a capacidade de campo. Em cada vaso, foram colocadas inicialmente seis sementes de milho (*Zea mays* L.), variedade BRS Caatingueiro. Aos dez dias após emergência (DAE), as plantas foram desbastadas utilizando-se uma tesoura de poda, deixando apenas uma planta por vaso. Ao longo do experimento, os vasos foram irrigados diariamente com 600 ml de água.

Após 45 DAE foi realizada a coleta da parte aérea de todas as plantas, que foram cuidadosamente cortadas, colocadas em sacos de papel devidamente identificados para determinação da massa fresca. Posteriormente, as amostras foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até a obtenção do peso constante, e pesadas em balança analítica de precisão para determinação da massa da parte aérea seca (MPAS).

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade, de homocedasticidade e análise de variância e de regressão, no software SAS University.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a caracterização dos biocarvões utilizados no experimento (Tabela 4.1), os maiores valores para o pH e % de cinzas (8,7 e 23,59 respectivamente) foram obtidos para o biocarvão de RPM. O biocarvão de RPU apresentou o pH mais baixo, o que pode estar relacionado, em parte, ao seu menor teor de cinzas, assim como constatado por Gonzaga et al. (2018) para o biocarvão de bagaço de laranja. Já o pH do biocarvão CV tendeu para o neutro, enquanto que o RPM o mais alcalino. O efeito alcalinizante do biocarvão é diretamente proporcional ao teor de cinzas resultantes da pirólise (Zhang et al., 2015), o que concorda com os resultados apresentados na Tabela 1.

O biocarvão não é um produto padrão, pois suas características físico-químicas variam de acordo com o processo de queima e seus desdobramentos, tipo e granulometria da matéria prima (Morales, 2010; Novak & Johnson, 2019). As diferenças nos teores de cinzas entre os

materiais podem ser atribuídas à qualidade da matéria prima, já que RPM e CV são materiais mais lignificados e com estrutura bem diferente de RPU.

Os valores de capacidade de troca de cátions foram de 2,5 cmolc dm⁻³ (RPM), 17,7 cmolc dm⁻³ (RPU) e 13,4 cmolc dm⁻³ (CV). Uma vez que a temperatura de pirólise foi semelhante para todos os três biocarvões, a diferença na CTC estava provavelmente relacionada com a matéria prima. Uzoma et al. (2011), avaliaram o efeito do biocarvão de esterco bovino, nas doses 0, 10, 15 e 20 Mg ha⁻¹ no rendimento de milho, absorção de nutrientes e propriedades físico-químicas de um solo arenoso de região árida do Japão. Houve uma mudança na CTC do solo de 0,75 até 1,27 cmolc kg⁻¹ para a menor e maior dose de biocarvão respectivamente. A aplicação do biocarvão de esterco bovino no solo arenoso, não é apenas benéfico para o crescimento da cultura, mas também melhorou significativamente os atributos físico-químicos do solo.

Tabela 4. 1 - Caracterização dos biocarvões produzidos a partir de resíduo de poda de mangueira (RPM), resíduo de processamento de uva (RPU) e CV (carvão vegetal)

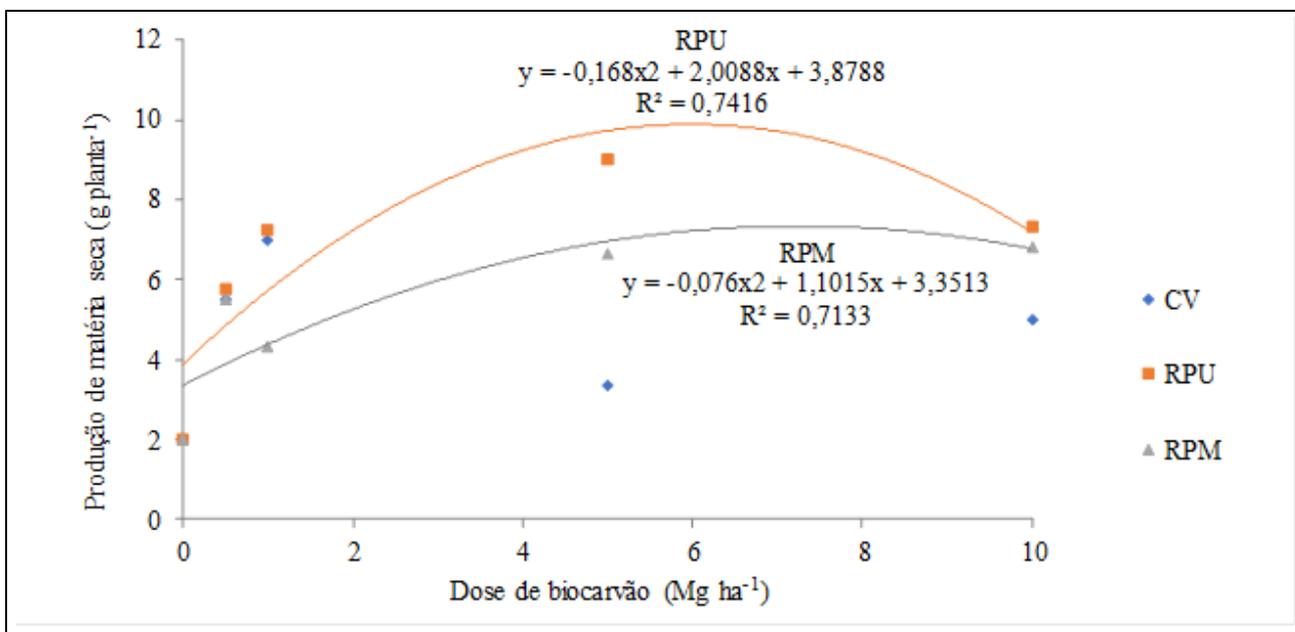
Atributos	RPM	RPU	CV
C.E (mS cm ⁻¹)	0,93	0,82	1,06
Ph	8,7	5,4	6,9
Ca ⁺² (cmolc dm ⁻³)	1,5	3	10,2
Mg ⁺² (cmolc dm ⁻³)	1	1,7	1,8
Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	0	0	0
H+Al (cmolc dm ⁻³)	0	13	1,4
SB (cmolc dm ⁻³)	2,5	4,7	12
CTC (cmolc dm ⁻³)	2,5	17,7	13,4
V (%)	100	26,6	89,3
UMIDADE (%)	3,43	7,91	7,41
MATERIAL VOLÁTIL (%)	23,59	55,81	28,4
CINZAS (%)	16,53	8,37	15,25

C.E. condutividade elétrica; pH: determinado em água na proporção de 1:2,5; Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³: extração em KCl 0,5 mol L⁻¹; H+Al; SB: soma de bases (Ca⁺² + Mg⁺² + Na⁺¹ + K⁺¹); CTC: capacidade de troca de cátions (H+Al + SB); V%: saturação por bases (SB/CTC)*100.

Os biocarvões produzidos a partir de RPU e RPM afetaram de forma quadrática a produção de biomassa aérea de milho, com maiores efeitos para RPU (Figura 4.1). Para esse tipo de biocarvão, a maior produção de matéria seca foi obtida na dose de 6 Mg ha⁻¹, que alcançou uma produtividade 9,9 g de matéria seca por planta. A partir desse ponto, ou seja, em doses superiores a 6 Mg ha⁻¹ de biocarvão de RPU, há redução da produtividade de plantas de milho. Já para o biocarvão de RPM, o ponto de maior produção de matéria seca foi obtido na dose de 7,2 Mg ha⁻¹, produzindo-se 7,3 g de matéria seca por planta. Para o biocarvão de CV

não houve resultados significativos. Esses resultados comprovam que o uso desse tipo de biocarvão não é desejável, já que não aumentou a produtividade do milho nesse experimento.

Figura 4. 1 - Produção de matéria seca do milho em função das doses aplicadas e biocarvões diferentes



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Gonzaga et al. (2018), em um experimento realizado na Flórida, avaliaram o efeito de três tipos de biocarvão (casca de coco, bagaço de laranja e cavacos) e 5 doses de biocarvão (0, 5, 10, 20 e 60 Mg ha⁻¹) sobre a produtividade do milho. Independentemente da taxa de aplicação, o biocarvão de casca de coco resultou no aumento da biomassa das plantas em cerca de 90%, em comparação com o tratamento de controle ou outros tratamentos com biocarvão. Os autores ressaltam que, em doses de 60 Mg ha⁻¹, o biocarvão de casca de coco pode reduzir potencialmente o crescimento das plantas, devido ao aumento da alcalinidade do solo, resultando em menor disponibilidade de nutrientes.

Em outro trabalho semelhante, Lima et al., (2018), trabalhando em um Latossolo em Garanhuns/PE, avaliaram o efeito de dois biocarvões (borra de café e casca de café) em quatro doses (4, 8, 12 e 16 Mg ha⁻¹), sobre a produção de biomassa na cultura do milho, em comparação com a adubação química NPK (200, 100 e 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente), e o tratamento controle. O biocarvão de casca de café, na dose de 16 Mg ha⁻¹, foi estatisticamente igual à adubação química (NPK) e superior aos demais tratamentos. Tal resultado pode ser explicado pela maior área superficial específica desse biocarvão em relação ao de borra de café.

Os autores afirmam ainda que estes dados são significativos, tendo em vista o potencial do cultivo de milho em solos arenosos em regiões semiáridas do Brasil.

Devido às suas características químicas e físicas, o biocarvão é usado como uma alternativa para alteração do solo visando melhorar a produtividade das culturas pelo aumento da fertilidade do solo (Hung et al., 2017), como pode ser observado na Figura 4.1, onde a maior produtividade de biomassa do milho pode estar diretamente relacionada ao valor de CTC dos biocarvões encontrados na Tabela 4.1. O aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), redução da lixiviação de nitrogênio e outros nutrientes nas águas subterrâneas, são benefícios potenciais da melhoria do solo com o uso de biocarvões. Além disso, o menor teor de cinzas e o maior teor de material volátil no biocarvão de RPU (Tabela 4.1) indicam que esse biocarvão é mais rico em compostos voláteis, como o nitrogênio. Portanto, o teor de nitrogênio fornecido às plantas via biocarvão foi maior nos tratamentos com RPU, explicando o melhor desempenho das plantas que receberam esse tratamento (Figura 4.1). Gonzaga et al., (2018) também mostraram que o biocarvão aplicado ao solo pode ser fonte de N e P às culturas.

Em trabalho na Nigéria, Faloye et al., (2017), avaliaram o efeito da aplicação do biocarvão preparado a partir do resíduo de espiga de milho, quando aplicado sozinho (doses de biocarvão 3, 6 e 10 Mg ha⁻¹), ou em combinação com fertilizante mineral (NPK – 15;15;15), nos rendimentos de milho irrigado por gotejamento. A aplicação de biocarvão aumentou a produção de biomassa em 55, 57 e 62% nos tratamentos com 3, 6 e 10 Mg ha⁻¹ em relação ao controle, respectivamente. Entretanto, o tratamento que obteve a maior produção de biomassa (10,16 Mg ha⁻¹) foi a combinação de 10 Mg ha⁻¹ de biocarvão com 300 Kg ha⁻¹ do fertilizante.

Alguns autores verificaram o efeito de curto prazo da adição de biocarvão sobre o rendimento de diversas culturas (Agegnehu et al., 2016; Zhang et al., 2016; Gonzaga et al., 2018). Entretanto, também há relatos de que o biocarvão precisa de um tempo maior de reação no solo para se expressar efeito sobre o rendimento das culturas. Major et al. (2010) avaliaram, durante quatro anos, o efeito do biocarvão (de madeira comercial) nas doses 0, 8 e 20 Mg ha⁻¹ sobre a retenção de cátions e a produtividade de soja e milho em um Latossolo, na Colômbia. O aumento na produtividade foi verificado a partir do segundo ano, sendo que a maior diferença entre as doses de biocarvão e o controle foi verificada apenas no quarto ano após a aplicação e as melhorias de produtividade foram atribuídas principalmente ao aumento do pH e da retenção de nutrientes no solo.

4.4 CONCLUSÃO

1. O efeito do biocarvão sobre o rendimento de milho depende da qualidade da matéria prima e da dose aplicada ao solo
2. Quanto menor o teor de cinzas no biocarvão, maior o fornecimento de nutrientes para as plantas e, conseqüentemente, maiores serão os efeitos sobre a produtividade do milho.
3. O biocarvão de resíduo de processamento de uva obteve uma maior produção de matéria seca (9,9g por planta) na dose de 6Mg ha⁻¹.
4. Biocarvão produzido a partir de vegetação nativa da Caatinga não incrementa a produção de milho.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. E pela concessão de bolsa de mestrado cedida para a primeira autora. Ao CNPq (projeto 448.888/2014-9), à Embrapa Semiárido (projeto 03.13.06.012.00.00) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido (PPGCTAS/UPE) pelo apoio às atividades de pesquisa.

4.5 REFERÊNCIAS

- AGEGNEHU, G.; NELSON, P. N.; BIRD, M. I. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 1–13, 2016.
- ATKINSON, C. J.; FITZGERALD, J. D.; HIPPS, N. A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. **Plant and Soil**, v. 337, n. 1, p. 1–18, 2010.
- EKEBAFE, M. O.; EKEBAFE, L. O.; MALIKI, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. **Science Progress**, v. 96, p. p.85-94, 2013.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Brasília, DF: v. 3, 2017.
- FALOYE, O. T.; ALATISE, M. O.; AJAYI, A. E.; EWULO, B. S. Synergistic effects of biochar and inorganic fertiliser on maize (*Zea mays*) yield in an alfisol under drip irrigation. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 214–220, 2017.
- GONZAGA, M. I. S.; MACKOWIAK, C.; ALMEIDA, A. Q.; CARVALHO JUNIOR, J. I. T.; ANDRADE, K. R. Positive and negative effects of biochar from coconut husks, orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. **Catena**, v. 162, p. 414–420, 2018.
- HUNG, C. Y.; TSAI, W. T.; CHEN, J. W.; LIN, Y. Q.; CHANG, Y. M. Characterization of biochar prepared from biogas digestate. **Waste Management**, v. 66, p. 53–60, 2017.

IGALAVITHANA, A. D.; MANDAL, S.; NIAZI, N. K.; VITHANAGE, M.; PARIKH, S. J.; MUKOME, F. N. D.; RIZWAN, M.; OLESZCZUK, P.; AL-WABEL, M.; BOLAN, N.; TSANG, D. C. W.; KIM, K. H.; OK, Y. S. Advances and future directions of biochar characterization methods and applications. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 23, p. 2275–2330, 2017.

LIMA, J. R. DE S.; SILVA, W. DE M.; MEDEIROS, E. V. DE; DUDA, G. P.; CORRÊA, M. M.; FILHO, A. P. M.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONIO, A. C. D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, v. 319, p. 14–23, 2018.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1, p. 117–128, 2010.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. Tese (Doutorado / Agronomia). Faculdade de Ciências Agrômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2010.

NOVAK, J. M.; JOHNSON, M. G. Elemental and Spectroscopic Characterization of Low-Temperature (350°C) Lignocellulosic- and Manure-Based Designer Biochars and Their Use as Soil Amendments. In: **Biochar from Biomass and Waste**. Elsevier Inc., p. 37–58, 2019.

REN, X.; ZHANG, P.; ZHAO, L.; SUN, H. Sorption and degradation of carbaryl in soils amended with biochars: influence of biochar type and content. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2724–2734, 2016.

SAMPAIO, A. A.; SILVA, F.; AGUIAR, C. A. DA C.; GAVA, C. A. T.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M.; MARTINS, L. M. V.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. Desenvolvimento Vegetativo de Genótipos Superprecoces de Milho Inoculados com *Azospirillum brasilense* em Solos do Semiárido. in: **Fertbio, Maceió. A responsabilidade Socioambiental da Pesquisa Agrícola**, n. 1, p. 5–7, 2012.

SMEBYE, A.; ALLING, V.; VOGT, R. D.; GADMAR, T. C.; MULDER, J.; CORNELISSEN, G.; HALE, S. E. Biochar amendment to soil changes dissolved organic matter content and composition. **Chemosphere**, v. 142, p. 100–105, 2016.

SUKATORNO, W. H.; UTOMO, W. H.; KUSUMA, Z.; NUGROHO, W. H. Soil fertility status, nutriente uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonésia. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 49, p. 47–52, 2011.

TANG, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70–85, 2015.

TANG, X. F.; LIU, Y. G.; GU, Y. L.; XU, Y.; ZENG, G. M.; HU, X. J.; LIU, S. B.; WANG, X.; LIU, S. M.; LI, J. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 318–333, 2016.

UZOMA, K. C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; FUJIMAKI, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 2, p. 205–212, 2011.

ZHANG, J.; LÜ, F.; ZHANG, H.; SHAO, L.; CHEN, D.; HE, P. Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–8, 2015.

ZHANG, D.; PAN, G.; WU, G.; KIBUE, G. W.; LI, L.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; ZHENG, J.; CHENG, K.; JOSEPH, S.; LIU, X. Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. **Chemosphere**, v. 142, p. 106–113, 2016.

5 EFEITO DE BIOCARVÕES REGIONAIS SOBRE ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ARGISSOLO E VERTISSOLO

Juliana Ribeiro Costa Pereira ⁽¹⁾, Diana Signor ⁽²⁾, Magnus Dall Igna Deon ⁽²⁾

⁽¹⁾ University of Pernambuco / Postgraduate Program in Environmental Science and Technology for the Semi-Arid. BR 203, Km 2, s/n, Petrolina/PE, CEP: 56328-903. E-mail: julianarcp86@hotmail.com

⁽²⁾ Brazilian Agricultural Research Corporation, Semi-arid Embrapa. Rodovia BR 428, km 152, Petrolina-PE, CEP 56302-970, caixa postal 23. E-mail: diana.signor@embrapa.br; magnus.deon@embrapa.br

Resumo:

O biocarvão é uma forma estável de carbono que melhora diversos atributos do solo. O objetivo desse trabalho é avaliar, ao longo do tempo, o efeito do biocarvão produzido a partir de matérias-primas regionais sobre os atributos químicos em Argissolo e Vertissolo do Semiárido brasileiro. Foram avaliados, ao longo do tempo, os efeitos de cinco doses e de três tipos de biocarvão, em delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os biocarvões foram produzidos a partir de resíduos de poda de mangueira e de processamento de uva para suco. Um terceiro material avaliado foi carvão vegetal comercial. Os biocarvões foram misturados ao solo nas doses de 0; 0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹, a 20 cm de profundidade. O aumento das doses de biocarvões aumentou significativamente o pH do Argissolo ao longo do tempo de incubação. Também foram aumentados os teores de K e de Mg trocáveis no solo em função da dose dos biocarvões. O biocarvão oriundo do resíduo de processamento de uva também aumentou de forma significativa os teores de Ca trocável no Argissolo. Entretanto, os teores de Ca trocável no Vertissolo também aumentaram em função da dose do biocarvão. O tempo de incubação foi a variável que mais afetou os atributos químicos do solo avaliados. Os biocarvões oriundos do resíduo de processamento de uva e resíduo de poda de mangueira apresentaram o melhor desempenho dentre as fontes avaliadas.

Palavras-chave: biomassa carbonizada; fertilidade do solo; pirólise; solos do semiárido

EFFECT OF REGIONAL BIOCHARS ON CHEMICAL ATTRIBUTES IN ULTISOL AND VERTISOL.

Abstract:

Biochar is a stable form of carbon that improves soil attributes. The objective of this work is evaluate, over the time, the effect of biochar produced from regional raw materials on the chemical attributes of an Ultisol and a Vertisol in the Brazilian semi-arid region. The effects of five rates and three types of biochar were evaluated after the applications in a randomized complete block design with four replicates. Biochars were produced from waste from pruning of hose and processing of grape juice. A third evaluated material was commercial charcoal. Biochars were mixed to the soil in the doses of 0; 0.5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹, at 20 cm depth. Increasing the doses of biochars significantly increased the pH of the Ultisol during the incubation time. The exchangeable K and Mg contents in the soil were also increased as a function of the dose of biochar. The biochar from the grape residue also significantly increased the exchangeable Ca contents in the Ultisol. However, the exchangeable Ca contents in the Vertisol also increased as a function of the biochar rate. The incubation time was the variable that most affected the soil chemical attributes evaluated. Biochar from the grape processing residue and hose pruning residue presented the best performance among the evaluated sources.

Keywords: carbonized biomass; soil fertility; pyrolysis; semi-arid soils

5.1 INTRODUÇÃO

Biocarvão é um material orgânico, rico em carbono, produzido a partir da pirólise, o processamento térmico da biomassa na ausência ou sob concentrações reduzidas de oxigênio (TANG et al., 2015, 2016; GONZAGA et al., 2017; KALINKE et al., 2017). O biocarvão difere do carvão vegetal devido ao uso, uma vez que não é utilizado como combustível, mas é produzido para uso exclusivamente como condicionante do solo (KOOKANA et al., 2011).

A utilização do biocarvão em solos agrícolas tem crescido nos últimos anos, por desempenhar um papel significativo na alteração da dinâmica de nutrientes, contaminantes do solo e funções microbianas e por proporcionar benefícios agronômicos, ambientais e econômicos (SHAABAN et al., 2018).

Segundo Ekebafé et al. (2013), o aumento no crescimento e produtividade das culturas agrícolas utilizando biocarvão deve-se à melhoria da estrutura do solo, aumento da aeração, infiltração e disponibilidade de água para as plantas; redução da taxa evapotranspiração; aumento da fertilidade do solo; complexação e redução da toxidez de metais pesados sobre as plantas, bem como alívio dos efeitos da salinidade.

Para a região semiárida, a retenção de água (SULIMAN et al., 2017) e de nutrientes (YUAN et al., 2011) são os principais benefícios fornecidos pela aplicação do biocarvão no solo e estão diretamente relacionadas à sua porosidade. De acordo com Song et al. (2014), quanto maior temperatura de pirólise durante a produção do biocarvão, maior será a formação de microporos e a área superficial do biocarvão e, portanto, maior será a retenção de água e de nutrientes no solo.

Lima et al. (2018) avaliaram, em casa de vegetação, os efeitos da aplicação de quatro doses (4, 8, 12 e 16 Mg ha⁻¹) de biocarvão de resíduos de café (café moído e casca de café), sobre as características físico-químicas de um Latossolo de Garanhuns-PE, a eficiência do uso da água e produção do milho (*Zea mays*). À medida que as doses aumentaram, as propriedades de retenção de nutrientes e de água do solo e o crescimento do milho melhoraram significativamente, sendo que a eficiência do uso da água foi 50% maior para o tratamento com a maior dose de biocarvão.

O Brasil é um país essencialmente agrícola e gera uma quantidade elevada de resíduos que podem ser convertidos em biocarvão, trazendo benefícios ao meio ambiente e à agricultura. Nos solos do Semiárido brasileiro, cuja capacidade de retenção de água, de maneira geral, não é elevada, além de precipitação pluviométrica limitada, o uso de biocarvão pode ser viável, inclusive para os cultivos de sequeiro.

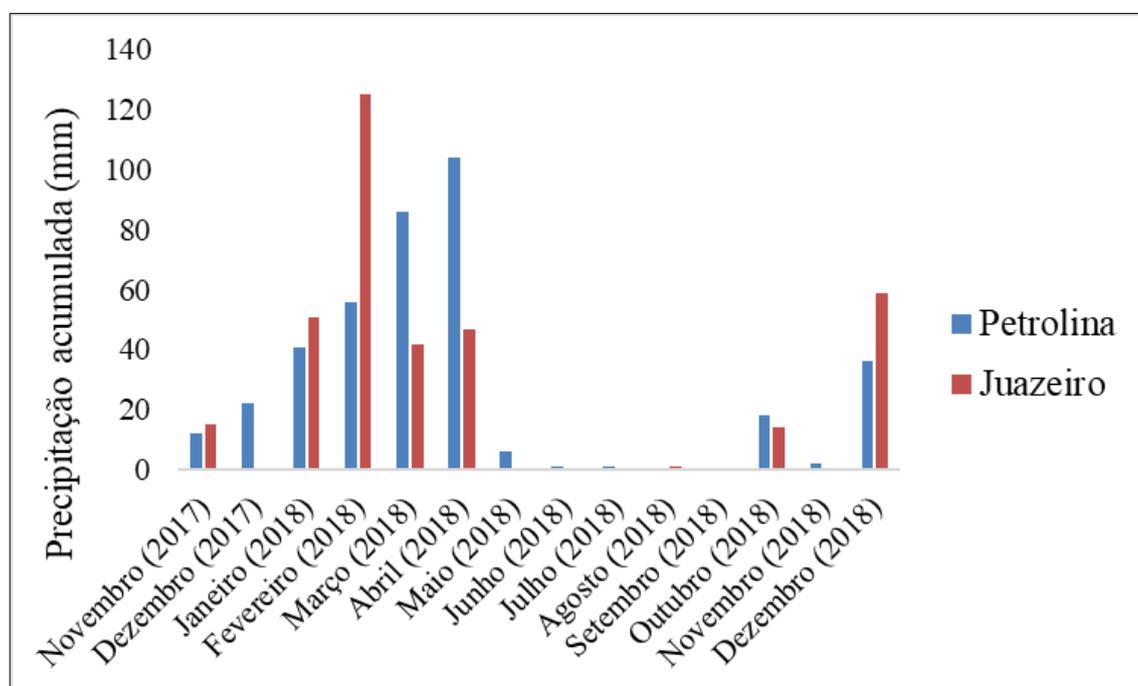
O objetivo desse trabalho é avaliar, ao longo do tempo, o efeito do biocarvão produzido a partir de matérias-primas regionais sobre os atributos químicos em dois solos do Semiárido brasileiro.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram conduzidos em um Argissolo localizado no Campo Experimental da Caatinga, da Embrapa Semiárido, no município de Petrolina – PE, e em um Vertissolo localizado no Campo Experimental de Mandacaru, da Embrapa Semiárido, em Juazeiro – BA. A região possui clima Semiárido do tipo BSswb, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 26°C, umidade relativa do ar média anual de 60% e precipitação média anual de 522 mm. A precipitação pluvial para Petrolina entre os meses de dezembro de 2017 a abril de 2018 (180 dias de incubação dos biocarvões) foi 315 mm, sendo que os meses mais chuvosos foram fevereiro, março e abril. Já para Juazeiro, a precipitação pluvial entre os meses de novembro de 2017 a julho de 2018 (270 dias de incubação dos biocarvões) foi de 280 mm, sendo janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos (Figura 5.1).

Figura 5. 1 - Precipitação acumulada em Petrolina e Juazeiro



5.2.2 PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DO BIOCARVÃO

Foram produzidos dois biocarvões a partir resíduos de poda de mangueira (RPM) e de resíduos do processamento de uva para suco (RPU). Um terceiro biocarvão também utilizado nos experimentos (carvão vegetal de mata nativa da Caatinga - CV) foi doado, para fins de

pesquisa, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), para a Embrapa Semiárido, e possivelmente é de exploração ilegal de madeira de vegetação nativa da Caatinga. Esse material foi utilizado nos experimentos por dois motivos: disponibilidade de uso e comparação com os biocarvões de resíduos, a fim de comprovar que não há necessidade de uso de matéria-prima nativa para produção do biocarvão.

A produção dos biocarvões para aplicação no experimento de campo foi realizada em forno de alvenaria, no Campo Experimental da Caatinga. Cada matéria-prima foi colocada dentro de um tambor de metal fechado com tampa, na qual haviam quatro furos de cinco mm de diâmetro na tampa para permitir a saída dos gases produzidos durante a pirólise do material. O tambor contendo a matéria-prima foi fechado e colocado dentro de um forno de alvenaria, rodeado por galhos de mangueira secos que foram queimados. Durante a queima desse material na parte externa do tambor, o material que estava dentro do tambor foi pirolisado, por cerca de 30 minutos (Figura 5.2).

Figura 5. 2 - Produção do Biocarvão. A- Forno de Alvenaria produzindo o biocarvão; B- Biocarvão de RPM; C- Biocarvão de RPU



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU);

Para o uso nos experimentos, os biocarvões produzidos e o biocarvão de mata nativa foram moídos em máquina estacionária, utilizando a peneira de 0,2 mm.

Os biocarvões utilizados no experimento foram encaminhados para o Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais, da Embrapa Semiárido e Embrapa Florestas, em Colombo/PR, para caracterização de algumas características químicas. Igalavithana et al. (2017a) afirmam que os métodos de caracterização de solo podem ser usados para caracterização de biocarvão e, por isso, as análises de condutividade elétrica, pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , acidez potencial e os cálculos de soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases foram realizados pelos métodos de análise de solo descritos em Embrapa (2017) (Tabela 5.1).

Tabela 5. 1 - Caracterização dos biocarvões produzidos a partir de resíduo de poda de mangueira (RPM), resíduo de processamento de uva (RPU) e CV (carvão vegetal)

Atributos	RPM	RPU	CV
C.E. (mS cm ⁻¹)	0,93	0,82	1,06
pH	8,7	5,4	6,9
Ca ⁺² (cmolc dm ⁻³)	1,5	3	10,2
Mg ⁺² (cmolc dm ⁻³)	1	1,7	1,8
Al ⁺³ (cmolc dm ⁻³)	0	0	0
H+Al (cmolc dm ⁻³)	0	13	1,4
SB (cmolc dm ⁻³)	2,5	4,7	12
CTC (cmolc dm ⁻³)	2,5	17,7	13,4
V (%)	100	26,6	89,3
UMIDADE (%)	3,43	7,91	7,41
MATERIAL VOLÁTIL (%)	23,59	55,81	28,4
CINZAS (%)	16,53	8,37	15,25

C.E.: condutividade elétrica; pH: determinado em água na proporção de 1:2,5; Ca⁺², Mg⁺² e Al⁺³: extração em KCl 0,5 mol L⁻¹; SB: soma de bases (Ca⁺² + Mg⁺² + Na⁺¹ + K⁺¹); CTC: capacidade de troca de cátions (H+Al + SB); V%: saturação por bases (SB/CTC)*100; Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

5.2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Os biocarvões produzidos e moídos foram aplicados em dois solos representativos do semiárido brasileiro, Argissolo e Vertissolo, para avaliar o efeito das doses e dos tipos de biocarvão sobre os atributos químicos do solo.

O Argissolo apresentava as seguintes características: pH = 5,01; matéria orgânica (C) = 4,07 g kg⁻¹; condutividade elétrica = 1,25 mS cm⁻¹; fósforo disponível (P) = 7,26 mg dm⁻³; potássio trocável (K⁺) = 0,31 cmol_c dm⁻³; cálcio trocável (Ca⁺²) = 1,55 cmol_c dm⁻³; magnésio trocável (Mg⁺²) = 2,45 cmol_c dm⁻³; sódio trocável (Na⁺) = 0,02 cmol_c dm⁻³; alumínio trocável (Al⁺³) = 0,00 cmol_c dm⁻³; hidrogênio + alumínio (H+Al) = 1,56 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) = 4,33 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions = 5,89 cmol_c dm⁻³; saturação por bases (V) = 73,41 %.

O Vertissolo utilizado no experimento apresentou as seguintes características: pH = 7,2; matéria orgânica (C) = 11,19 g kg⁻¹; condutividade elétrica = 0,66 mS cm⁻¹; fósforo disponível (P) = 28,25 mg dm⁻³; potássio trocável (K⁺) = 0,90 cmol_c dm⁻³; cálcio trocável (Ca⁺²) = 16,98 cmol_c dm⁻³; magnésio trocável (Mg⁺²) = 3,95 cmol_c dm⁻³; sódio trocável (Na⁺) = 0,1 cmol_c dm⁻³; alumínio trocável (Al⁺³) = 0,00 cmol_c dm⁻³; hidrogênio + alumínio (H+Al) = 0,00 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) = 21,92 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions = 21,92 cmol_c dm⁻³; saturação por bases (V) = 100%.

5.2.4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para a condução do experimento foi utilizado para o Argissolo o esquema fatorial [3x5x4] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão e 4 tempos de avaliação) e para o Vertissolo o esquema fatorial [3x5x5] (3 tipos de biocarvão, 5 doses de biocarvão e 5 tempos de avaliação), em delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições. Como não existe ainda uma recomendação de doses de biocarvão por cultura e tipo de matéria-prima (como acontece para fertilizantes e corretivos sintéticos, por exemplo), as doses testadas de biocarvão foram de 0,5; 1; 5; 10 Mg ha⁻¹, as quais foram definidas com base em revisão de literatura.

Os biocarvões foram incubados ao solo em outubro de 2017 para o Argissolo, e em novembro de 2017 para o Vertissolo. Os biocarvões de RMN, RPM e RPU foram misturados aos solos, nas respectivas doses, e o material (solo + biocarvão) foi acondicionado em tubos de Cloreto de polivinil (PVC) com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro (Apêndice B e C). Os tubos foram fechados na base com TNT para evitar perdas de solo e permitir drenagem adequada, caso ocorressem chuvas durante o período de incubação no campo e foram incubados no campo, a 20 cm de profundidade. Para cada tratamento, foram preparados tubos para avaliações sucessivas a serem realizadas aos 30; 90 e 180 dias após a incubação no Argissolo e aos 30, 90, 180 e 270 dias no Vertissolo.

Em cada tempo, os tubos correspondentes a todos os tratamentos eram coletados e o solo+biocarvão retirado foi encaminhado para o Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais, da Embrapa Semiárido. Os atributos avaliados foram: pH, teores totais de cátions e alumínio trocáveis, acidez potencial, condutividade elétrica, soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, determinados conforme Embrapa (2017).

5.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade e análise de variância, considerando os efeitos de tipos de biocarvão, doses de biocarvão e tempo de incubação sobre os atributos químicos dos solos. As interações entre as variáveis (duas a duas ou interação tripla) foram desdobradas em caso de significância. Em caso de efeitos simples de tipo de biocarvão, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Os efeitos de dose e tempo de incubação, em caso de significância, foram submetidos à análise de regressão. As análises foram realizadas no software Statistical Analysis System (SAS®).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 ARGISSOLO

A adição dos biocarvões em Argissolo alterou algumas características químicas do solo (Tabela 5.2). Foram observados efeitos isolados de tipos de biocarvão, doses e tempo de incubação para algumas variáveis. Contudo, como as interações duplas e, em alguns casos triplas, entre esses fatores também foram significativas e, nesses casos, os efeitos isolados não serão discutidos.

A condutividade elétrica do Argissolo foi afetada pela interação entre dose e tempo de incubação do biocarvão no campo. Os dados foram apresentados em uma superfície de resposta, que apresentou ponto de sela na dose de 5,55 Mg ha⁻¹ e no tempo de 57,58 dias após a aplicação. Para a C.E. foi encontrado o ponto de sela 1,26 (D=5,55 e T=57,58) (Figura 5.3).

Tabela 5. 2 – Valor P de análise de variância para efeitos de tipo de biocarvão, doses de biocarvão, tempo de incubação e respectivas interações sobre atributos químicos de Argissolo, em Petrolina-PE

Fonte de Variação	C.E.	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V%
Biocarvão(B)	NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	NS	0,0235*	0,0367*	NS	NS	NS	NS	NS
Dose (D)	NS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0334*	<0,0001	0,0002	0,0006	NS	<0,0001	<0,0001	0,0042
Tempo (T)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
D x B	NS	0,0204*	NS	<0,0001	NS	0,0003	<0,0001	0,0160*	NS	0,0001	NS	0,0146*
T x B	NS	0,0056	0,0164*	<0,0001	NS	0,0003	<0,0001	NS	NS	<0,0001	0,0008	NS
D x T	0,0292*	<0,0001	0,0024	<0,0001	NS	0,0003	0,0310*	<0,0001	NS	<0,0001	0,0051	0,0330*
D x T x B	NS	NS	NS	<0,0001	NS	<0,0001	<0,0001	0,0039	0,0182*	<0,0001	0,0002	<0,0001

NS = Não significativo; *Significativo a 5%; **Significativo a 1%**

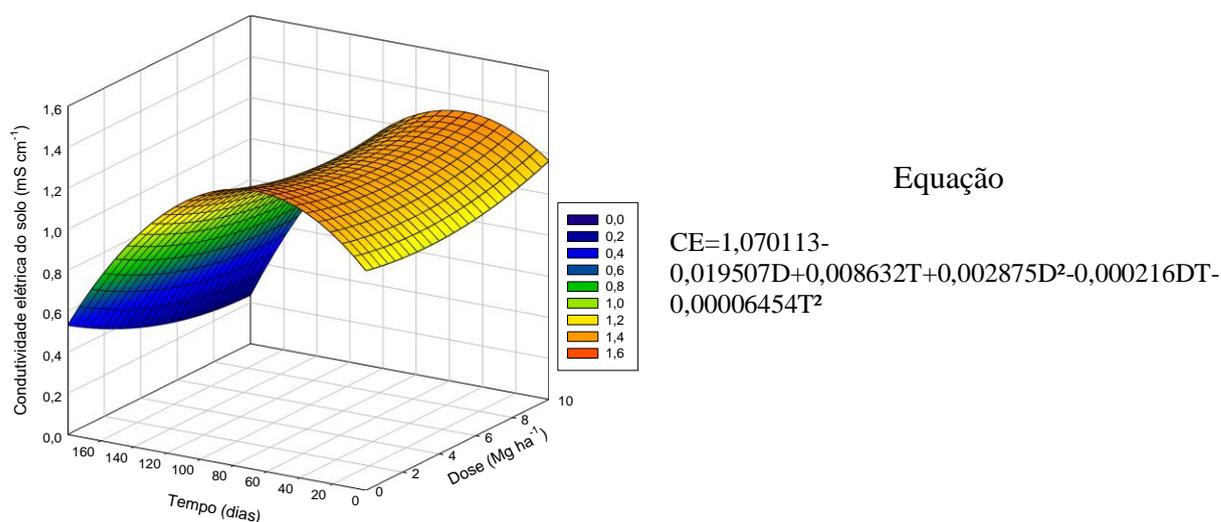
C.E.: condutividade elétrica do solo; H+Al: acidez potencial; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases

A acidez ativa do solo (pH) tem efeito do tipo de biocarvão, dose de biocarvão e tempo de incubação e pelas interações entre dose e biocarvão, tempo de incubação e biocarvão e dose e tempo de incubação.

O pH do solo aumentou linearmente com o tempo de incubação para os biocarvões do RPM ($R^2 = 0,2257$; $p = 0,0004$) e RPU ($R^2 = 0,3795$; $p < 0,0001$) conforme Figura 5.4, já para o CV houve um efeito quadrático, com ponto de mínimo em (52,50; 4,97) e aumento a partir desse período. Ao final do período de avaliação de 180 dias, o pH do solo foi semelhante para os três tipos de biocarvões.

Já em um solo salino costeiro no Delta do Rio Amarelo na China, Wu et al. (2014) relataram que após 56 dias de incubação a adição de biocarvão de sabugo de milho, reduziu acentuadamente o pH do solo e a porcentagem de sódio trocável (51% na dose de 5%) e aumentou o CTC, carbono orgânico do solo e o conteúdo de P disponível.

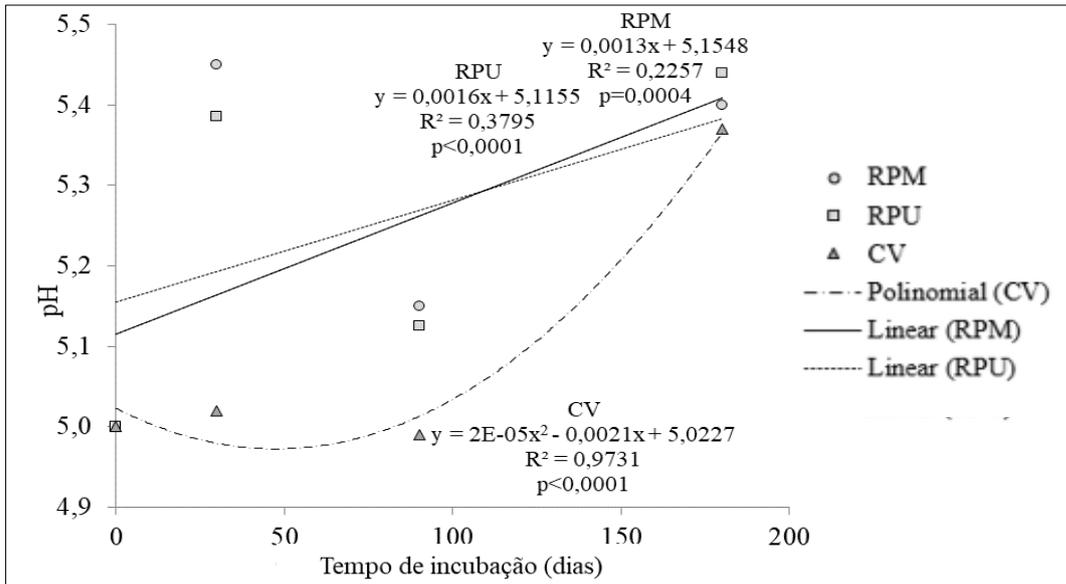
Figura 5. 3 - Efeito de tempo de incubação ao solo e de doses de biocarvão sobre a condutividade elétrica de Argissolo, em Petrolina-PE



Dentre as variáveis avaliadas, o pH foi a única que apresentou interação dupla entre tipo e dose do biocarvão, onde, observou-se um aumento linear do pH do solo, para todos os biocarvões utilizados (Figura 5.5). O aumento de 1 Mg ha⁻¹ na dose de biocarvão de RPM e RPU proporcionou um aumento de 0,02 unidades no pH do Argissolo em estudo.

Para Dai et al. (2017), o biocarvão produzido em temperaturas relativamente altas, mostrou-se eficiente em neutralizar a acidez do solo e, conseqüentemente, promove o aumento da retenção de nutrientes no solo. A maioria dos biocarvões é alcalino e adicioná-los em solos alcalinos geralmente tem pouco efeito. No entanto, Laghari et al. (2015) verificaram que a aplicação de biocarvão em solos arenosos alcalinos a uma dose de 45 Mg ha⁻¹, diminuiu significativamente o pH do solo, de 0,92 a 0,95 unidades de pH. Segundo Oladele & Adeyemo & Awodun (2019), para a dose de 12 Mg ha⁻¹ de biocarvão, houve um aumento significativo nos níveis de pH do solo em 1,9 unidades quando comparado com o controle. No entanto, segundo Albuquerque et al. (2014), é preciso atenção para o fato de que grandes elevações do pH do solo (acima de 7,0), ocasionadas pela aplicação do biocarvão, podem ocasionar efeitos negativos sobre a disponibilidade de micronutrientes no solo e, conseqüentemente, sobre a produção das culturas.

Figura 5. 4 - Efeito da interação entre tempo de incubação e tipo de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE

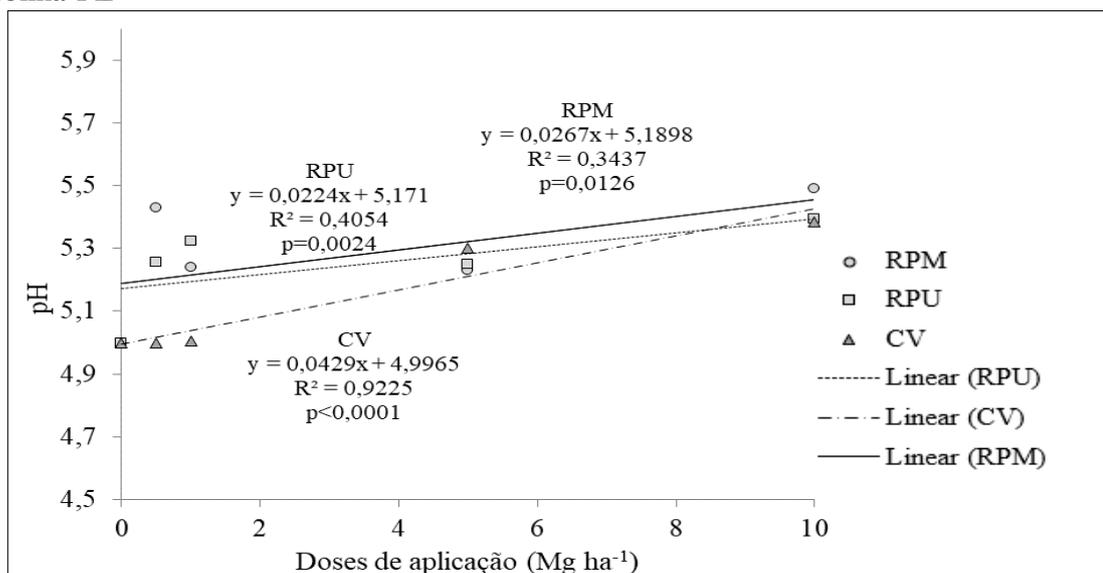


Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

A acidez ativa do solo também foi afetada pela interação entre dose de biocarvão e tempo de incubação (Figura 5.6). A dose de biocarvão proporcionou aumento no pH do solo, que também aumentou à medida que o tempo de incubação foi maior.

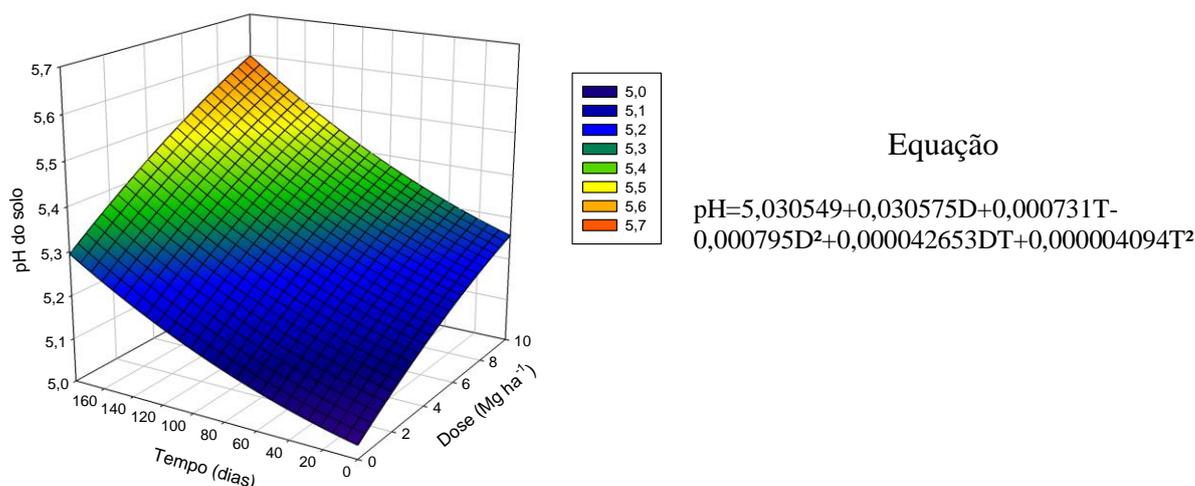
Em síntese, quanto maior a dose de biocarvão e quanto maior o tempo de incubação ao solo, maiores serão os valores de pH, demonstrando o efeito dos materiais testados para correção da acidez no Argissolo.

Figura 5. 5 - Efeito da interação entre tipo e doses de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Figura 5. 6 - Efeito da interação entre tempo de incubação e doses de biocarvão no pH em Argissolo, em Petrolina-PE



Brewer et al. (2011) e Van Zwieten et al. (2010) também observaram que o biocarvão aumenta o pH dos solos. Resultado semelhante ao do presente estudo também foi encontrado por Yuan & Xu (2011), que observaram uma relação linear encontrada entre o pH de um Argissolo e a alcalinidade de biocarvões produzidos a partir de nove resíduos de culturas. Foi observado por Yuan & Xu (2011) que o aumento no pH do solo foi fortemente correlacionado com a alcalinidade do biocarvão utilizado. Um fator importante na redução da acidez do solo é a alcalinidade do biocarvão (DAI et al., 2017).

Segundo YUAN et al. (2011), a presença de grupos funcionais orgânicos (COOH e OH), carbonatos (CaCO_3 e MgCO_3) e metais alcalinos (Na e K) influenciam a alcalinidade do biocarvão e alteram o pH no solo. A alteração do pH ao longo do tempo observada nesse estudo sugere a reação do material no solo, a exemplo do que ocorre com outros corretivos como o calcário.

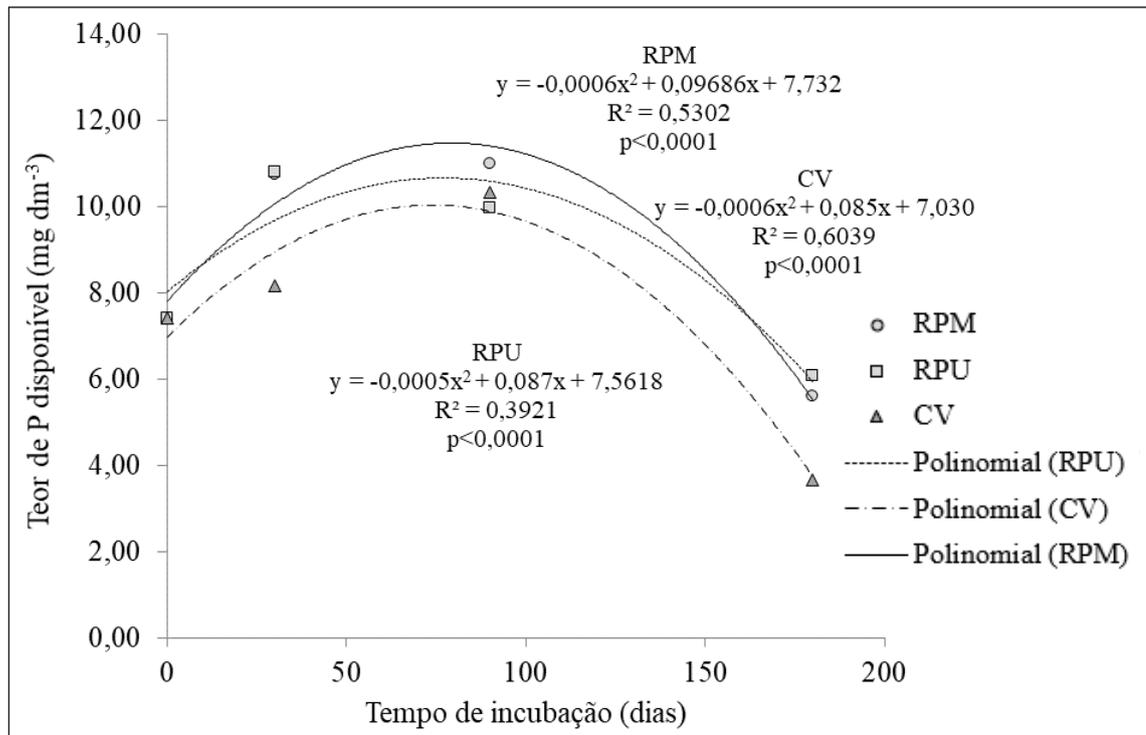
A neutralização da acidez do solo, a partir da aplicação do biocarvão está diretamente ligada ao tipo de biocarvão (VAN ZWIETN et al., 2010), à dose aplicada (MOLNÁR et al., 2016) e ao tipo de solo. A aplicação de biocarvões alcalinos em solos ácidos pode aumentar o pH, e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes (RABOIN et al., 2016; RINKLEBE et al., 2016; ZHANG et al., 2017). Por outro lado, a aplicação de biocarvão ácido/neutro em solos alcalinos pode diminuir o pH do solo, afetando então solubilidade dos nutrientes do solo (LAGHARI et al., 2015). No entanto, segundo Lentz & Ippolito (2012), nesses casos, a redução do pH após aplicação biocarvão no solo é geralmente mínima, assim, este pequeno declínio no pH do solo alcalino não afeta fortemente a disponibilidade de nutrientes.

O teor de P disponível no solo foi afetado por tipos e doses de biocarvão e pelo tempo de incubação ao solo, assim como pelas interações entre tempo e tipo de biocarvão e entre dose e tempo de incubação. Em função das interações significativas, os efeitos isolados não serão discutidos, concentrando-se a discussão nas interpretações das interações entre os fatores.

No desdobramento da interação entre tempo de incubação e tipo de biocarvão, foram observados comportamentos semelhantes para os três tipos de biocarvões avaliados, com aumento inicial e estabilização, seguido de queda de teor do P disponível (Figura 5.7). Os maiores teores de P disponível foram observados aos 87; 80,7 e 70,8 dias após a incubação para os biocarvões de RPU, RPM e CV, respectivamente. Esse comportamento pode ser explicado pela presença de P no próprio biocarvão, que pode ser parcial ou totalmente solubilizado e disponibilizado ao solo (DARI et al., 2016). Como não haviam plantas para consumir o P do solo, a redução no teor de P disponível a partir de 70 dias (87 dias para RPU, 70,83 dias CV e 80,72 dias para RPM), pode ser explicada pelo consumo por microrganismos ou por fixação deste elemento aos óxidos do solo, que não conseguem ser detectados pelo método de determinação de P utilizado. Além disso, Nelson et al. (2011) relatam que a aplicação do biocarvão em solos não adubados com P pode levar à redução nos teores de P disponível determinado pelo método de Mehlich, o qual também foi usado neste trabalho. Portanto, o aumento inicial nos teores de P disponível no solo ocorreu devido à liberação desse nutriente do biocarvão para o solo e a redução ocorrida a partir dos 70 dias da aplicação ao solo deve-se à interação do biocarvão com o solo e ao método de determinação de P utilizado nas análises de solo.

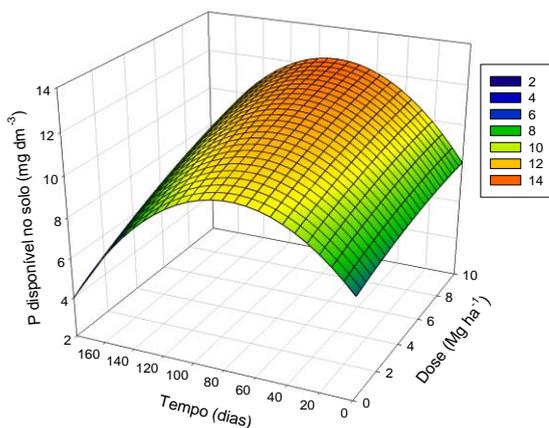
A interação entre dose de biocarvão e tempo de incubação também afetou significativamente o teor de P disponível no solo, que apresentou um ponto de máximo na dose 12,74 Mg ha⁻¹ e no tempo de incubação de 94,87 dias (Figura 5.8). Em todos os tempos avaliados, quanto maior a dose de biocarvão aplicada ao solo, maiores os teores de P disponível no solo, confirmando que todos os biocarvões funcionaram como fonte de P ao solo, como observado por (DARI et al., 2016). Contudo, se considerarmos uma dose fixa, o teor de P disponível no solo apresentou comportamento similar ao da Figura 5.7, ou seja, um aumento inicial seguido por uma queda a partir de 94,87 dias de incubação (Figura 5.8).

Figura 5. 7 - Efeito do tempo de incubação e tipo de biocarvão no P disponível em Argissolo, em Petrolina-PE



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Figura 5. 8 - Efeito do tempo de incubação e da dose de biocarvão sobre os teores de P disponível em Argissolo, em Petrolina-PE



Equação

$$P = 7,000696 + 0,224663D + 0,084789T - 0,011844D^2 + 0,00145DT - 0,000564T^2$$

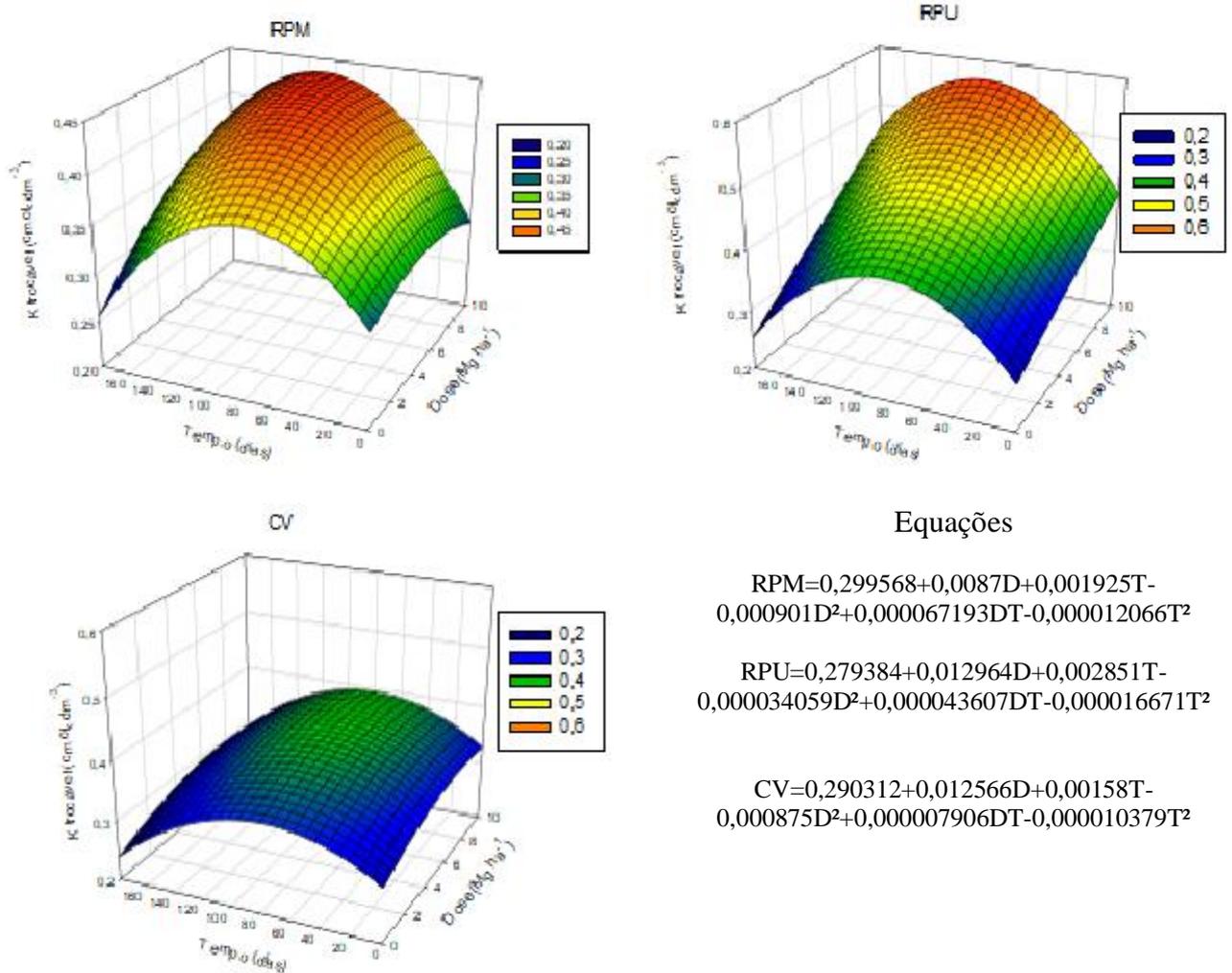
Os teores trocáveis de K, Ca, Mg e Al, a acidez potencial (H+Al), CTC, SB e V% foram afetados pela interação tripla entre tipo de biocarvão, dose de biocarvão e tempo de incubação (Figuras 5.9 a 5.16).

O teor de K trocável no solo apresentou comportamento similar para os três biocarvões avaliados, com aumento inicial, seguido de queda em torno do 100º dia de incubação para os três materiais. Possivelmente, esse comportamento é resultado do potássio fornecido pelos

biocarvões ao solo e da lavagem de sais, principalmente dos monovalentes, para camadas mais profundas do solo devido às chuvas ocorridas durante o período. Resultados similares também foram observados para os teores de K trocável no solo (Figura 5.9).

Oladele & Adeyemo & Awodun (2019) determinaram o efeito do biocarvão de casca de arroz, fertilizante N e suas interações no crescimento e produção de arroz e estado nutricional em dois tipos diferentes de solo (franco-argilo-arenoso e arenoso-franco) na Nigéria, onde os tratamentos consistiram em quatro doses de biocarvão (0, 3, 6 e 12 Mg ha⁻¹) e quatro níveis de Ureia (45% N) nas doses 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹. A combinação de biocarvão e fertilizante mineral melhorou a produtividade do arroz irrigado. O efeito principal da alteração do biocarvão no solo franco-arenoso (camada 10-20 cm), foi para os níveis de P e K disponíveis, nos quais o aumento das doses de biocarvão promoveu aumentos nos teores de P disponível e redução nos teores de K trocável no solo. Os autores argumentaram que, o aumento significativo no conteúdo de fósforo disponível no solo com aplicação biocarvão pode ser devido, o biocarvão de casca de arroz usado obter uma proporção considerável de P lábil que pode ter liberado diretamente na forma de fosfato no solo. Em um solo ácido de baixa fertilidade Zhang et al. (2017), observaram que a aplicação de biocarvão de palha de trigo produzido em baixa temperatura aumentou a disponibilidade de N, P e K.

Figura 5.9 - Efeito da interação entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de potássio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE

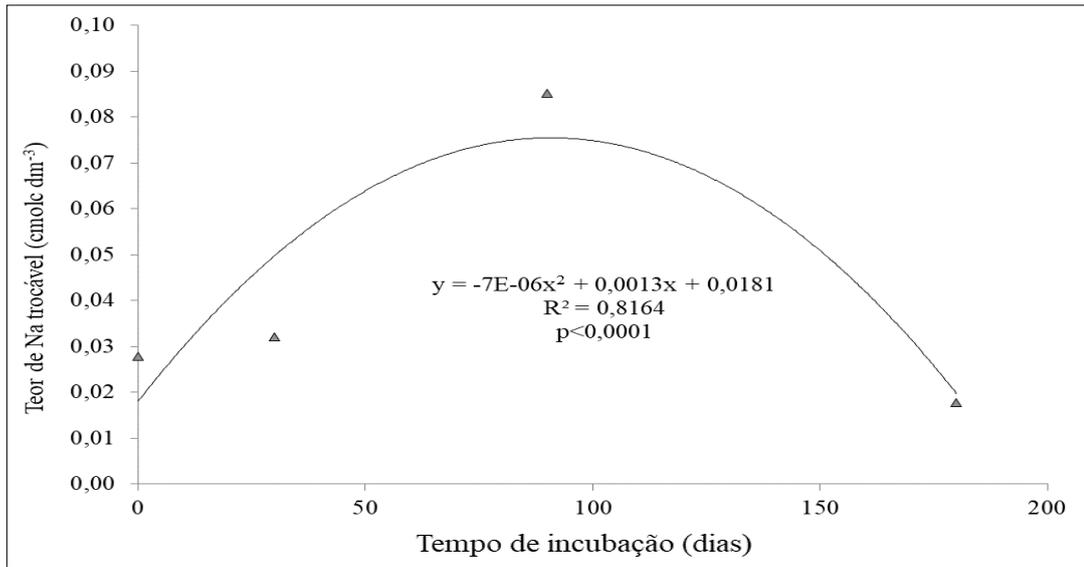


Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

O teor de Na trocável apresentou efeito simples tanto para a dose de aplicação e tempo de incubação. Para os dois tratamentos houve um comportamento quadrático, onde para o tempo de incubação, o Na trocável teve ponto de máximo em 92,86 dias (Figura 5.10) e para a dose o ponto de máximo foi de 7,50 Mg ha⁻¹ (Figura 5.11).

Chaves et al. (2018) avaliaram o efeito da aplicação de 6 doses de biocarvão (0, 10, 15, 20, 25 e 30 Mg ha⁻¹), na salinidade de um Latossolo vermelho em duas profundidades, 0-10cm e 10-20cm. Os autores verificaram o aumento nos teores dos cátions solúveis Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ com a aplicação das doses de biocarvão. Para o teor de Na trocável (com exceção da dose de 25 Mg ha⁻¹), os resultados foram praticamente os mesmos quando comparado as profundidades dentro da mesma dose aplicada, indicando que o Na trocável possui uma mobilidade dentro da camada analisada (20 cm). Tal resultado é decorrente, do enriquecimento de sítios trocáveis do perfil no solo com Ca²⁺ e Mg²⁺, que podem diminuir a concentração de Na trocável, tornando-o disponível na solução do solo e, mais susceptível a lixiviação.

Figura 5.10 - Efeito do tempo de incubação no teor de Na trocável em Argissolo, em Petrolina-PE



O biocarvão que mais aumentou o teor de K no solo foi o RPU (Figura 5.9). Similarmente, na Figura 5.12, observa-se que o biocarvão que obteve um resultado mais expressivo sobre melhoria do teor de Ca²⁺ trocável no solo foi o RPU, com ponto máximo em 2,27 cmolc dm⁻³, obtido na dose 7,85 Mg ha⁻¹ aos 85,26 dias após a aplicação ao solo.

Figura 5.11 - Efeito da dose aplicada no teor de Na trocável em Argissolo, em Petrolina-PE

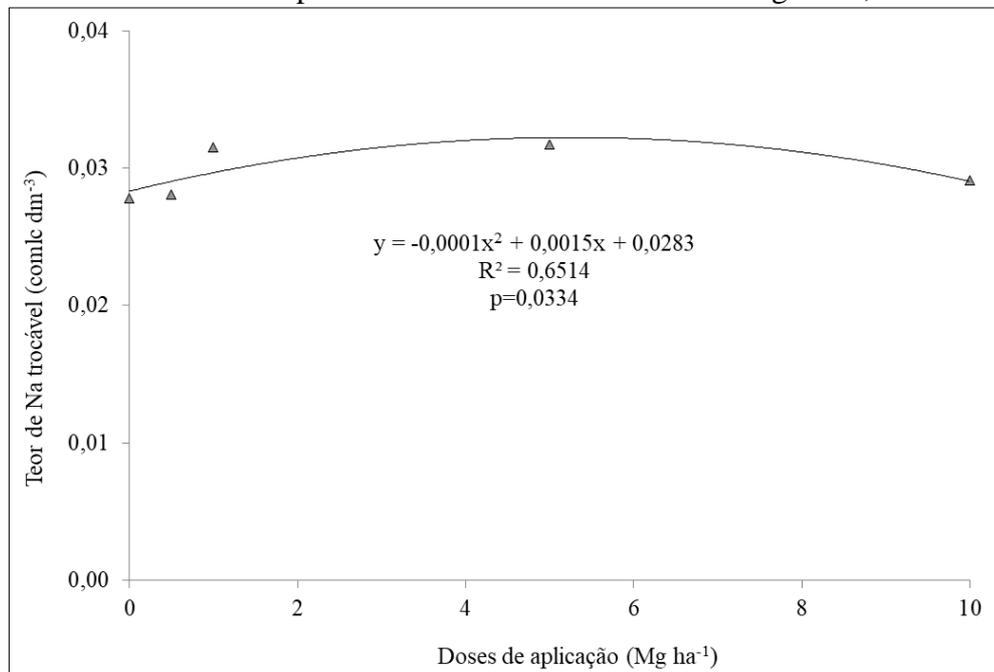
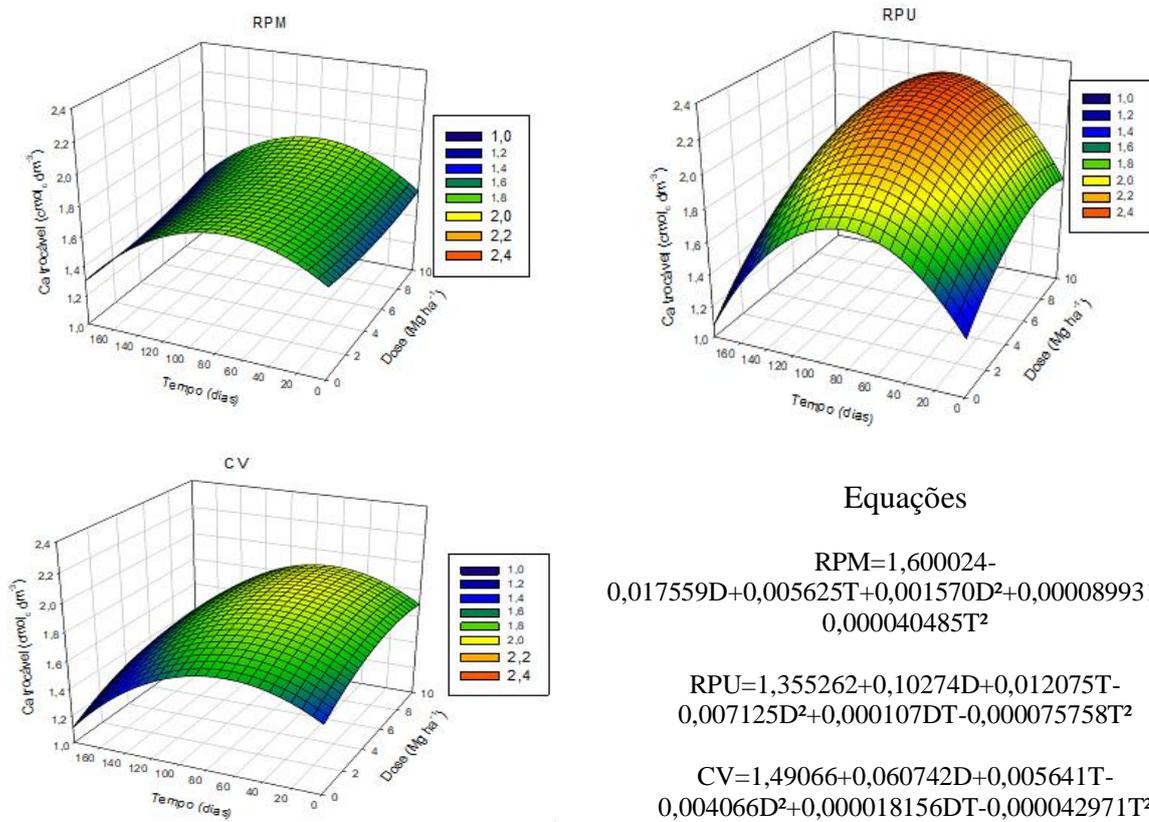


Figura 5. 12 - Efeito da interação do tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de cálcio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE



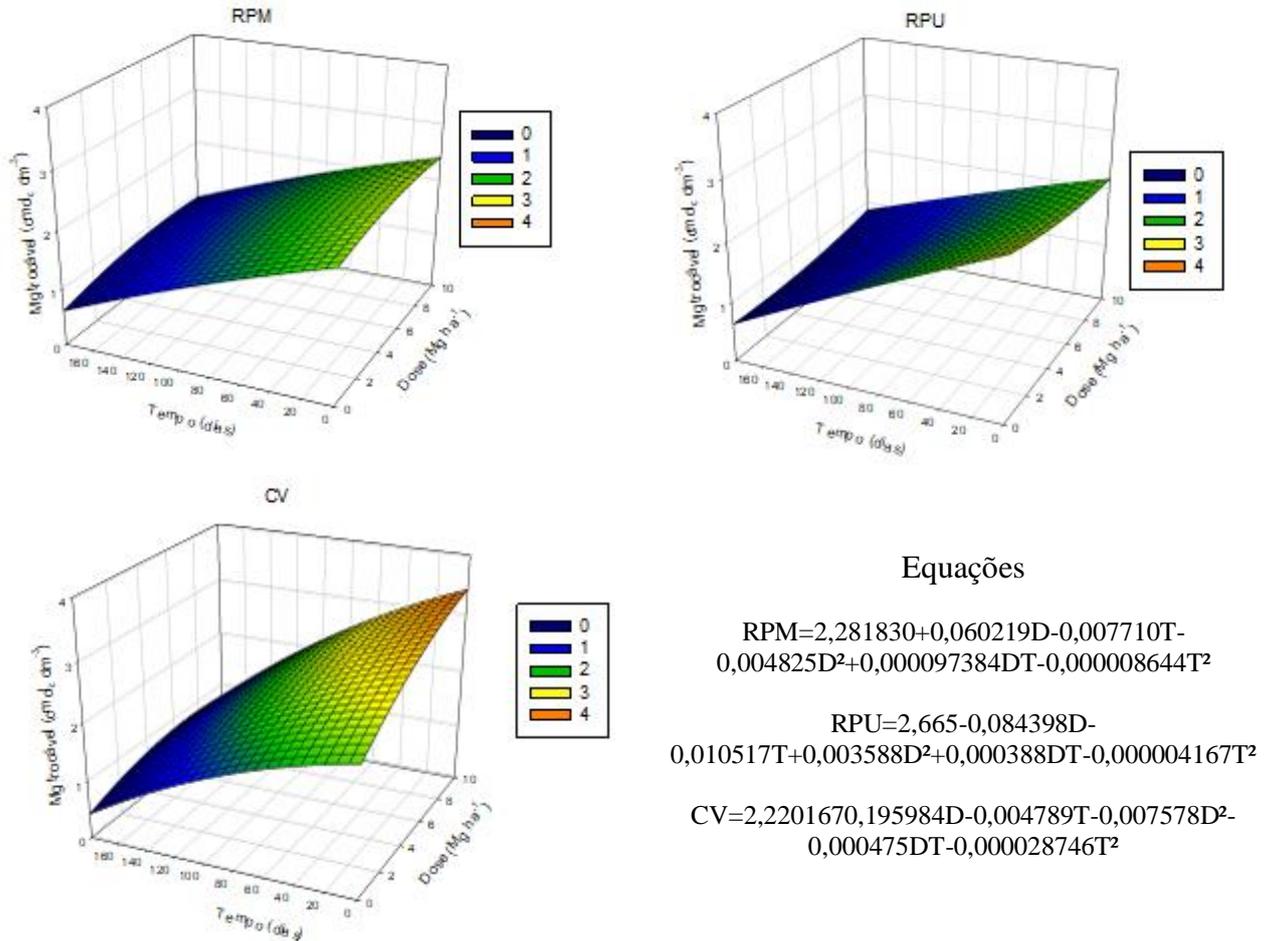
Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Em solos de textura arenosa e de baixa fertilidade, localizados na China e no Paquistão, Laghari et al. (2015) verificaram que, a partir da aplicação do biocarvão de serragem de pinus, houve um aumento nos teores de K entre 37-42%, enquanto os teores de P e Ca aumentaram em 68-70% e em 69-75%, respectivamente, em comparação com o controle.

Os teores de Mg trocável foram reduzidos ao longo do tempo de incubação dos biocarvões ao solo (Figura 5.13). O maior valor para esse elemento foi observado para o biocarvão CV.

Em um experimento na Nigéria, Adekiya et al. (2019) avaliaram os efeitos do biocarvão e do esterco de galinha sobre as propriedades do solo nos anos de 2015 e 2016. Foram estudadas as combinações de biocarvão (0, 25 e 50 Mg ha⁻¹) e esterco de galinha (0, 2,5 e 5,0 Mg ha⁻¹) e observou-se efeito significativo de interação entre esses dois fatores. Em 2015, o efeito da aplicação de biocarvão individualmente no solo não foi significativo. Em 2016 a aplicação de biocarvão em taxa mais alta (50 Mg ha⁻¹), aumentou significativamente os teores de P, K, Ca, Mg e matéria orgânica, bem como o pH do solo.

Figura 5. 13 - Efeito da interação de tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão para os teores de magnésio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

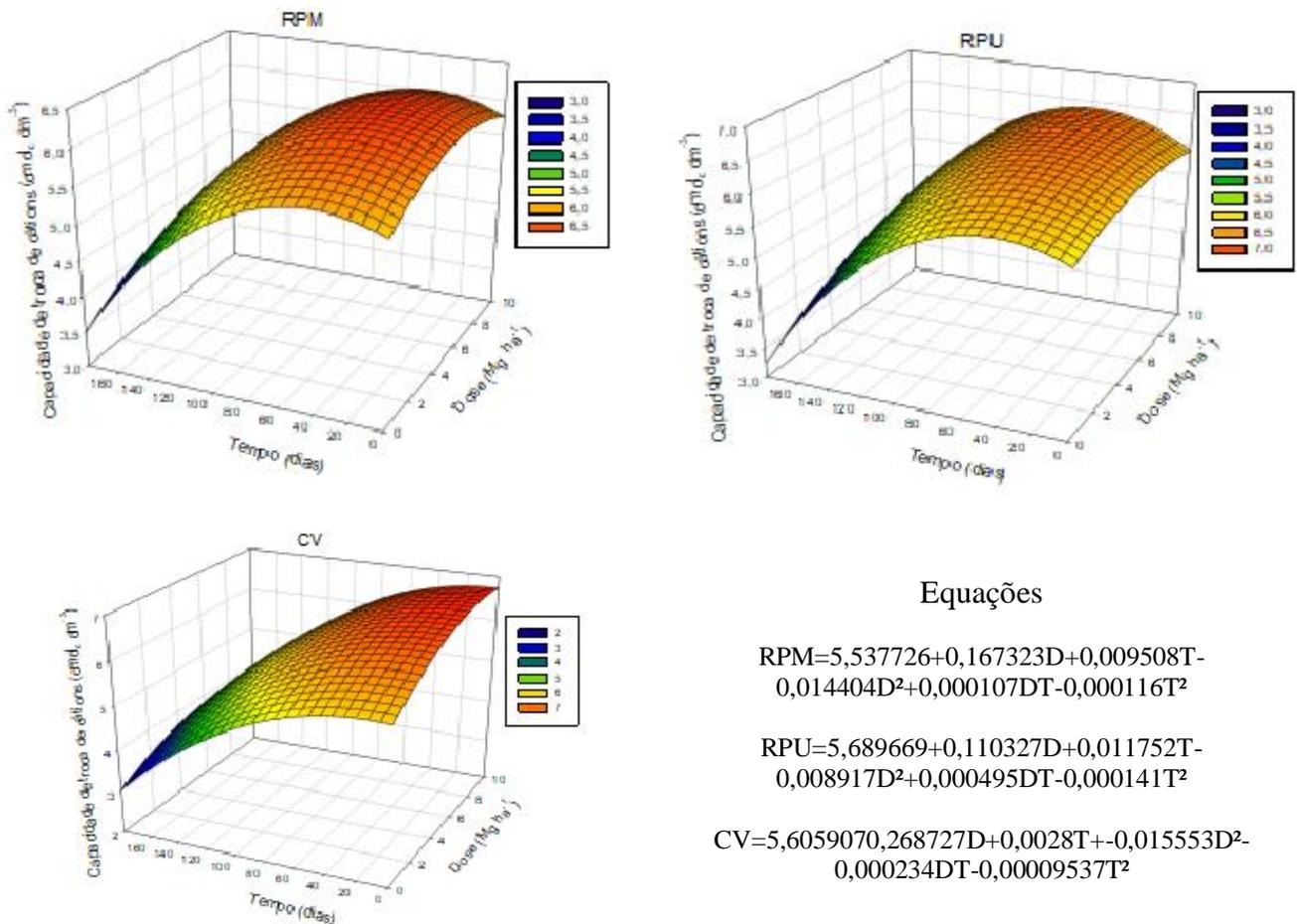
A CTC do Argissolo utilizado nesse experimento era, inicialmente, $5,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e atingiu pontos de máximo de $6,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ quando se aplicou biocarvão de RPM e $6,76$ e $6,44 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os biocarvões CV e RPU, respectivamente (Figura 5.14), mostrando que esses últimos materiais foram os mais eficientes em aumentar os pontos de cargas negativas no solo. Contudo, para os três biocarvões avaliados houve redução da CTC ao longo do tempo de incubação. Essa redução nos valores da CTC pode ser explicada pelo fato de que esse atributo é calculado em função da disponibilidade de cátions básicos, tanto nos sítios de troca, quanto em solução no solo. À medida que há liberação dos nutrientes contidos no biocarvão (Tabela 5.1), caso esses elementos não fiquem retidos no solo, pode ocorrer lixiviação em função das chuvas ocorridas ao longo do período experimental (Figura 5.1). Muitos fatores podem afetar os impactos do biocarvão na CTC do solo, como o tipo de solo, a condição de produção do biocarvão, tipo de matéria prima e a dose de aplicação. El-naggar et al. (2018), em um experimento de incubação de 90 dias, avaliaram os efeitos de três tipos de biocarvões (*Miscanthus sacchariflorus*, *Oryza sativa* e *Maesopsis eminii*, na dose de 30 Mg ha^{-1}) sobre

dois solos inférteis (arenoso e franco-arenoso). No solo arenoso, a CTC aumentou significativamente de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (controle) para $0,7$, $0,9$ e $3,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto no solo franco-arenoso, a CTC aumentou apenas para biocarvão de arroz (de $10,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $11,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Já Mukherjee et al. (2014) compararam as características físico-químicas de biocarvões de madeira e de gramíneas. Houve um aumento na CTC de $26,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (recém-fabricado) para $173 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (envelhecido), em média. A mudança pode ter sido causada pela oxidação de suas superfícies, onde mais grupos funcionais foram criados, aumentando a CTC.

El-naggar et al. (2018) e Igalavithana et al. (2017b) constataram que o efeito positivo do biocarvão na CTC do solo foi decorrência do alto teor de cinzas de alguns biocarvões utilizados nas pesquisas. Uzoma et al. (2011) relataram que à medida que a dose de aplicação aumentava, havia conjuntamente um aumento na CTC do solo.

Figura 5. 14 - Efeito da interação de tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a capacidade de troca de cátions (CTC calculada) em Argissolo, em Petrolina-PE

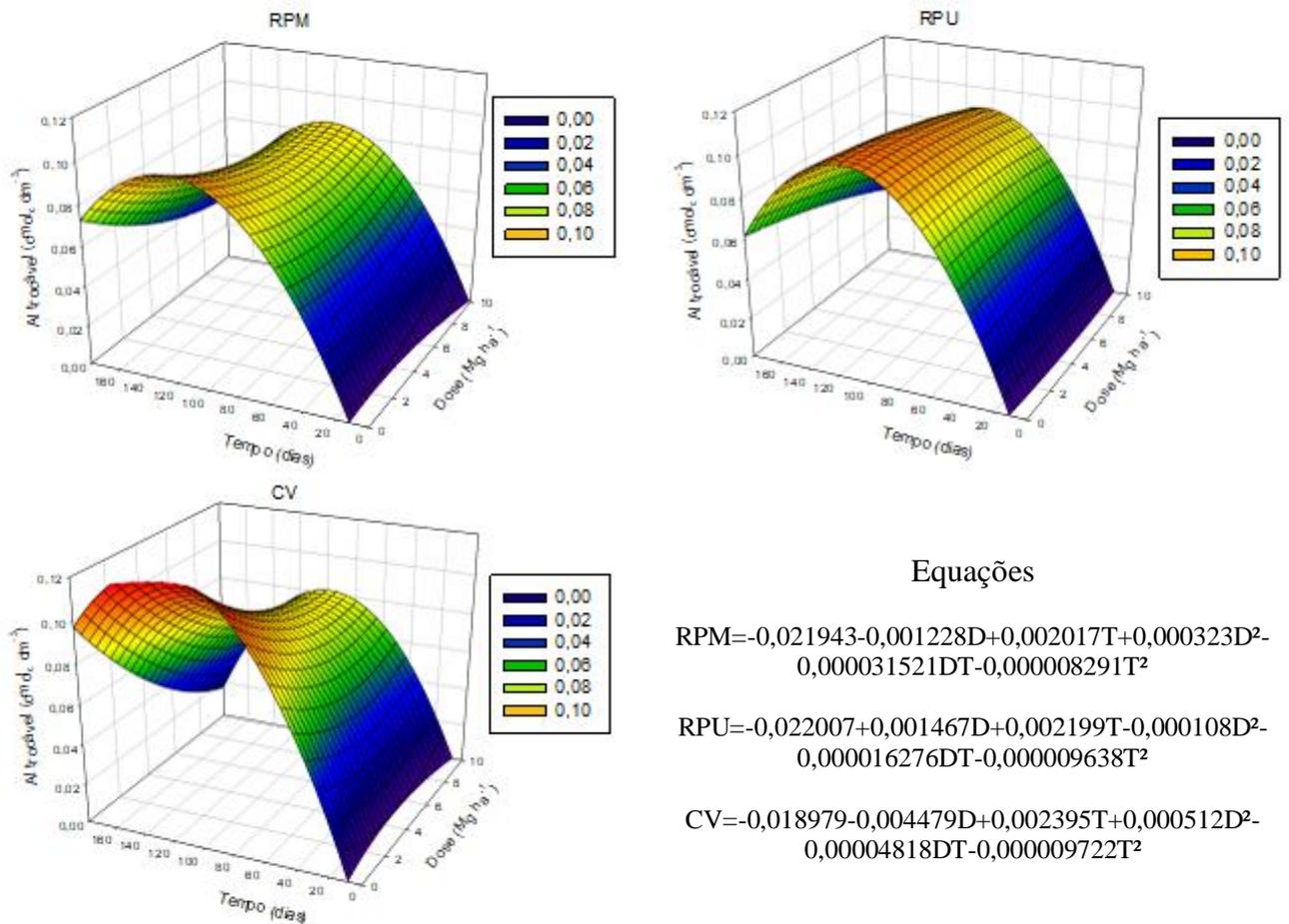


Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Os teores de Al trocável no solo apresentaram comportamento semelhante para os três biocarvões, com um ponto de sela ocorrendo em torno de 100 dias para RPM e CV e um ponto de máximo ocorrendo aos 115 dias para RPU.

Foi verificado por Yuan & Xu, (2011), que com a adição de 1% de biocarvão de restos culturais *Vigna radiata* L. ao solo reduz a concentração de Al^{+3} na solução do solo em 59%. Para Sousa & Miranda & Oliveira (2007), a redução do Al^{+3} é esperada porque, com a aplicação do biocarvão, ocorre a elevação do pH do solo. Com o pH o elevado, o Al^{+3} precipita-se na forma de oxihidróxidos, restando apenas os cátions básicos na forma trocável na solução do solo. Embora o maior valor de pH foi observado para o RPM, os menores teores de Al trocável foram observados em torno de 100 dias após o início da incubação para RPM e CV (0,08 para os dois materiais, valor obtido nas doses 7,16 e 9,10 Mg ha⁻¹, respectivamente) (Figura 5.15).

Figura 5. 15 - Efeito da interação de tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o teor de alumínio trocável em Argissolo, em Petrolina-PE

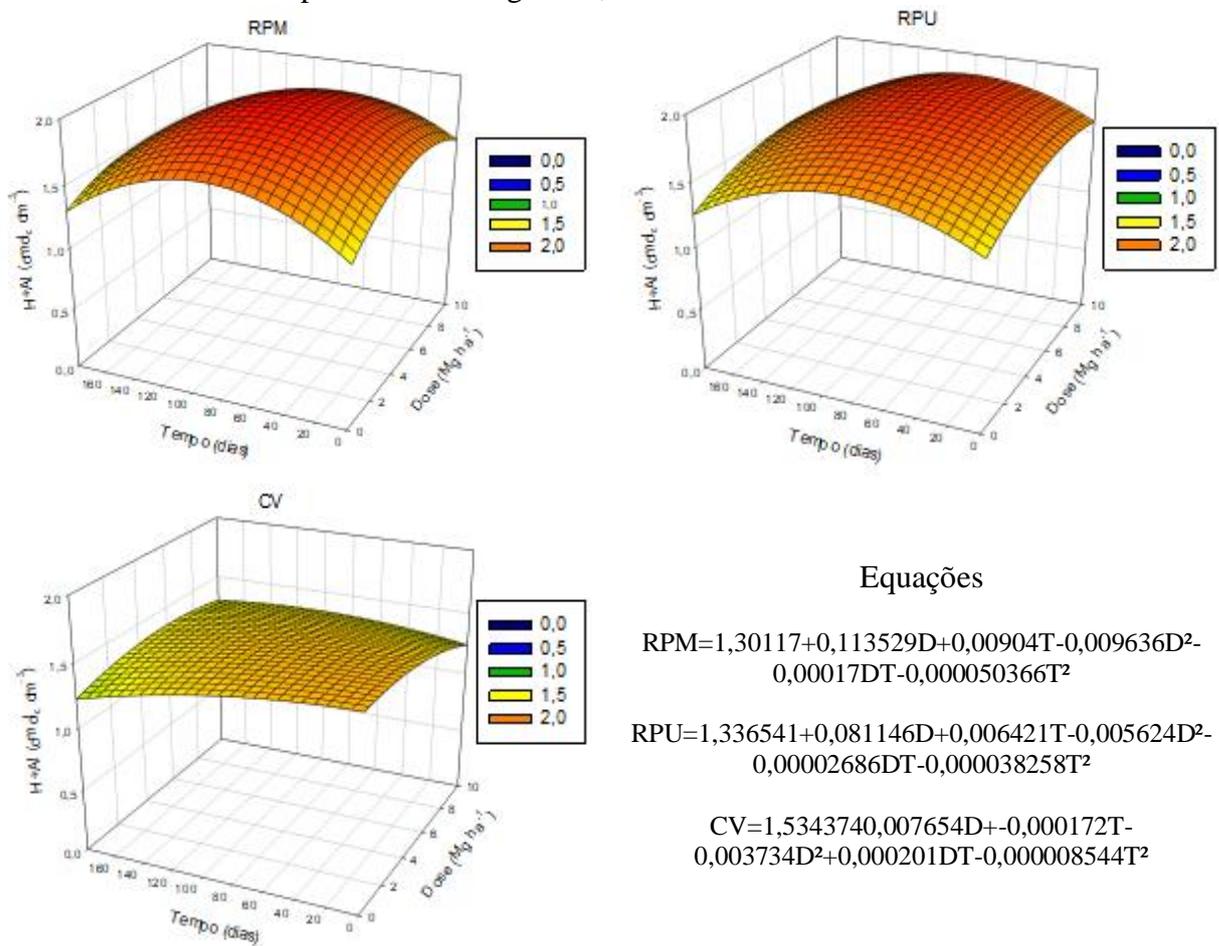


Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Por outro lado, com as maiores doses de biocarvão de CV e com o aumento do tempo de incubação ao solo, houve redução da acidez potencial, evidenciando o potencial corretivo desse biocarvão (Figura 5.16). Os biocarvões RPM e RPU apresentaram comportamento

semelhante para a acidez potencial do solo, com aumento inicial do teor de H+Al, seguido por uma redução a partir do 80º dia após a aplicação ao solo (Figura 5.16). Esse aumento da acidez potencial do solo não foi observado para o CV (ponto de máximo 1,54 cmol_c dm⁻³, estimado pelo modelo da Figura 16, enquanto o teor inicial no solo era de 1,56 cmol_c dm⁻³). O aumento na acidez potencial do solo nos primeiros dias após a aplicação dos biocarvãos RPM e RPU pode ser explicado pelo fato de que esses materiais foram produzidos a temperaturas menores que o CV (produzido com a finalidade energética e não de condicionador de solos), o que garante presença de maior quantidade de grupos funcionais no biocarvão.

Figura 5. 16 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a acidez potencial em Argissolo, em Petrolina-PE



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

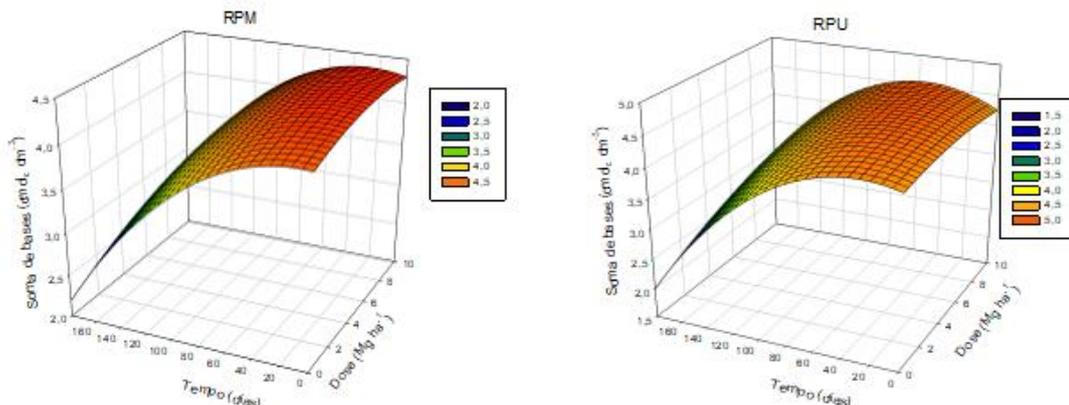
Segundo Silva (2016b), com aplicação das primeiras doses do biocarvão de serragem, são encontrados os maiores valores de H+Al, em relação ao tratamento controle. A acidez do solo é gerada também pelo processo de absorção iônica radicular, assim como a extração de cátions básicos. Por outro lado, com as maiores doses de biocarvão, há uma redução da acidez potencial, evidenciando o potencial corretivo do biocarvão, comportamento similar ao

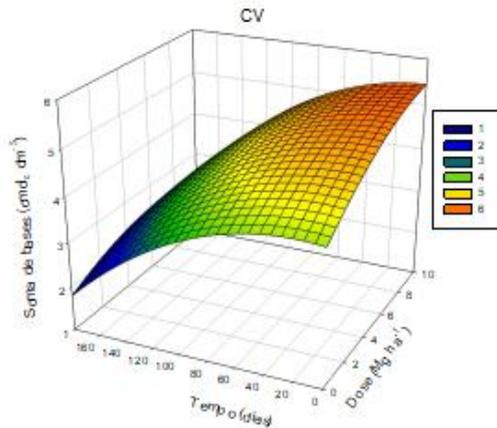
observado para os biocarvões RPM e RPU (Figura 5.16). Silva (2016a), trabalhando com biocarvões produzidos a partir de casca e de borra de café, observaram aumento na retenção de nutrientes e de água em um Latossolo em Garanhuns (PE) à medida que as doses de biocarvão aplicadas ao solo aumentaram. Esses resultados sugerem, portanto, aumento da CTC do solo em função da dose de biocarvão, embora não tenham sido feitas avaliações em diferentes intervalos de tempo de incubação ao solo.

Com relação à soma de bases, no presente trabalho, os maiores valores foram observados nas doses mais altas no início do experimento. O biocarvão que obteve o melhor desempenho foi CV com ponto de máximo 5,46, na dose 10,92 Mg ha⁻¹ (Figura 5.17). Esse comportamento de queda na soma de bases ao longo do tempo reflete o que também foi observado para os teores de K, Ca e Mg no solo, que foram reduzidos ao longo do período de estudo.

A saturação por bases (V%) no Argissolo apresentou comportamento similar ao observado para a soma de bases, com reduções ao longo do tempo de incubação ao solo. Na Figura 5.18, o melhor biocarvão para a saturação por bases (V%) foi o CV com ponto máximo de 87,97%, observado na dose 32,10 Mg ha⁻¹. Silva (2016b) avaliou as características agrônômicas de biocarvões (filtros de casca de arroz, serragem e restos de silagem de sorgo) em cinco níveis (0, 2,5%, 5% 7,5% e 10% v/v), em um Latossolo vermelho. Com a maior dose aplicada ao solo, a saturação por bases (V) foi elevada em 20, 36 e 45% para os biocarvões filtros de casca de arroz, serragem e restos de silagem de sorgo respectivamente, resultados que concordam com os observados na Figura 5.18. Silva (2016b) ainda conclui que os valores de V% obtidos nos tratamentos, estão relacionados aos que apresentaram valores superior de K⁺, Ca⁺² e Mg⁺² e, ao mesmo tempo, um maior valor de pH.

Figura 5. 17 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a Soma de Bases em Argissolo, em Petrolina-PE





Equações

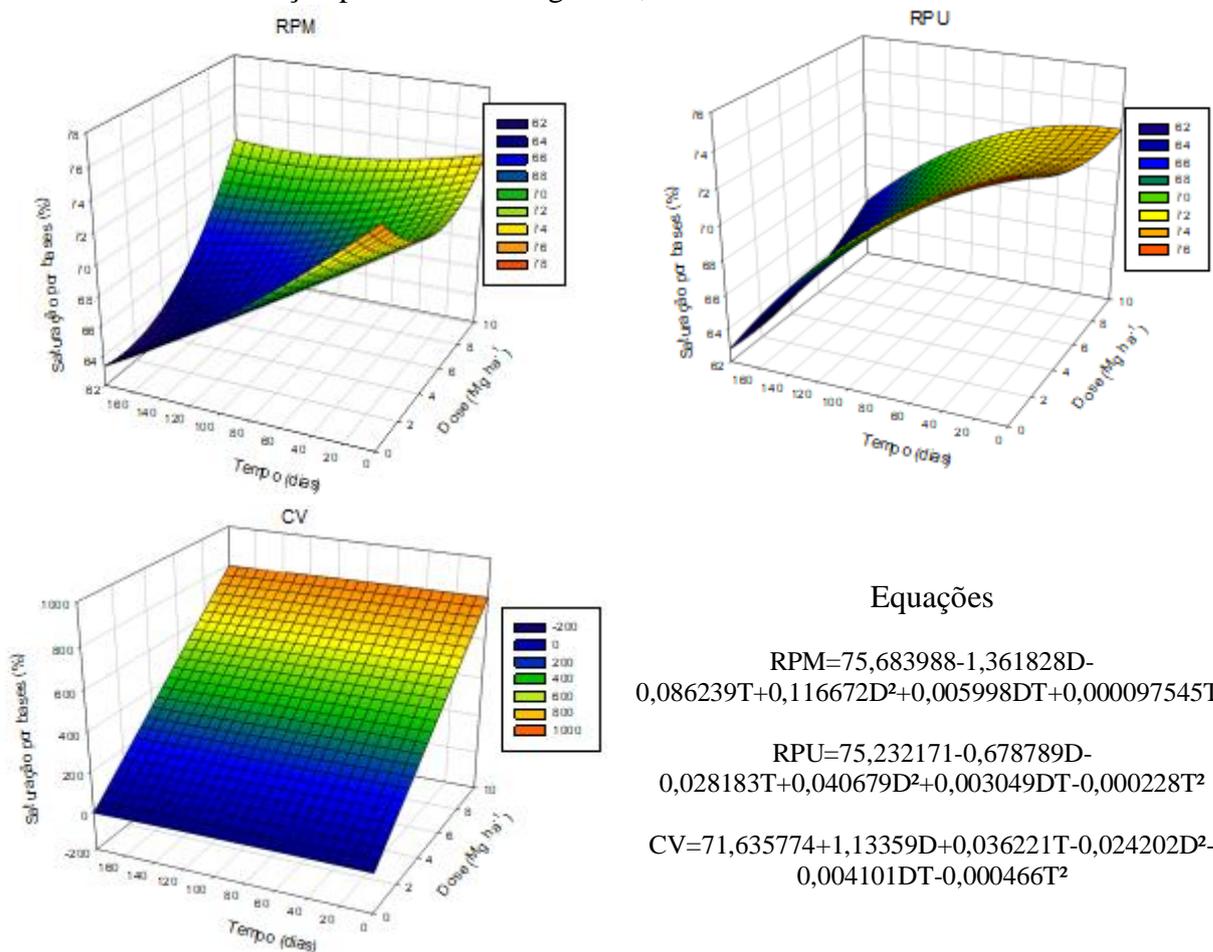
$$\text{RPM} = 4,180137 + 0,0547D + 0,001371T - 0,004302D^2 + 0,000256DT - 0,000069079T^2$$

$$\text{RPU} = 4,298804 + 0,035471D + 0,00608T - 0,004041D^2 + 0,000543DT - 0,000105T^2$$

$$\text{CV} = 4,0117760,267742D + 0,003912T + 0,012364D^2 - 0,000445DT - 0,000090109T^2$$

Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Figura 5. 18 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a saturação por bases em Argissolo, em Petrolina-PE



Equações

$$\text{RPM} = 75,683988 - 1,361828D - 0,086239T + 0,116672D^2 + 0,005998DT + 0,000097545T^2$$

$$\text{RPU} = 75,232171 - 0,678789D - 0,028183T + 0,040679D^2 + 0,003049DT - 0,000228T^2$$

$$\text{CV} = 71,635774 + 1,13359D + 0,036221T - 0,024202D^2 - 0,004101DT - 0,000466T^2$$

Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

5.3.2 VERTISSOLO

A adição dos biocarvões em Vertissolo alterou algumas características químicas do solo (Tabela 5.3), embora o solo já possua alguns atributos essenciais para a fertilidade.

As variáveis Al^{+3} , H+Al e V (%) não foram significativamente alteradas pelos tratamentos. Tal efeito pode ser decorrente do fato do Vertissolo já possuir pH 7,2 e acidez trocável e potencial nulas. Os elevados teores de nutrientes apresentados por esse solo, explicam o alto valor de saturação por bases (100%) observado nesse solo no início do experimento. Segundo Blanco-Canqui (2017), em solos de textura mais grossa, como o Argissolo, os benefícios da alteração do biocarvão são mais pronunciados do que em solos textura fina, como o Vertissolo em questão. Portanto, já é esperado que os solos arenosos sejam mais responsivos ao biocarvão do que os solos mais ricos em argila.

Tabela 5. 3 - Valor P de análise de variância para efeitos de tipo de biocarvão, doses de biocarvão, tempo de incubação e respectivas interações sobre atributos químicos do solo de Vertissolo em Juazeiro-BA

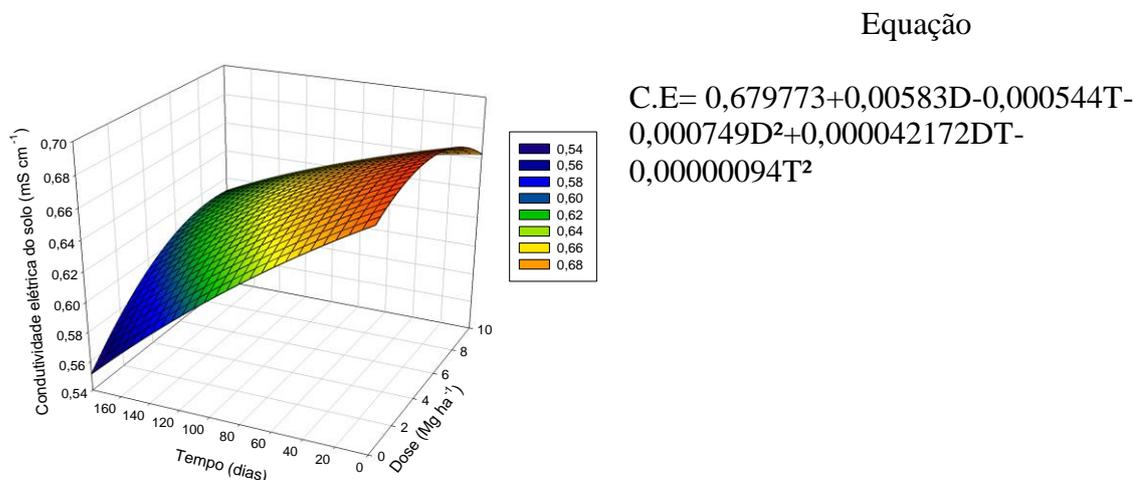
Fonte de Variação	C.E.	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V%
Biocarvão(B)	NS	0,0005	NS	NS	NS	0,0002	<0,0001	NS	NS	NS	NS	NS
Dose (D)	0,0393*	0,0002	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Tempo (T)	<0,0001	NS	NS	<0,0001	<0,0001	NS						
D x B	NS	NS	NS	NS	NS	0,0384*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
T x B	NS	NS	NS	NS	0,0002	0,0019	<0,0001	NS	NS	0,0049	0,0030	NS
D x T	0,0197*	0,0207*	NS	NS	NS	NS	0,0031	NS	NS	NS	NS	NS
D x T x B	NS	0,0068	NS	NS	0,0113*	0,0054	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = Não significativo; *Significativo a 5%; **Significativo a 1%**

C.E.: condutividade elétrica do solo; H+Al: acidez potencial; SB: Soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases

A condutividade elétrica do solo foi maior para as maiores doses de biocarvão e foi reduzida ao longo do tempo de incubação (Figura 5.19). Esse comportamento sugere que o biocarvão é fonte de sais para o solo e que, após a aplicação, esses sais foram lavados do perfil do solo, pois todos os sítios de troca do Vertissolo já estavam preenchidos por bases, uma vez que a saturação por bases no início do experimento era de 100%.

Figura 5. 19 - Efeito da interação de tempo de incubação e doses de biocarvão sobre a condutividade elétrica no Vertissolo, em Juazeiro-BA



Segundo Palansooriya et al. (2019), a aplicação de biocarvão de várias matérias-primas pode aumentar a mudança de 2% a 85% a C.E do solo. Esses autores mostram ainda que o biocarvão de serragem de pinho apresentou o maior aumento (>78%) na C.E do solo a uma taxa de aplicação de 45 Mg ha⁻¹. O biocarvão de capim nas doses 25, 50 e 100 Mg ha⁻¹ aumentaram a C.E do solo em 20%, 29% e 65%, respectivamente.

O pH do Vertissolo foi influenciado simultaneamente pelos três fatores (tipo de biocarvão, dose aplicada e tempo de incubação) (Figura 5.20). Os três biocarvões apresentaram comportamentos semelhantes, com aumento do pH do solo de 7,2 para um máximo de 7,7 (RPM) e 7,6 (CV e RPU), o que ocorreu em torno de 150 dias após a incubação.

Após oito semanas de avaliação Brewer et al. (2011) observaram que os biocarvões aumentaram o pH dos solos, e Streubel et al. (2011) obtiveram aumento do pH a partir quatro tipos de biocarvão em cinco tipos de solos, de 0,1 até 0,9 unidades para as doses de 9,8; 19,5; e 39,0 Mg ha⁻¹.

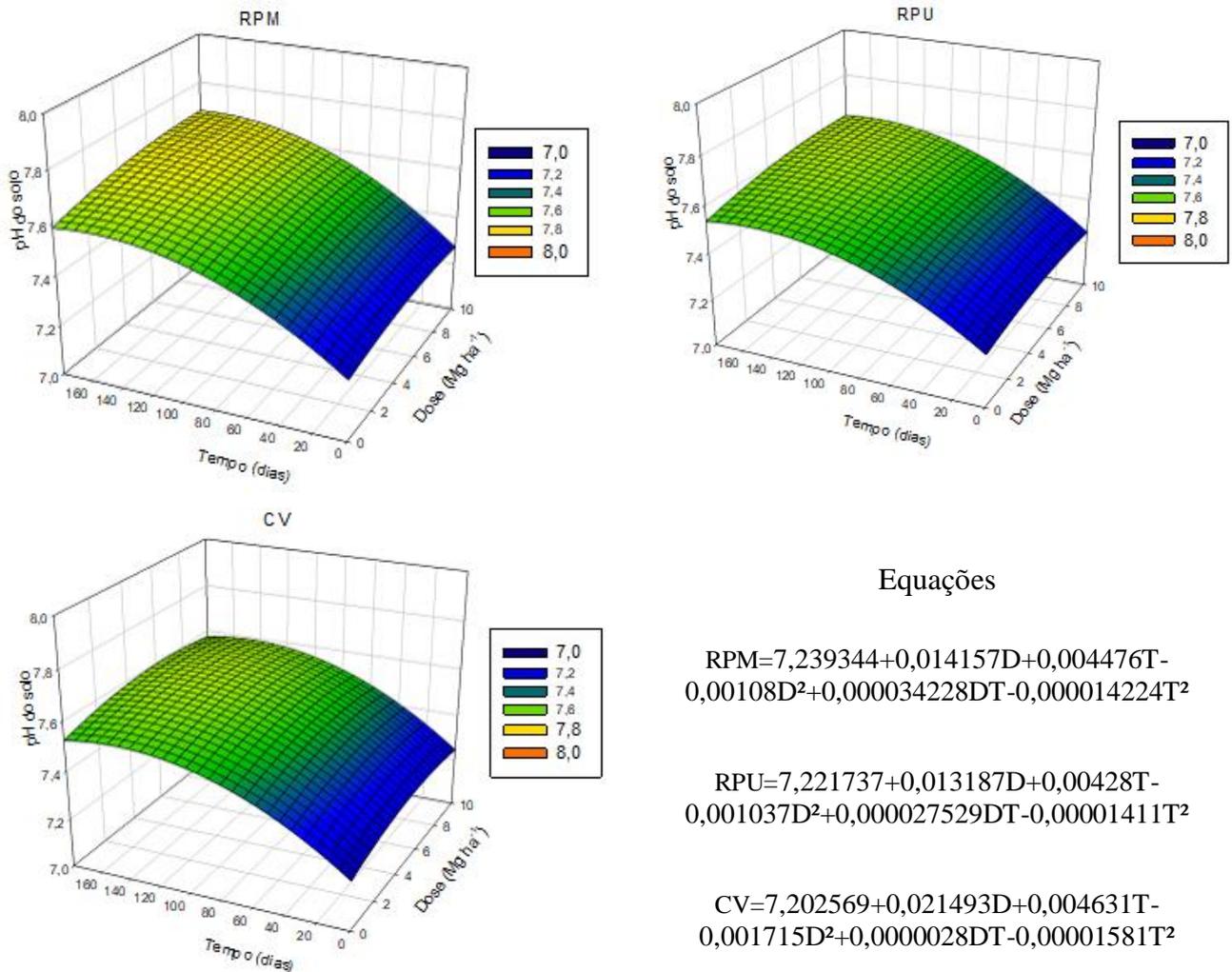
Em outro estudo, Silva et al. (2017) avaliaram o efeito do biocarvão sobre as propriedades do solo e sobre produção e nutrição de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Foram testados três tipos de biocarvão (filtros de casca de arroz, filtro de serragem e filtro de silagem de sorgo) em cinco doses de aplicação (0, 25, 50, 75 e 100 L m⁻³). Na dose maior dose (100 L m⁻³), os biocarvões aumentaram o pH do solo em 0,76, 1,17 e 1,68 unidades, respectivamente.

O aumento do pH do solo em função da adição de biocarvão relatado nos artigos citados concorda com os resultados observados na Figura 5.20, embora nesses trabalhos não tenha sido considerado o efeito do tempo de incubação dos biocarvões ao solo. Entretanto, como se observa na Figura 5.20, o aumento do pH em função do tempo de incubação é mais expressivo que o aumento em função da dose e ocorre de forma similar em todas as doses.

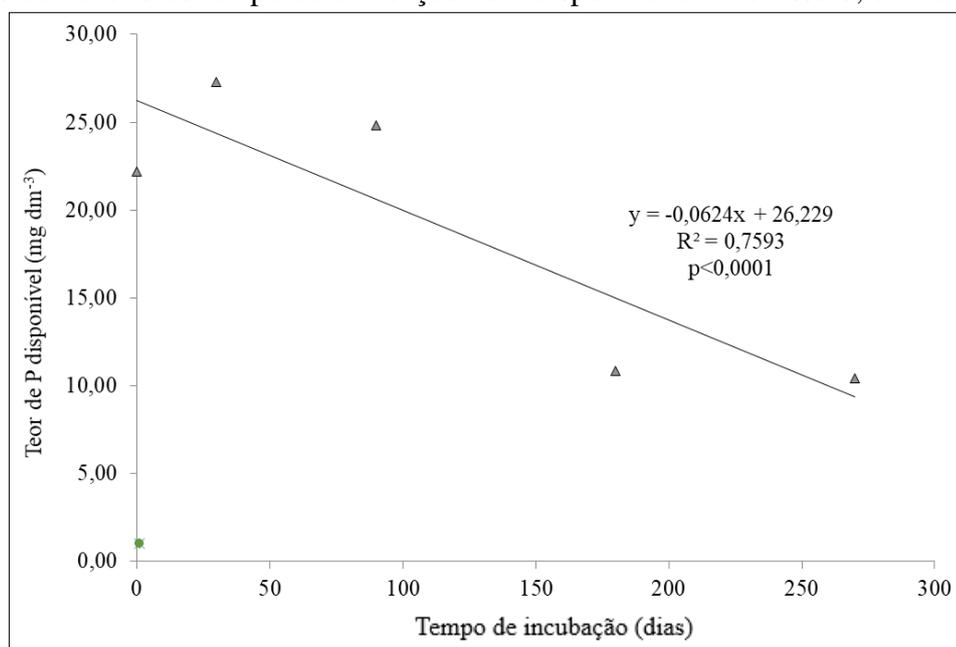
O teor de P disponível no Vertissolo apresentou efeito quanto ao tempo de incubação, com um declínio linear ao longo do tempo (Figura 5.21), independentemente do biocarvão empregado. Por outro lado, é possível também que o revolvimento do solo para implantação do experimento tenha alterado a distribuição entre P lábil e não lábil no solo.

Bhattacharjya et al. (2016) observaram que a aplicação de biocarvão de agulhas de pinheiro e Lantana resultou em aumento dos teores de N, P e K disponíveis no solo em diferentes intervalos, e aumentou o rendimento de grãos de trigo em 6,2–24,2%. Esse aumento está associado com a absorção mais eficiente de N e P pelos grãos e atividades enzimáticas do solo em função do uso do biocarvão. Para Petter & Madari (2012), houve o aumento de 17% na disponibilidade de P no solo para a dose aplicada de 32 Mg ha⁻¹ em relação ao controle.

Figura 5. 20 - Efeito da interação de tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão no pH em Vertissolo, em Juazeiro-BA



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

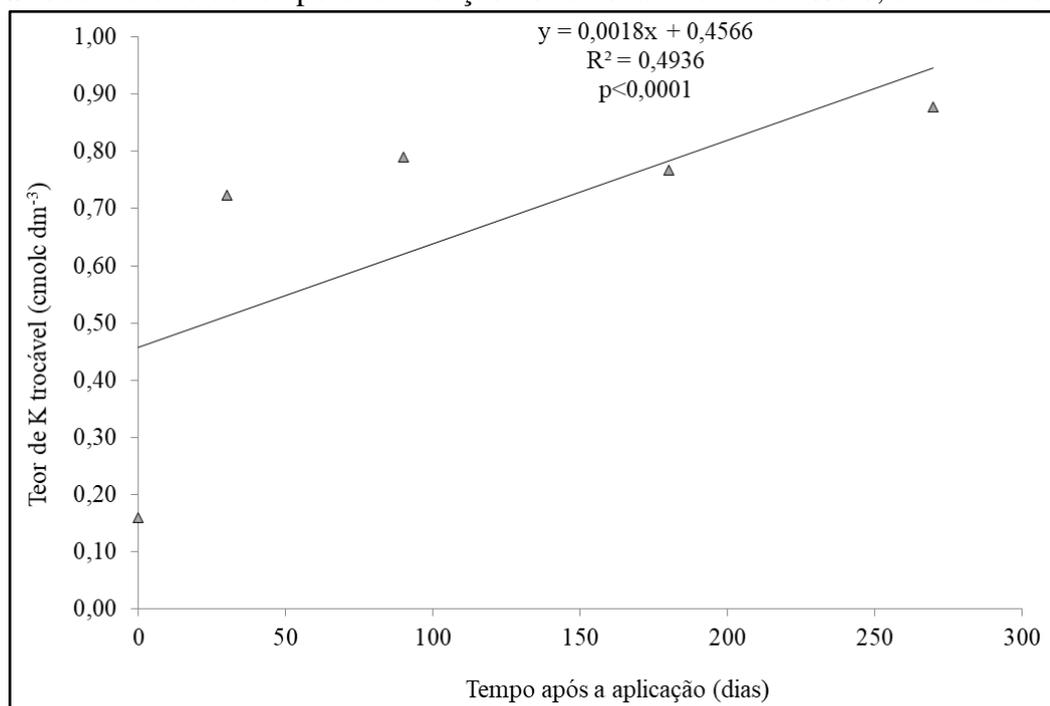
Figura 5. 21 - Efeito do tempo de incubação no P disponível em Vertissolo, em Juazeiro-BA

Apesar de vários relatos do efeito da dose de biocarvão sobre os teores de P disponível no solo, esse comportamento não foi observado no presente estudo, o que pode ser explicado pelo elevado teor inicial desse elemento no solo. Qualquer aumento proporcionado pelo biocarvão adicionado a esse Vertissolo, torna-se não significativo diante do teor inicial de 28,25 mg dm⁻³.

Jin et al. (2019) investigaram os efeitos do biocarvão de palha de trigo em sete doses de aplicação (0, 2,5, 5, 10, 20, 30 e 40 Mg ha) sobre as propriedades físico-químicas e microbianas do solo, ao longo de 5 anos. Os resultados mostraram que o biocarvão pode aumentar significativamente o pH, o fósforo disponível, o teor de carbono orgânico e a retenção de água no solo, porém, as influências do biocarvão nesses atributos declinaram com o decorrer do tempo.

Dentre as variáveis avaliadas, o teor de K trocável apresentou efeito apenas quanto ao tempo de incubação, com um aumento linear à medida em que aumentava o tempo de incubação (Figura 5.22).

Figura 5. 22 - Efeito do tempo de incubação no K trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA

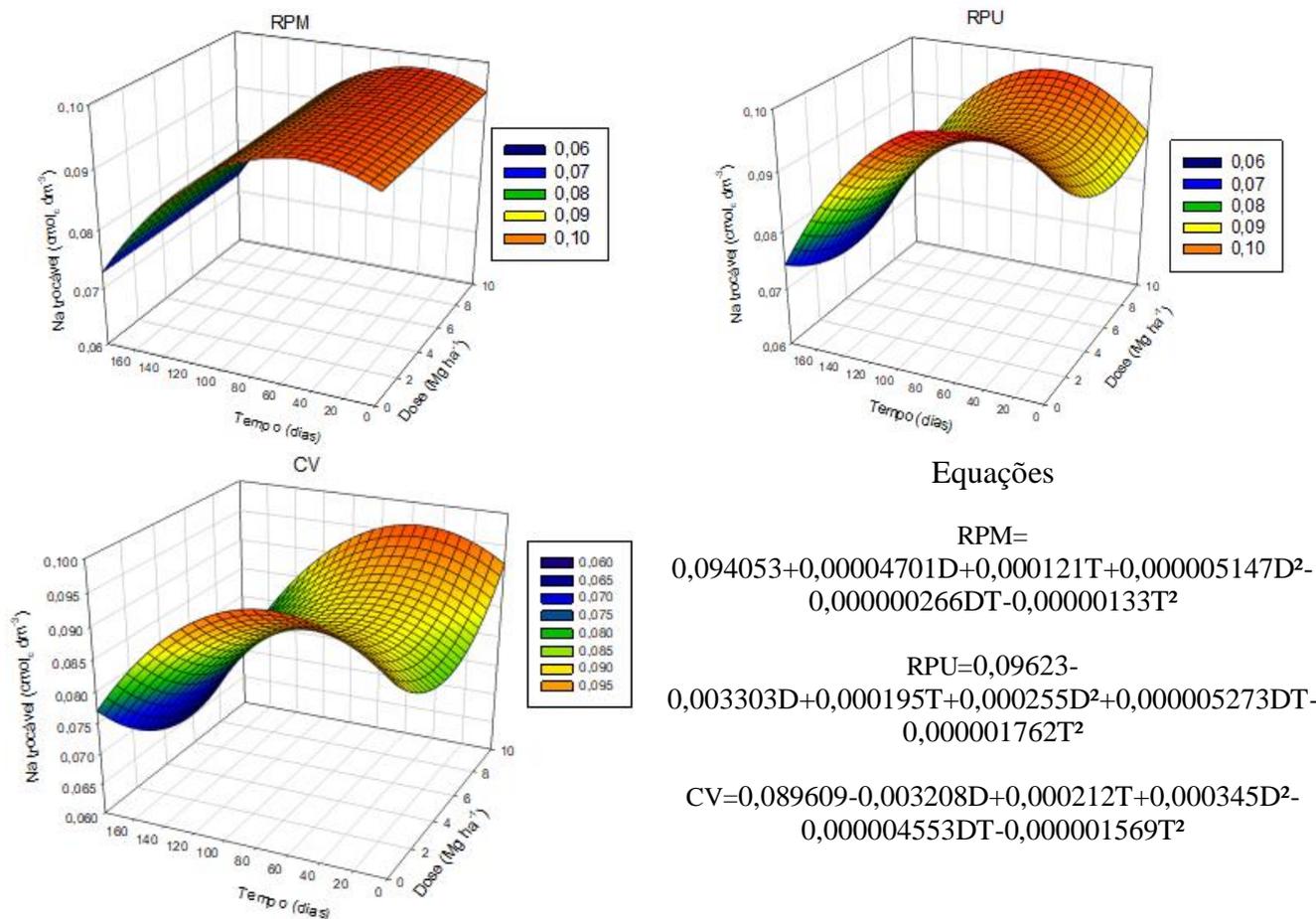


Quilliam et al. (2012) determinaram o efeito do tempo de incubação e dose de aplicação de biocarvão na qualidade do solo em um solo agrícola temperado. Em 2009 foram aplicadas ao solo as doses 0, 25 e 50 Mg ha⁻¹. Três anos após a primeira aplicação do biocarvão, as parcelas foram divididas e o biocarvão foi reaplicado, resultando em doses 25+25 e 50+50 Mg ha⁻¹. Para qualidade do solo, não houve efeito significativo para as doses 25 e 50 Mg ha⁻¹, mas para as parcelas que receberam a reaplicação do biocarvão teve um efeito significativo, aumentando os teores de fósforo, potássio, cálcio, C orgânico dissolvido, umidade do solo, matéria orgânica e C.E.

Os teores de Na trocável no solo apresentaram comportamento semelhante entre si para o tempo de incubação (Figura 5.23), com um aumento inicial, seguido por queda a partir dos 45 dias para RPM, 64 dias para RPU e 60 dias para CV. Esse comportamento está de acordo com o observado para a condutividade elétrica do Vertissolo (Figura 5.19). O efeito da dose de biocarvão sobre os teores de Na foi similar para RPU e CV, com redução inicial na disponibilidade deste elemento, seguida por aumento a partir das doses 5,81 e 5,04 Mg ha⁻¹ para RPU e CV, respectivamente.

Verheijen et al. (2010) afirmaram que os sais contidos no biocarvão representam uma fonte potencial de salinização do solo. A composição desses sais, entre os quais o Na⁺², na fração cinzas, depende da composição de sua matéria prima. Entretanto, esses autores, ressaltam também que não há estudos suficientes sobre a possibilidade das cinzas do biocarvão se tornarem solúveis e causarem a salinização do solo.

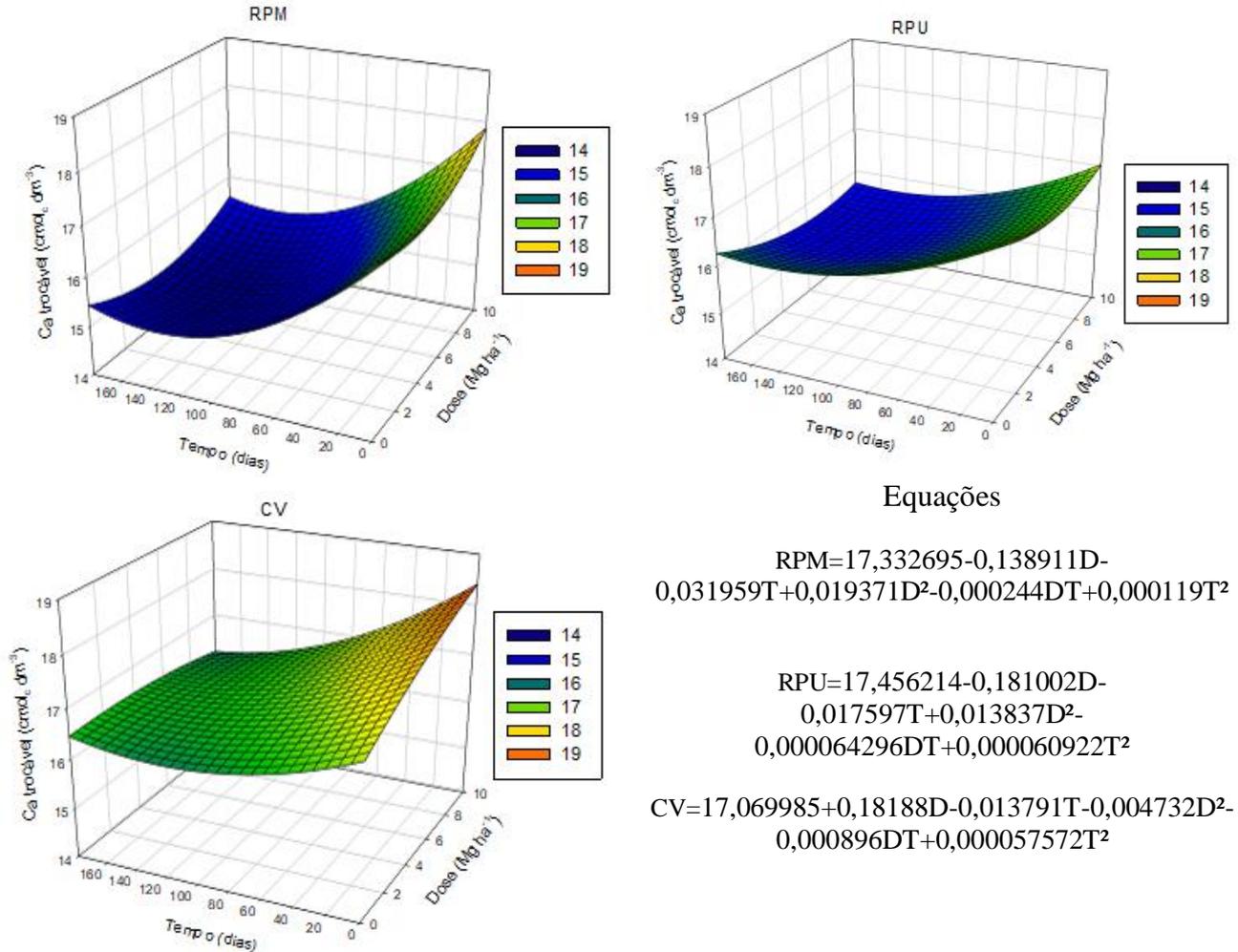
Figura 5. 23 - Efeito da interação de tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o sódio trocável em Vertissolo, Juazeiro-BA



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Os teores de cálcio aumentaram no solo em função do aumento da dose de biocarvão, para todas as fontes testadas, o que se deve ao fornecimento desse elemento pelos biocarvões, conforme apresentado na Tabela 5.1. Os biocarvões RPM e RPU apresentaram comportamento semelhante entre si para os teores de Ca trocável no solo, com redução significativa ao longo do tempo de incubação, atingindo ponto de mínimo aos 138 e aos 148 dias após a aplicação ao solo, respectivamente (Figura 5.24).

Figura 5. 24 - Efeito da interação tripla entre tipo de biocarvão, tempo de incubação e doses de biocarvão no Ca^{+2} trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA

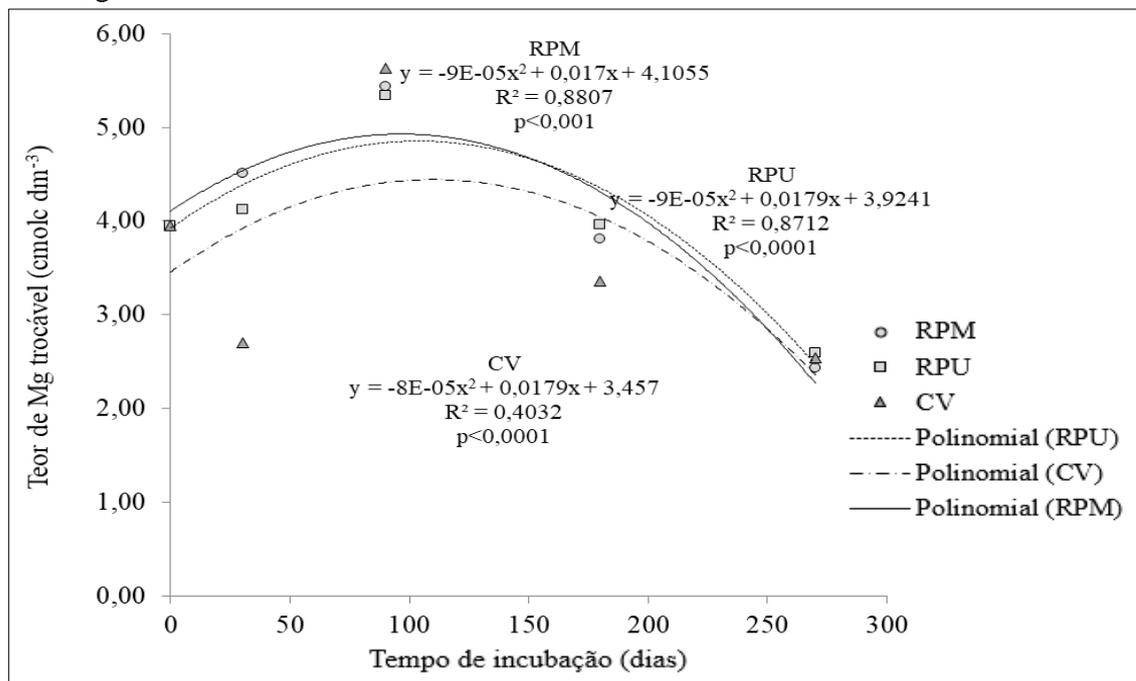


Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Petter & Madari (2012) afirmaram que a aplicação de biocarvão de eucalipto em doses de 8, 16 e 32 Mg ha^{-1} , afetou positivamente a fertilidade do solo, aumentando principalmente a disponibilidade de Ca, P, o pH e o carbono orgânico total dos solos. O aumento no teor de cálcio no solo foi observado na maior dose (32 Mg ha^{-1}) em relação ao controle no primeiro ano do experimento.

Os teores de Mg trocável no solo foram influenciados pelas interações entre tempo e tipo de biocarvão e entre dose e tempo. O teor de Mg aumentou inicialmente de forma polinomial com o tempo de incubação para os biocarvões do RPM ($R^2 = 0,8807$; $p < 0,0001$), RPU ($R^2 = 0,8712$; $p < 0,0001$) e CV ($R^2 = 0,4032$; $p < 0,0001$), conforme a Figura 5.25. Houve redução no teor de Mg trocável no solo a partir de 94 dias (99,44 dias para RPU, 111,88 dias CV e 94,44 dias para RPM) da aplicação dos biocarvões ao solo.

Figura 5. 25 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação sobre o teor de Mg trocável em Vertissolo, em Juazeiro-BA



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

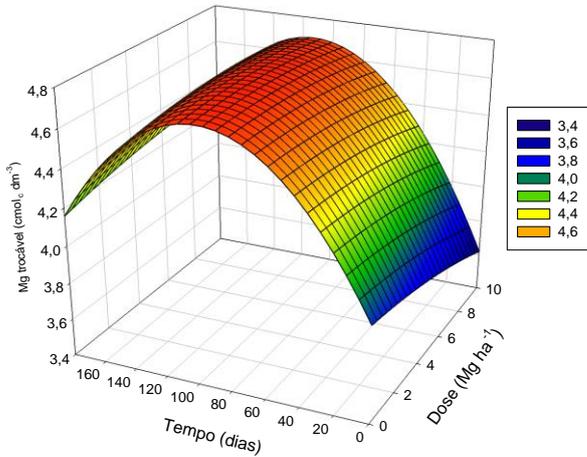
Chan et al. (2007) e Carvalho et al. (2013) observaram que a aplicação de doses elevadas de biocarvão proporcionou aumento nos teores de Mg^{+2} trocáveis no solo. Já Petter & Madari (2012) não verificaram efeito da adição de biocarvão sobre o teor de Mg^{+2} no primeiro ano do experimento. Para Melo (2016), a diminuição nos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) do solo pode ser atribuída aos deslocamentos dos mesmos dos sítios de troca para a solução do solo com consequente lixiviação pela água. Os comportamentos observados para os teores de Ca e Mg no presente estudo (Figuras 5.24 e 5.25) também podem ter sido resultado desses deslocamentos relatados por Melo (2016).

A teor de Mg trocável no Vertissolo também foi afetado pela interação entre dose e tempo de incubação do biocarvão no campo. Os dados foram apresentados em uma superfície de resposta, cujo ponto de máximo ocorreu na dose de $3,50 \text{ Mg ha}^{-1}$ e no tempo de 103,80 dias após a aplicação (Figura 5.26).

Silva et al. (2017) constataram que, além do pH, o K^{+1} , Ca^{+2} e Mg^{+2} aumentaram com o aumento das doses de biocarvão. O aumento do pH e do conteúdo de cátions trocáveis pode ser explicado pela presença de cinzas no biocarvão, que são ricas em óxidos e hidróxidos de metais alcalinos, que são facilmente dissolvidos e reagem com o solo aumentando assim o pH e disponibilizando nutrientes ao solo.

Figura 5. 26 - Efeito de tempo de incubação e doses de biocarvão sobre o teor de Mg trocável no Vertissolo, em Juazeiro-BA

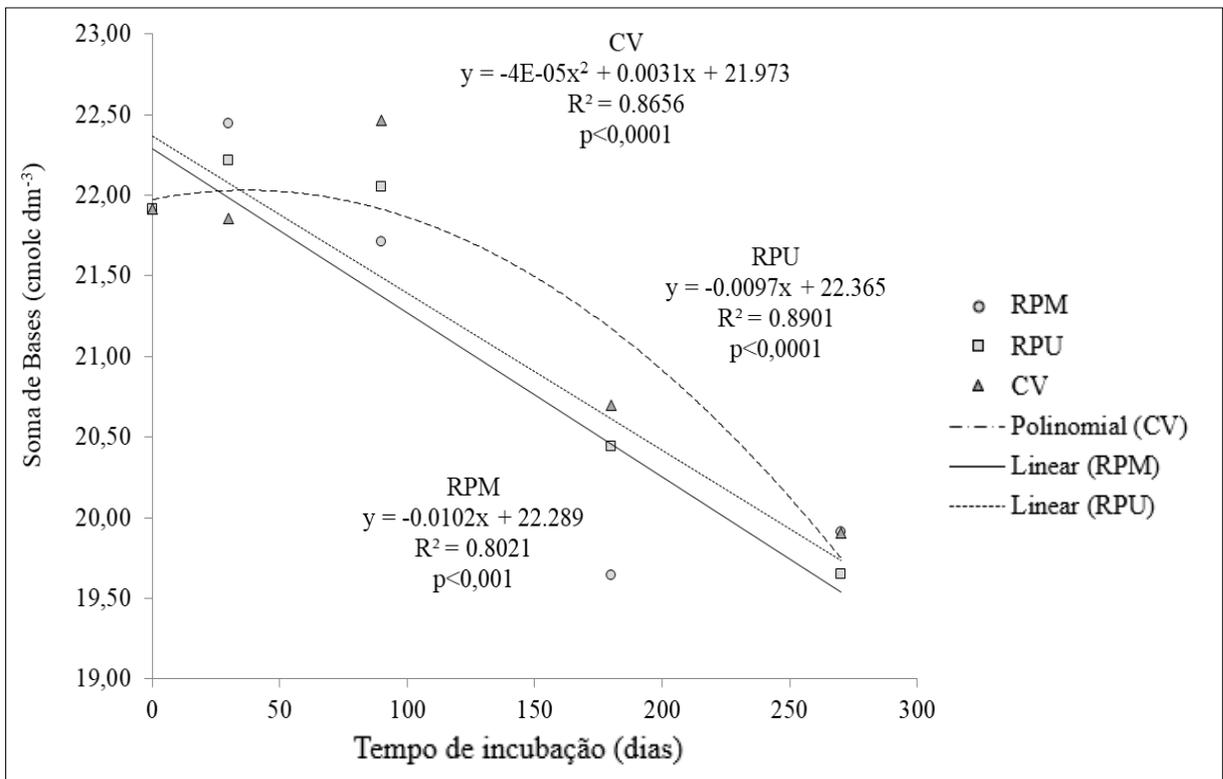
Equação



$$\text{Mg} = 3,916674 - 0,016225D + 0,016523T - 0,001336D^2 + 0,000248DT - 0,000084362T^2$$

Em trabalho com adição de três doses (3, 6 e 12 Mg ha⁻¹) biocarvão Trazzi (2014) verificou que, em geral, o biocarvão contribuiu para o aumento do pH, dos teores disponíveis de Ca, Mg, K e P e aumentou os índices de saturação por bases e a soma de bases, comparando ao controle, e diminuiu os teores de Al e a acidez potencial e a saturação por Al.

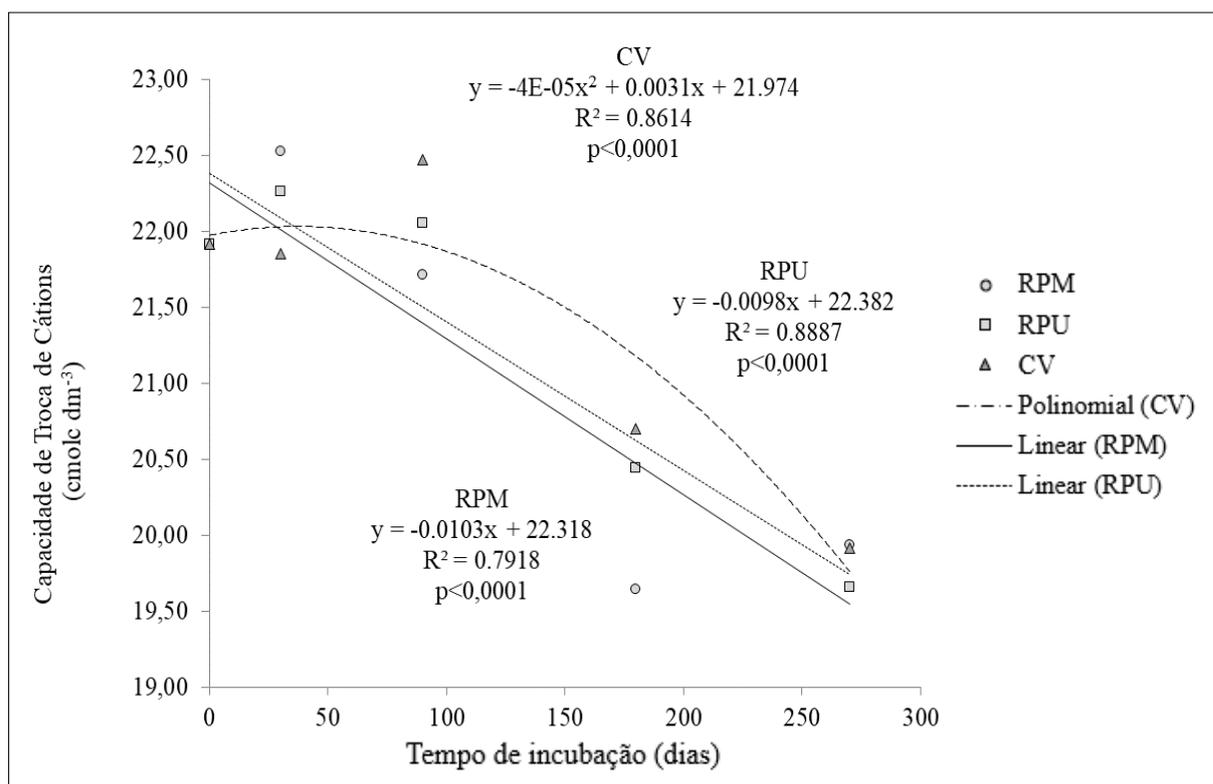
Figura 5. 27 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação na Soma de bases em Vertissolo, em Juazeiro-BA



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Houve para a CTC um comportamento linear decrescente para RPM e RPU em função da data de incubação. Já o CV apresentou um comportamento polinomial, onde o ponto de máxima CTC observado ($22,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ocorreu aos 38,75 dias após a aplicação do biocarvão ao solo.

Figura 5. 28 - Efeito da interação dupla entre tipo de biocarvão e tempo de incubação na Capacidade de Troca de Cátions em Vertissolo, em Juazeiro-BA.



Resíduo de poda de mangueira (RPM); Resíduo de processamento de uva (RPU); Carvão Vegetal (CV)

Laird et al. (2010) quantificaram o impacto do biocarvão na lixiviação de nutrientes vegetais após a aplicação de esterco suíno em um solo agrícola em Iowa. Esses autores observaram que o aumento na CTC do solo em função do uso de biocarvão gerava uma redução na lixiviação de nutrientes no perfil do solo, que aumenta a disponibilidade de nutrientes para as raízes.

No Delta do Rio Amarelo na China, Luo et al. (2017) exploraram o potencial da aplicação de biocarvão nas doses 0, 1,5, 5 e 10% (m/m) para melhorar as propriedades do solo. Houve um aumento de matéria orgânica do solo e CTC, a diminuição da quantidade de sódio trocável (Na) e porcentagem de sódio trocável.

A semelhança entre as Figuras 5.27 e 5.28 faz todo o sentido para o Vertissolo, já que todos sítios de troca estão ocupados por cátions básicos. Além disso, o comportamento decrescente observado para todos os biocarvões nas Figuras 5.27 e 5.28 está de acordo com a

redução dos teores de bases, com exceção do potássio, observados ao longo do tempo de incubação.

5.4 CONCLUSÕES

Para o Argissolo a aplicação do biocarvão no solo teve resultados significativos para diversos atributos do solo. Alguns destes, apresentaram algumas interações duplas (C.E, pH e P) e triplas (K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V) significativas entre os tratamentos. Para alguns elementos houve um comportamento de aumento inicial, seguido de um decréscimo ao longo do tempo de incubação.

O aumento das doses de biocarvões aumentou significativamente o pH do Argissolo ao longo do tempo de incubação. Também foram aumentados os teores de K e de Mg trocáveis no solo em função da dose dos biocarvões. O biocarvão oriundo do resíduo de processamento de uva (RPU) também aumentou de forma significativa os teores de Ca trocável no Argissolo.

Para o Vertissolo a aplicação do biocarvão no solo teve resultados significativos para alguns atributos do solo, pois o mesmo já possui alguns atributos essenciais para a fertilidade. De forma geral, apresentaram algumas interações duplas (C.E, Mg, SB e CTC) e triplas (pH, Na e Ca) significativas entre os tratamentos. Houve também alguns efeitos simples para o tempo de incubação no P e K.

O pH do Vertissolo teve um efeito menor das doses de biocarvão do que o observado para o Argissolo. Entretanto, os teores de Ca trocável também aumentaram em função da dose do biocarvão.

O tempo foi a variável que refletiu um maior efeito para os atributos químicos do solo avaliados nesse estudo. Portanto, os efeitos dos biocarvões sobre atributos químicos do solo dependem dos tipos de solo e de biocarvão em questão.

Apesar do carvão vegetal (CV) ter apresentando efeitos significativos para alguns atributos, os biocarvões oriundo do resíduo de processamento de uva (RPU) e resíduo de poda de mangueira (RPM) apresentaram, de maneira geral, o melhor desempenho dentre as fontes avaliadas nesse trabalho.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. E pela concessão de bolsa de mestrado cedida para a primeira autora. Ao CNPq (projeto 448.888/2014-9), à Embrapa Semiárido (projeto 03.13.06.012.00.00) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e

Tecnologia Ambiental para o Semiárido (PPGCTAS/UPE) pelo apoio às atividades de pesquisa.

5.5 REFERÊNCIAS

- ADEKIYA, A. O. et al. Effects of biochar and poultry manure on soil characteristics and the yield of radish. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 457–463, 2019.
- ALBURQUERQUE, J. A. et al. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n. 1, p. 16–25, 2014.
- BHATTACHARJYA, S. et al. Biochar and crop residue application to soil: Effect on soil biochemical properties, nutrient availability and yield of rice (*Oryza sativa* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 62, n. 8, p. 1095–1108, 2016.
- BLANCO-CANQUI, H. Biochar and Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, n. 4, p. 687, 2017.
- BREWER, C. E.; UNGER, R.; SCHMIDT-ROHR, K.; BROWN, R. C. Criteria to Select Biochars for Field Studies based on Biochar Chemical Properties. **Bioenergy Research**, v. 4, n. 4, p. 312–323, 2011.
- CARVALHO, M. T. DE M. et al. Biochar improves fertility of a clay soil in the Brazilian Savannah: Short term effects and impact on rice yield. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, v. 114, n. 2, p. 101–107, 2013.
- CHAN, K. Y. et al. Agronomic Values of Green Waste Biochar as a Soil Amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, p. 629–634, 2007.
- CHAVES, L. H. G. et al. Alterações na salinidade de solo com o uso de biocarvão. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'**, p. 1–5, 2018.
- DAI, Z. et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification - A critical review. **Science of the Total Environment**, v. 581–582, p. 601–611, 2017.
- DARI, B.; NAIR, V. D.; HARRIS, W. G.; NAIR, P. K. R.; SOLLENBERGER, L. .; MYLAVARAPU, R. Relative influence of soil- vs . biochar properties on soil phosphorus retention. **Geoderma**, v. 280, p. 82–87, 2016.
- EKEBAFE, M. O.; EKEBAFE, L. O.; MALIKI, M. Utilisation of biochar and superabsorbent polymers for soil amendment. **Science Progress**, v. 96, p. p.85-94, 2013.
- EL-NAGGAR, A. et al. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. **Geoderma**, v. 332, n. June, p. 100–108, 2018.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília, DF: v. 3, 2017.
- GONZAGA, M. I. S. et al. Pyrolysis methods impact biosolids-derived biochar composition, maize growth and nutrition. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 59–65, 2017.
- IGALAVITHANA, A. D. et al. Advances and future directions of biochar characterization methods and applications. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 23, p. 2275–2330, 2017a.

- IGALAVITHANA, A. D. et al. Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils. **Chemosphere**, v. 174, p. 593–603, 2017b.
- JIN, Z. et al. The crucial factors of soil fertility and rapeseed yield - A five year field trial with biochar addition in upland red soil, China. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 1467–1480, 2019.
- KALINKE, C. et al. Activated biochar: Preparation, characterization and electroanalytical application in an alternative strategy of nickel determination. **Analytica Chimica Acta**, v. 983, p. 103–111, 2017.
- KOOKANA, R. S.; SARMAH, A. K.; ZWIETEN, L. V.; KRULL, E. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. In: **Advances in Agronomy**. 1. ed. Elsevier Inc., 2011. v. 112p. 103–143.
- LAGHARI, M. et al. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. **Catena**, v. 135, p. 313–320, 2015.
- LAIRD, D. et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3–4, p. 436–442, 2010.
- LENTZ, R. D.; IPPOLITO, J. A. Biochar and Manure Affect Calcareous Soil and Corn Silage Nutrient Concentrations and Uptake. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, p. 1033–1043, 2012.
- LIMA, J. R. DE S.; SILVA, W. DE M.; MEDEIROS, E. V. DE; DUDA, G. P.; CORRÊA, M. M.; FILHO, A. P. M.; CLERMONT-DAUPHIN, C.; ANTONIO, A. C. D.; HAMMECKER, C. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. **Geoderma**, v. 319, p. 14–23, 2018.
- LUO, X.; LIU, G.; XIA, Y.; CHEN, L.; JIANG, Z.; ZHENG, H.; WANG, Z. Use of biochar-compost to improve properties and productivity of the degraded coastal soil in the Yellow River Delta, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 17, n. 3, p. 780–789, 2017.
- MELO, I. G. C. **Efeitos do carvão vegetal no solo e sobre cultivos de feijão- caupi em ambiente protegido**. Tese (Doutorado / Manejo de Solo e Água). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, RN., 2016.
- MOLNÁR, M. et al. Acidic sandy soil improvement with biochar — A microcosm study. **Science of the Total Environment**, v. 563–564, p. 855–865, 2016.
- MUKHERJEE, A. et al. Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging. **Solid Earth**, v. 5, p. 693–704, 2014.
- NELSON, N. O. et al. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. **Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 218–226, 2011.
- 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.
- PALANSOORIYA, K. N. et al. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 234, p. 52–64, 2019.
- PETTER, F. A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 761–768, 2012.

- QUILLIAM, R. S. et al. Nutrient dynamics, microbial growth and weed emergence in biochar amended soil are influenced by time since application and reapplication rate. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, p. 192–199, 2012.
- RABOIN, L. et al. Improving the fertility of tropical acid soils: Liming versus biochar application ? A long term comparison in the highlands of Madagascar. **Field Crops Research**, v. 199, p. 99–108, 2016.
- RINKLEBE, J.; SHAHEEN, S. M.; FROHNE, T. Amendment of biochar reduces the release of toxic elements under dynamic redox conditions in a contaminated floodplain soil. **Chemosphere**, v. 142, p. 41–47, 2016.
- SHAABAN, M. et al. A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. **Journal of Environmental Management**, v. 228, p. 429–440, 2018.
- SILVA, I. C. B. DA. **Atributos do solo e características agronômicas do feijoeiro adubado com biochar**. Dissertação (Mestrado / Produção Vegetal). Instituto de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016a.
- 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.
- SILVA, I. et al. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Sci. Agric.** v. 74, n. 5, p. 378–382, 2017.
- SONG, X. D.; XUE, X. Y.; CHEN, D. Z.; HE, P. J.; DAI, X. H. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. **Chemosphere**, v. 109, p. 213–220, 2014.
- SOUSA, D. M G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., BARROS, N. F. FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Sociedade ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 204–274, 2007.
- STREUBEL, J. D. et al. Influence of Contrasting Biochar Types on Five Soils at Increasing Rates of Application. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 4, p. 1402, 2011.
- SULIMAN, W. et al. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 139–147, 2017.
- TANG, X.; LIU, Y.; ZENG, G.; WANG, X.; HU, X.; GU, Y.; YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, p. 70–85, 2015.
- TANG, X. F.; LIU, Y. G.; GU, Y. L.; XU, Y.; ZENG, G. M.; HU, X. J.; LIU, S. B.; WANG, X.; LIU, S. M.; LI, J. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 212, p. 318–333, 2016.
- TRAZZI, P. A. **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** Tese (Doutorado / Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR., 2014.
- UZOMA, K. C. et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 2, p. 205–212, 2011.

VAN ZWIETN, L.; KIMBER, S.; MORRIS, S.; CHAN, K. Y.; DOWNIE, A.; RUST, J.; JOSEPH, S.; COWIE, A. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil**, v. 327, n. 1, p. 235–246, 2010.

VERHEIJEN, F.; JEFERY, S.; BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M.; DIAFAS, I. **Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions**. European Communities, Luxembourg. 2010.

WU, Y.; XU, G.; SHAO, H. B. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. **Solid Earth**, v. 5, p. 665–671, 2014.

YUAN, J.; XU, R.; ZHANG, H. Bioresource Technology The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 3488–3497, 2011.

YUAN, J. H.; XU, R. K. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. **Soil Use and Management**, v. 27, n. 1, p. 110–115, 2011.

ZHANG, R. et al. Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 321–329, 2017.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o trabalho realizado, foi possível observar que as alterações promovidas pelos biocarvões foram menos evidentes no Vertissolo que no Argissolo, tendo em vista que o Vertissolo já possuía características de maior fertilidade do solo. O tempo foi a variável que refletiu um maior efeito para os atributos. Os biocarvões oriundo do resíduo de processamento de uva (RPU) e resíduo de poda de mangueira (RPM) apresentaram o melhor desempenho dentre as fontes avaliadas para atributos químicos do solo.

O resíduo de processamento de uva (RPU) apresentou a maior capacidade de troca de cátions e, quando aplicado na dose de 6 Mg ha^{-1} , permitiu a obtenção do maior rendimento de biomassa de milho. O biocarvão produzido a partir de vegetação nativa da Caatinga não incrementa a produção de milho, comprovando então que não há necessidade de uso de matéria-prima nativa para produção do biocarvão.

APÊNDICE A – PRODUÇÃO DO BIOCARVÃO FORNO DE ALVENARIA 2017



APÊNDICE B – EXPERIMENTO BIOCARVÃO CAMPO EXPERIMENTAL CAATINGA 2017



APÊNDICE C –EXPERIMENTO BIOCARVÃO CAMPO EXPERIMENTAL MANDACARU 2017



APÊNDICE D – EXPERIMENTO BIOCARVÃO NO MILHO 2018

