



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

BIANCA DE ARAÚJO PRIMO

**USO DE CONDICIONADORES ORGÂNICO E INORGÂNICO NA QUALIDADE DE
SOLO ARENOSO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

FORTALEZA

2020

BIANCA DE ARAÚJO PRIMO

USO DE CONDICIONADORES ORGÂNICO E INORGÂNICO NA QUALIDADE DE
SOLO ARENOSO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientador: Profa. Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P951u Primo, Bianca de Araújo.
Uso de condicionadores orgânico e inorgânico na qualidade de solo arenoso do semiárido nordestino /
Bianca de Araújo Primo. – 2020.
48 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação
em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar.
1. Adição de argila . 2. Disponibilidade de nutrientes. 3. Indicadores biológicos. 4. Atividade microbiana.
5. Manejo do solo. I. Título.

CDD 577

BIANCA DE ARAÚJO PRIMO

USO DE CONDICIONADORES ORGÂNICO E INORGÂNICO NA QUALIDADE DE
SOLO ARENOSO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Aprovada em: 28/04/2020.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria Eugenia Ortiz Escobar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Teogenes Senna de Oliveira
Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família, e a todas as mulheres
que ousam perseguir seus sonhos.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela oportunidade de viver, e de compartilhar esta jornada com pessoas amadas, neste planeta incrível.

Agradeço aos meus pais, Antonio Carlos e Lane, pelo total amor, suporte e apoio durante toda minha vida. Também aos meus avós (*in memoriam*) Jovina, José, Osvaldo e, em especial, à minha avó materna Lanera, pelo amor e dedicação com os quais criou suas filhas e netas, e que assim como minha mãe, inspirou minha trajetória materna e profissional.

À minha querida irmã Neyla, pelo amor compartilhado, pelas lições que aprendemos e ensinamos, e por sua fé.

Aos meus três filhos, Vinícius, Bruna e Íris, por me apresentarem o amor incondicional, iluminarem meus dias e me tornarem uma pessoa melhor, bem como à minha sobrinha Vitória, pela diversão e amizade que traz a mim e a seus primos.

Ao Fábio Neves e ao Jefferson Portela, por acreditarem em mim.

À Profa. Dra. Maria Eugênia Ortiz Escobar pelo acolhimento, pelos ensinamentos e pela inspiração enquanto mulher que batalha por seu espaço, cuja postura se refletirá na minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos da turma de 2018.1 do PPGERN, com quem tive o prazer de ingressar no mestrado, compartilhando risos, angústias e crescimento. Em especial aos amigos do Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMAB), pelas orientações, pelo companheirismo e humor para encarar os momentos difíceis.

Aos amigos que fiz no Departamento de Ciências do Solo, que me orientaram nos momentos mais complicados. Em especial aos amigos do grupo de pesquisa em Qualidade do Solo e Química Ambiental (QSQA), Luis Felipe, Carlos, Thais, Mateus e Luan por toda ajuda e paciência, e aos queridos Yan e Lucas, por serem meus braços e pernas quando minha cabeça já não dava conta, Ruan e Giovani, pelo apoio na execução do experimento. Sem vocês, eu não estaria aqui.

Aos laboratoristas D. Fátima e Crisanto do lab.de Química do Solo, à Deyse do lab.de Manejo de Solo, ao Franzé do lab.de Física do Solo, e ao técnico Antônio José, da FUNCEME, pelos ensinamentos, pela cooperação e amizade. Aos professores que contribuíram para a minha formação até aqui, instigando a curiosidade, o raciocínio e o prazer em aprender. Em especial, àqueles que me orientaram durante esse processo, prof. Ricardo Espíndola, prof. Claudivan Lacerda, prof. Paulo Mendes e prof. Carlos Tadeu.

Aos amigos que a vida me trouxe por meio do projeto PIPA, bem como dos outros projetos do Instituto Verdeluz, que me acenderam a esperança por pessoas e dias melhores.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Solos de regiões semiáridas são naturalmente pobres em matéria orgânica (MO), condição agravada pelo predomínio de textura arenosa, pela escassez hídrica e pelo manejo inadequado. A adição de argila e MO como condicionadores do solo pode promover modificações nos atributos indicadores da sua qualidade, pela associação aos componentes minerais e aos exsudatos de organismos. Portanto, para avaliar os efeitos da adição de argila e de MO na qualidade de solo arenoso do semiárido brasileiro, sob parâmetros físicos, químicos e biológicos, foi conduzido um experimento em casa de vegetação por 75 dias, testando quatro teores de argila (10, 15, 26 e 31%), por meio da sua incorporação direta ao solo arenoso e da mistura de horizontes, na ausência e presença de composto orgânico (22,5g). Os solos foram caracterizados quanto aos seus atributos físicos, químicos e biológicos no final do experimento. Nos parâmetros biológicos, foram utilizadas plantas de sorgo forrageiro para avaliações biométricas e da composição mineral, além de avaliação da atividade microbiana (RBS, CBMS e qCO_2). Os resultados mostraram diferenças significativas na microporosidade e porosidade total; a capacidade de campo e ponto de murcha permanente correlacionaram-se linearmente com teores de argila e adição de composto (R^2 0,99 e 0,96, respectivamente); a acidez do solo (pH, H+Al e Al^{3+}) foi afetada significativamente pelos teores de argila e presença de composto; houve diminuição da CE, SB, CTC efetiva e total, CO, N e micronutrientes. O sorgo obteve maiores valores dos atributos biométricos sob adição de composto, e maiores teores de nutrientes em sua ausência. A atividade microbiana não apresentou diferenças significativas quanto aos teores de argila ou presença de composto. A análise de componentes principais apresentou correlação positiva entre a maioria dos atributos físico-químicos do solo e biométricos do sorgo aos maiores teores de argila. A análise de agrupamento correlacionou o tratamento com mistura de horizontes e composto (26%) ao desempenho dos solos com menor teor de argila (10%), e o tratamento com incorporação direta de argila (15%) aos solos com maior teor de argila (31%). Assim, a incorporação direta de argila no solo foi mais eficiente que a mistura de horizontes, particularmente associada ao composto, apresentando potencial como condicionadores do solo diante das pressões naturais e antrópicas no semiárido.

Palavras-chave: Adição de argila. Disponibilidade de nutrientes. Indicadores biológicos. Atividade microbiana. Manejo do solo.

ABSTRACT

Soils in semiarid regions are naturally deficient in organic matter (OM), a condition aggravated by the predominance of sandy texture, water scarcity, and inadequate management. The addition of clay and OM as soil conditioners can promote changes in the attributes that indicate their quality by associating with mineral components and exudates from organisms. Therefore, to evaluate the effects of adding clay and OM on the quality of sandy soil in the Brazilian semiarid region, under physical, chemical and biological parameters, we carried out an experiment in a greenhouse for 75 days, testing four clay contents (10, 15, 26 and 31%), through its direct incorporation into the sandy soil and the mixture of horizons, in the absence and presence of organic compost (22.5g). The soils were characterized as to their physical, chemical, and biological attributes at the end of the experiment. For biological parameters, forage sorghum plants were used for biometric and mineral composition assessments, in addition to assessing microbial activity (RBS, CBMS, and qCO_2). The results showed significant differences in microporosity and total porosity; field capacity and permanent wilt point correlated linearly with clay content and addition of compound (R^2 0.99 and 0.96, respectively); soil acidity (pH, H+Al and Al^{3+}) was significantly affected by clay content and the presence of compost; there was a decrease in EC, SB, effective and total CEC, OC, N and micronutrients. Sorghum obtained higher values of biometric attributes when adding compost and higher levels of nutrients in its absence. The microbial activity did not show significant differences in terms of clay content or the presence of compost. The principal component analysis showed a positive correlation between most of the soil physicochemical and biometric attributes of sorghum with the highest clay content. The cluster analysis correlated the treatment with a mixture of horizons and compost (26%) to the performance of the soils with the lowest clay content (10%), and the treatment with direct incorporation of clay (15%) to the soils with the highest clay content (31%). Thus, the direct incorporation of clay in the soil was more efficient than the mixture of horizons, particularly associated with the compost, presenting potential as soil conditioners in the face of natural and anthropic pressures in the semiarid

Keywords: Clay addition. Nutrient availability. Biological indicators. Microbial activity. Soil management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de obtenção de argila e silte a partir do solo S2 para montagem do S4.....	18
Figura 2 – Microporosidade na ausência e presença de composto (I) e capacidade de campo e ponto de murcha permanente na presença de composto (II) em solo arenoso sob diferentes teores de argila.....	26
Figura 3 – Acidez potencial (A), CTC total (B) e acidez trocável (C) na ausência de composto sob diferentes teores de argila.....	26
Figura 4 – Médias, erro padrão e significância estatística de atributos biométricos de sorgo forrageiro quanto aos teores de argila, na ausência e presença de composto orgânico.....	30
Figura 5 – Médias e erro padrão da respiração basal do solo (RBS) acumulada em sete leituras, C da biomassa do solo (CBMS) e quociente metabólico (qCO_2) na ausência e presença de composto em solos arenosos sob influência de diferentes teores de argila.....	33
Figura 6 – Análise de Componentes Principais (CP1xCP2) para os atributos edáficos e biológicos dos tratamentos sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.....	35
Figura 7 – Análise de Componentes Principais (C3xCP1) para os atributos edáficos e biológicos dos tratamentos sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.....	36
Figura 8 – Dendrograma da Análise de Agrupamento dos tratamentos com solos arenosos, sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição dos tratamentos (teores de argila com e sem adição de composto) de acordo com os solos coletados (S1 e S3) e montados (S2 e S4).....	19
Tabela 2 – Caracterização química do composto orgânico (húmus de minhoca).....	19
Tabela 3 – Caracterização química dos solos coletados em Pacajus S1 (0-30cm) e S2 (0-30/30-60cm), no Pici S3(30-60cm) e do solo montado S4 (adição direta de argila em S1).....	22
Tabela 4 – Matriz de correlação de Pearson para atributos físico-químicos do solo, biométricos e minerais do sorgo forrageiro, sob diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DCS	Departamento de Ciências do Solo
UFC	Universidade Federal do Ceará
ACP	Análise de Componente Principal
ANOVA	Análise de variância
ASE	Área de superfície específica
CBM	Carbono da biomassa microbiana
CC	Capacidade de campo
CE	Condutividade elétrica
COS	Carbono orgânico do solo
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca catiônica
Dens	Densidade
GEE	Gases do efeito estufa
MAC	macroporosidade
MIC	Microporosidade
MO	Matéria orgânica
Np	Nitrogênio da planta
Ns	Nitrogênio do solo
PMP	Ponto de murcha permanente
Pp	Fósforo da planta
Ps	Fósforo do solo
PT	Porosidade total
QS	Qualidade do solo
RBS	Respiração basal do solo
SB	Soma de bases trocáveis
SPAD	<i>Soil Plant. Analysis Development</i>
TFSA	Terra fina seca ao ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1	Localização da área de estudo, coleta e preparo das amostras de solo	17
2.2	Delineamento experimental e implantação do experimento	18
2.3	<i>Análises laboratoriais e acompanhamento do experimento</i>	20
2.3.1	<i>Caracterização química e física dos solos ao início do experimento</i>	20
2.3.2	<i>Análises das plantas de sorgo forrageiro durante o experimento</i>	21
2.3.3	<i>Determinação nutricional e biomassa aérea do sorgo forrageiro ao final do experimento</i>	23
2.4	Análises do solo ao final do experimento	23
2.4.1	<i>Caracterização físico-química do solo</i>	23
2.4.2	<i>Determinação da atividade microbiana do solo</i>	24
2.5	Análises estatísticas	24
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1	Análise do solo	25
3.1.1	<i>Caracterização física do solo</i>	25
3.1.2	<i>Caracterização química do solo</i>	27
3.2	Análise do sorgo forrageiro	29
3.2.1	<i>Atributos biométricos e minerais</i>	29
3.3	Análise da atividade microbiana	33
3.4	Análise multivariada dos atributos do solo, do sorgo e da atividade microbiana	34
4	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS	44
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS	45
	APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE MICRONUTRIENTES DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS	46
	APÊNDICE D - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE ATRIBUTOS BIOMÉTRICOS E MINERAIS DE SORGO FORRAGEIRO DOS	

TRATAMENTOS	47
ANEXO A – DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DE SOLO DE PACAJUS.....	48
ANEXO B – DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DE SOLO DO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA DA UFC.	49
ANEXO C– MEDIDAS FISIOLÓGICAS COLETADAS DO SORGO FORRAGEIRO COM ANALISADOR DE GÁS INFRAVERMELHO.....	50

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo (QS) e dos seus serviços resulta da interação de fatores intrínsecos e extrínsecos, como a sua estrutura, a biodiversidade, as condições climáticas e o manejo agrícola (ADHIKARI; HARTEMINK, 2016; ZORNOZA *et al.*, 2015). Para fins de monitoramento, a matéria orgânica do solo (MO) e sua agregação física, por meio da densidade e porosidade do solo, se destacam como atributos indicadores da QS, devido às interações que mantêm com componentes minerais, particularmente as argilas, e componentes biológicos. Estas interações resultam em propriedades que favorecem a retenção de água e de nutrientes, estimulando a microbiota e a cobertura vegetal, que por sua vez, contribuem para a estabilização física e química do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Os resíduos orgânicos, oriundos dos seres vivos e da sua decomposição, contribuem na formação da MO, além da adição de exsudatos no solo, resultantes dos processos biológicos, que liberam N para as plantas e C lábil para a microbiota (COLEMAN; ZHANG; FU, 2014). Além da contribuição biológica, a composição e textura do solo são relevantes na dinâmica do carbono orgânico do solo (COS), visto que partículas de areia têm ligações fracas com o COS, enquanto silte e argila ligam-se mais fortemente e por mais tempo. Isso se deve a características como maiores capacidade de troca catiônica (CTC) e área de superfície específica (ASE) das argilas, tornando-as mais reativas, especialmente diante de sua diversidade mineralógica (SINGH *et al.*, 2017). O COS é protegido da ação decompositora da microbiota pela formação de barreiras químicas e físicas com as argilas, formando complexos organo-minerais ou pela sua oclusão no interior de agregados (BLANCO-MOURE *et al.*, 2016; HAN *et al.*, 2016; RAKHSH *et al.*, 2017; TAHIR; MARSCHNER, 2017; WINCK *et al.*, 2014).

Os solos de regiões áridas e semiáridas, que naturalmente são submetidos a períodos de seca, têm grande vulnerabilidade pela limitação hídrica e por seus baixos teores de MO, o que aumenta as emissões de gases do efeito estufa (GEE), prejudica a agregação do solo e sua estabilidade, favorecendo a erosão, a lixiviação de nutrientes e a baixa capacidade de retenção hídrica. Este conjunto de fatores demanda o uso de irrigação, promovendo um consumo exacerbado de água pela agricultura e agravando o risco da escassez hídrica, especialmente em regiões onde esse recurso é limitante (RAMANKUTTY *et al.*, 2018; VELDKAMP *et al.*, 2015).

Traoré *et al.* (2015) observaram redução no COS e na MO em áreas degradadas pelo manejo inadequado, agravando a QS sob condições climáticas extremas, na África

Ocidental. No Brasil, Giongo *et al.* (2018) descreveram as características limitantes do semiárido nordestino, como a precipitação em baixa quantidade e mal distribuída no tempo, além das altas temperaturas e da variação dos tipos de solo, alertando para a baixa produtividade de solos arenosos e pobres em carbono. De acordo com Vieira *et al.* (2015), o semiárido nordestino brasileiro está entre as regiões com solos mais vulneráveis e, diante das mudanças climáticas e das projeções de intensificação da aridez, demandam a gestão racional do solo para a mitigação dos fatores que aumentem sua vulnerabilidade.

Estudos têm mostrado que a adição de argila ao solo, superficialmente ou pela inversão de horizontes argilosos mais profundos de um perfil de solo, pode contribuir para a maior disponibilização de cargas, diminuição da lixiviação de nutrientes e melhora da retenção hídrica (SHI, MARSCHNER, 2013; TAHIR, MARSCHNER, 2016). Ortega *et al.* (2020) obtiveram aumento da fertilidade de solo degradado, com adição de diferentes tipos de zeolite e corretivos orgânicos, associada à restauração com plantas nativas. Grover *et al.* (2020) encontraram menor emissão de CO₂ em campo, 15 anos após a adição de caulinita. Em regiões semiáridas carentes de estratégias de manejo que estimulem a QS de forma permanente, diante das constantes limitações ambientais, a argila e a MO adicionadas atuam como condicionadoras do solo, promovendo modificações duradouras nos seus atributos e aumentando sua resiliência diante das pressões naturais e antrópicas, como a diminuição do uso de substâncias químicas corretivas, pela natural disponibilidade da argila no solo.

Esta pesquisa partiu da premissa de que a matéria orgânica e a argila modificam os atributos físicos e químicos do solo. Devido à sua elevada capacidade de troca catiônica, sua área de superfície específica e sua influência na porosidade, podem levar à melhoria da retenção hídrica e da adsorção de nutrientes. Estas condições favorecem a disponibilidade de nutrientes e água para plantas, além de fornecerem C e N para a biomassa microbiana.

Assim, a pesquisa teve por objetivo avaliar a influência da adição de argila e matéria orgânica, isoladamente e em interação, sobre o sistema solo-planta-microbiota, por meio de duas estratégias de adição de argila, permitindo melhor compreensão dos efeitos de condicionadores orgânico e inorgânico sobre os componentes do solo, além de propor alternativas para incrementar sua qualidade diante das pressões ambientais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo, coleta e preparo das amostras de solo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciências do Solo (DCS) do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada nas coordenadas geográficas (3°45'47"S; 38°31'23"W). O clima da região é classificado como tropical quente, com temperatura média anual de 27°C e precipitação média anual de 1600 mm, sendo caracterizado como tipo Aw', segundo Köppen (AGUIAR *et al.*, 2001).

Foram coletadas amostras de solos em duas localidades. Inicialmente, foram retiradas amostras de um Argissolo Amarelo Eutrófico típico (FREITAS, 2010) (ANEXO A), no município de Pacajus, Ceará, na profundidade de 0-30 cm (S1) e 30-60 cm. Parte das coletas de cada horizonte foi misturada, simulando a inversão de horizonte mais argiloso sobre um mais arenoso (S2). O segundo ponto de coleta foi também em um Argissolo Vermelho- Amarelo Eutrófico típico (VIEIRA, 2013) (ANEXO B), do Laboratório de Hidráulica do Campus do Pici, da UFC, na profundidade de 30-60 cm (S3).

Após coletadas, as amostras foram encaminhadas para o Departamento de Ciências do Solo, da UFC, onde foram secas, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Foi realizada a caracterização granulométrica, sendo a separação da fração areia por peneiramento e argila pelo método da pipeta (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Os teores de argila obtidos dos três solos corresponderam a 10%, 26% e 31%, respectivamente.

Com base nessa granulometria, foram extraídos 4 kg de argila+silte de cerca de 30 kg de solo S2 (26% de argila), por meio da sua lavagem em peneira de malha 0,053 mm. A água da lavagem, contendo argila+silte, foi recolhida em bandejas de plástico para secagem ao ar livre. Após evaporação, o conteúdo foi pesado, destorroado e armazenado. Um quarto solo foi montado (S4), misturando 0,3kg da argila recolhida desta lavagem com 3 kg do solo S1(10%), processo apresentado na Figura 1. Foi realizada a granulometria do solo S4, o qual apresentou 15% de argila. Assim, foram utilizados solos com quatro teores de argila:10%, 15%, 26% e 31%.

Figura 1 – Processo de obtenção de argila e silte a partir do solo S2 para montagem do solo S4.



Em 1, observa-se a lavagem do solo em peneira de 0,053mm. Em 2 e 3, a argila resultante da evaporação da água da lavagem. Em seguida, a argila foi pesada (4), destorroada (5) e adicionada ao solo S1 (6), para homogeneização e obtenção do solo S4. Fonte: elaborada pela autora, 2020.

2.2 Delineamento experimental e implantação do experimento

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com esquema fatorial 4x2 (4 teores de argila x ausência e presença de composto orgânico), totalizando 8 tratamentos, distribuídos em 64 vasos de 3kg. Os tratamentos 10SC, 15SC, 26SC e 31SC foram montados em vasos contendo 10, 15, 26 e 31% de argila, respectivamente, sem adição de composto orgânico. Já os tratamentos 10CC, 15CC, 26CC e 31CC foram montados com os mesmos teores de argila, mas acrescidos de 22,5g de composto orgânico (Tabela 1), dose correspondente a 15t.ha⁻¹ de esterco para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*[L.] Moench) em solo arenoso, segundo orientação do manual de “Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará” (AQUINO *et al.*, 1993). O composto orgânico, à base de húmus de minhoca, foi adquirido da Horta Didática, do Departamento de Fitotecnia da UFC, cuja caracterização se encontra na Tabela 2.

Durante 20 dias, os solos passaram por ciclos de umedecimento com 300 mL.dia⁻¹ de água destilada por capilaridade, mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo, obtida pela diferença de peso final e inicial de amostras de 50g de solo, de cada tratamento, que foram umedecidas com 50 mL de água.

Tabela 1- Distribuição dos tratamentos (teores de argila com e sem adição de composto) de acordo com os solos coletados (S1 e S3) e montados (S2 e S4).

Solos coletados /montados	Tratamentos
S1- coleta de Pacajus (0-30 cm)	• 10SC
	• 10CC
S2- coleta de Pacajus (0-30 e 30-60 cm)	▪ 26SC
	▪ 26CC
S3- coleta do Pici (30-60 cm)	○ 31SC
	○ 31CC
S4- coleta de Pacajus (0-30 cm + argila)	❖ 15SC
	❖ 15CC

Valores à direita são referentes ao teor de argila no solo. SC= sem adição de composto orgânico, CC= com adição de composto orgânico (22,5g). Fonte: elaborada pela autora, 2020.

A água retida em cada amostra de solo compôs uma média, que foi dividida pela média das massas de solo e multiplicada por 100, para encontrar a capacidade de campo média dos tratamentos, em porcentagem de água por g de solo. Durante o umedecimento dos vasos, manteve-se aproximadamente 70% da capacidade de campo média por pesagem.

Após esse período, foram plantadas 6 sementes de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*[L.] Moench) por vaso, adquiridas do banco de Sementes do Departamento de Fitotecnia da UFC. O desbaste foi feito após 20 dias do plantio, deixando-se três plantas por vaso, que passaram por irrigação diária com água destilada, em quantidade próxima à capacidade de campo.

Tabela 2– Caracterização química do composto orgânico (húmus de minhoca)

	g.kg⁻¹		cmolc.kg⁻¹		mg.kg⁻¹
CO	97,81	Ca	4,88	Cu	13,69
MO	186,62	Mg	3,12	Fe	615,33
N	12,37	Na	0,36	Zn	130,39
P	4,69	K	0,71	Mn	111,78

Fonte: elaboração da autora, 2020.

2.3 Análises laboratoriais e acompanhamento do experimento

2.3.1 Caracterização química e física dos solos ao início do experimento

Os solos das coletas passaram por caracterização química (pH, condutividade elétrica, fósforo disponível, cátions trocáveis, acidez potencial, soma de bases trocáveis, CTC efetiva, CTC total, porcentagem de saturação por bases e carbono orgânico) e análise granulométrica. Todas as análises seguiram as metodologias descritas por Teixeira *et al* (2017).

O pH foi determinado potenciométricamente em água destilada, utilizando-se uma relação solo: líquido na proporção de 1:2,5 e a condutividade elétrica foi determinada utilizando o extrato de saturação, por meio de condutivímetro com escala de leitura direta em dS m^{-1} a 25 °C.

Os teores de Ca, Mg, Na e K foram extraídos agitando 12,5 g de TFSA em 125 mL de solução de acetato de amônio 1N, com pH ajustado a 7,0, durante 15 minutos, seguido de filtração. Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e Na e K por fotometria de chama.

Os teores de P foram extraídos agitando 5 g de TFSA em 50 mL de solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N) durante 15 minutos em agitador mecânico. Após filtração e adição de solução ácida de molibdato de amônio diluída, ácido ascórbico em pó e agitação e descanso, realizou-se as leituras em fotocolorímetro.

Os teores de Fe, Cu, Zn e Mn foram extraídos agitando 10 g de TFSA em 50 mL da solução de Mehlich 1 durante 15 minutos em agitador mecânico. Em seguida o extrato foi filtrado e realizada a leitura em espectrofotometria de absorção atômica.

A acidez potencial (H + Al), foi extraída agitando-se 10 g de TFSA em 150 mL de solução de acetato de cálcio com pH ajustado a 7,0. Após a agitação e adição de fenolftaleína a 3%, foi realizada titulação com solução de NaOH 0,0606 N.

A soma de bases trocáveis (SB) foi obtida pelo somatório dos teores de Ca, Mg, Na e K, em cmolc.kg^{-1} . O alumínio trocável foi extraído agitando 2,5 g de TFSA em 50 mL de solução de cloreto de potássio. Após agitação e a adição de azul de bromotimol, foi realizada titulação com solução de NaOH 0,025 N.

A CTC efetiva (Valor t) correspondeu à soma das quantidades trocáveis dos cátions Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ e Al³⁺ determinadas anteriormente (SB + Al³⁺).

A CTC total (Valor T) foi determinada pela soma de SB e a acidez potencial (Valor T= SB + (H⁺+ Al³⁺))

A porcentagem de saturação por bases (Valor V) foi obtida por meio da equação:

$$\text{Valor V\%} = \frac{100 \times \text{SB}}{\text{Valor T}} \quad (1)$$

O teor de carbono orgânico foi determinado por oxidação da matéria orgânica do solo com dicromato de potássio 0,4 N (K₂Cr₇O₇) em presença de ácido sulfúrico (H₂SO₄). Para os solos com composto orgânico foram pesados 0,25 g de TFSA, e para os solos sem composto orgânico foram pesados 0,5 g de TFSA, que após aquecimento em chapa, teve adição de 80 mL de água destilada, 2 mL de ácido fosfórico P.A (H₃PO₄) e 3 gotas de difenilamina ((C₆H₅)₂NH), seguido de titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂.6H₂O). A matéria orgânica do solo foi calculada através da equação:

$$\text{MO (g.kg}^{-1}\text{)} = \text{C (g.kg}^{-1}\text{)} * 1,72 \quad (2)$$

Os resultados das análises químicas dos solos coletados encontram-se na Tabela 3.

2.3.2 Análises do sorgo forrageiro durante o experimento

Aos 35 e 75 dias após o plantio foram realizadas medições do comprimento e diâmetro do caule, bem como do comprimento e da largura da maior folha para o cálculo da área foliar, seguindo o cálculo proposto por Mokhtarpour *et al.* (2010)

$$\text{AF} = (0,75 * \text{C} * \text{L}) * (\text{NF}) \quad (3)$$

Onde AF= área foliar; C= comprimento da folha; L= largura da folha; NF= número de folhas abertas.

Na mesma frequência foi mensurado o índice relativo de clorofila, por meio de medidor de clorofila SPAD 502 (Minolta, Osaka, Japan), sendo duas por vaso, com quatro leituras por folha, em duas folhas por planta, totalizando 16 leituras por vaso.

Tabela 3 – Caracterização química dos solos coletados em Pacajus S1 (0-30cm) e S2 (0-30/30-60cm), no Pici S3(30-60cm) e do solo montado S4 (adição direta de argila em S1).

	pH	CE*	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	P	CO	MO	t	T	H+Al	Al	V
Solos	água	dS.m ⁻¹cmol _c .kg ⁻¹mg.kg ⁻¹g.kg ⁻¹cmol _c .kg ⁻¹				%
Solo1	3,9	0,0013	0,21	0,20	0,06	0,08	0,10	0,23	10,55	0,43	1,66	0,94	1,62	0,74	4,34	3,80	0,20	73,0
Solo2	3,7	0,0011	0,40	0,19	0,06	0,06	0,28	0,28	4,48	0,60	1,23	0,47	0,81	1,91	6,11	5,40	1,20	37,3
Solo3	5,0	0,0012	1,95	1,40	0,06	0,14	0,16	0,32	4,53	0,51	3,94	4,74	8,17	3,68	7,76	4,20	0,12	96,7
Solo4	4,9	0,0037	0,11	0,73	0,18	0,13	0,12	0,25	8,65	0,47	-	0,53	0,92	2,15	2,65	1,50	1,00	53,6

* Condutividade elétrica no extrato de saturação.

2.3.3 Determinação de nutrientes e biomassa aérea ao final do experimento

Ao final do experimento, foi realizada a coleta da parte aérea, que passou por estufa de circulação forçada a 65°C para secagem, até atingir umidade constante, para determinação da biomassa seca da parte aérea. Em seguida, folhas e colmos foram moídos em moinho tipo Willey, para a realização da digestão ácida do material conforme Mendonça e Matos (2005). Determinou-se o teor de N por meio de destilação e titulação de extrato digerido por solubilização sulfúrica, em bloco digestor com temperatura gradativamente ajustada a 350°C. Após adição de solução de H₃BO₃ e 10 mL de NaOH 10M, ocorreu a destilação em Kjeldahl, com posterior titulação com solução de H₂SO₄ 0,01M, até a mudança da cor para rosa.

Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinados via digestão seca. O material vegetal foi incinerado em mufla elétrica, sob temperatura de 500°C, e as cinzas diluídas em 25 mL de HCl 1N, com leitura por espectrofotometria de absorção atômica (SILVA, 2009), com exceção do P, que foi determinado por fotolorimetria.

2.4 Análises do solo ao final do experimento

2.4.1 Caracterização físico-química do solo

Ao final do experimento, os solos foram caracterizados quanto aos atributos físicos (densidade, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, retenção de água sob tensões de 33kPa e 1500kPa) e químicos (pH, condutividade elétrica, fósforo disponível, cátions trocáveis, acidez potencial, soma de bases trocáveis, CTC efetiva, CTC total e porcentagem de saturação por bases) segundo Teixeira *et al.* (2017), como foi descrito no item 2.3.1.

Contudo, o carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio em bloco digestor, com posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2M, segundo Mendonça e Matos (2005).

O teor de N foi determinado por meio de destilação e titulação de extrato digerido por solubilização sulfúrica, em bloco digestor com temperatura gradativamente ajustada a 350°C. Após a destilação em Kjeldahl, ocorreu a titulação do digerido com solução de H₂SO₄ 0,01M, até a mudança da cor para rosa (MENDONÇA, MATOS, 2005).

Quanto aos atributos físicos, a densidade foi obtida pelo método do cilindro

volumétrico. A porosidade total, a microporosidade e a macroporosidade foram obtidas após a submissão das amostras, saturadas por 24h, à mesa de tensão de 6 kPa, sendo pesadas após estabilização do nível de água e novamente depois de 24h em estufa, a 105°C. A microporosidade foi obtida em função da umidade em g/g de solo e a densidade do solo seco. A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), foram obtidos a 33 kPa e 1500kPa, respectivamente.

2.4.2 Determinação da atividade microbiana do solo

A atividade respiratória dos microrganismos (RBS) foi determinada como a quantidade de carbono orgânico liberado na forma de C-CO₂ após a absorção pelo hidróxido de sódio (NaOH), precipitado com cloreto de bário (BaCl₂) e titulado com HCl 0,5 M (ALEF; NANNIPIERI, 1995), durante o período de sete leituras, sendo três leituras diárias consecutivas e quatro em intervalos de dois dias

Para obtenção do CBMS utilizou-se o método de fumigação-extração (VANCE *et al.*, 1987). Os extratos foram determinados por digestão de uma mistura de H₂SO₄:H₂POH (2:1) e Cr₂K₂O₇, seguido por titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal (NH₄)₂ Fe(SO₄)₂ 6H₂O. O CBMS foi calculado a partir da diferença entre carbono orgânico extraído do tratamento fumigado com clorofórmio livre de etanol e não fumigado, multiplicada pelo fator de correção para solos brasileiros, o valor de 0,33 de acordo com Silva *et al.* (2007).

O qCO₂ foi calculado a partir dos resultados de C-CO₂ acumulados durante as sete leituras obtidas após o fim do experimento e do carbono da biomassa microbiana, o que representou a quantidade de C-CO₂ liberado em um determinado tempo por unidade de carbono microbiano, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993).

2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também realizou-se regressão para os teores de argila, correlação de Pearson entre atributos de solo, plantas e atividade microbiana, Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento, utilizando os *softwares* SAS versão universitária, Microsoft Excel 2007 e SigmaPlot 12.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise do solo

3.1.1 Caracterização física do solo

No APÊNDICE A encontra-se a análise de variância da porosidade total (PT), macro (Mac) e microporosidades (Mic), densidade (Dens), capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) sob as variáveis independentes: teores de argila (Tratamento), presença e ausência de composto orgânico (Composto) e sua interação (TxC).

Observou-se que a microporosidade foi significativamente influenciada pelos teores de argila. A caulinita é predominante nos solos de tabuleiros costeiros, presentes em Pacajus, e sua forma laminar facilita seu ajuste entre as partículas (LIMA *et al.*, 2004). A argila foi transportada pela água da irrigação e acomodou-se nos poros, aumentando a microporosidade, diminuindo a percolação e elevando a retenção hídrica por adsorção (ISMAIL, OZAWA, 2007). O aumento da retenção hídrica por adição de argila em solo arenoso também foi observado por Tahir e Marschner (2016) e Singh *et al.* (2019).

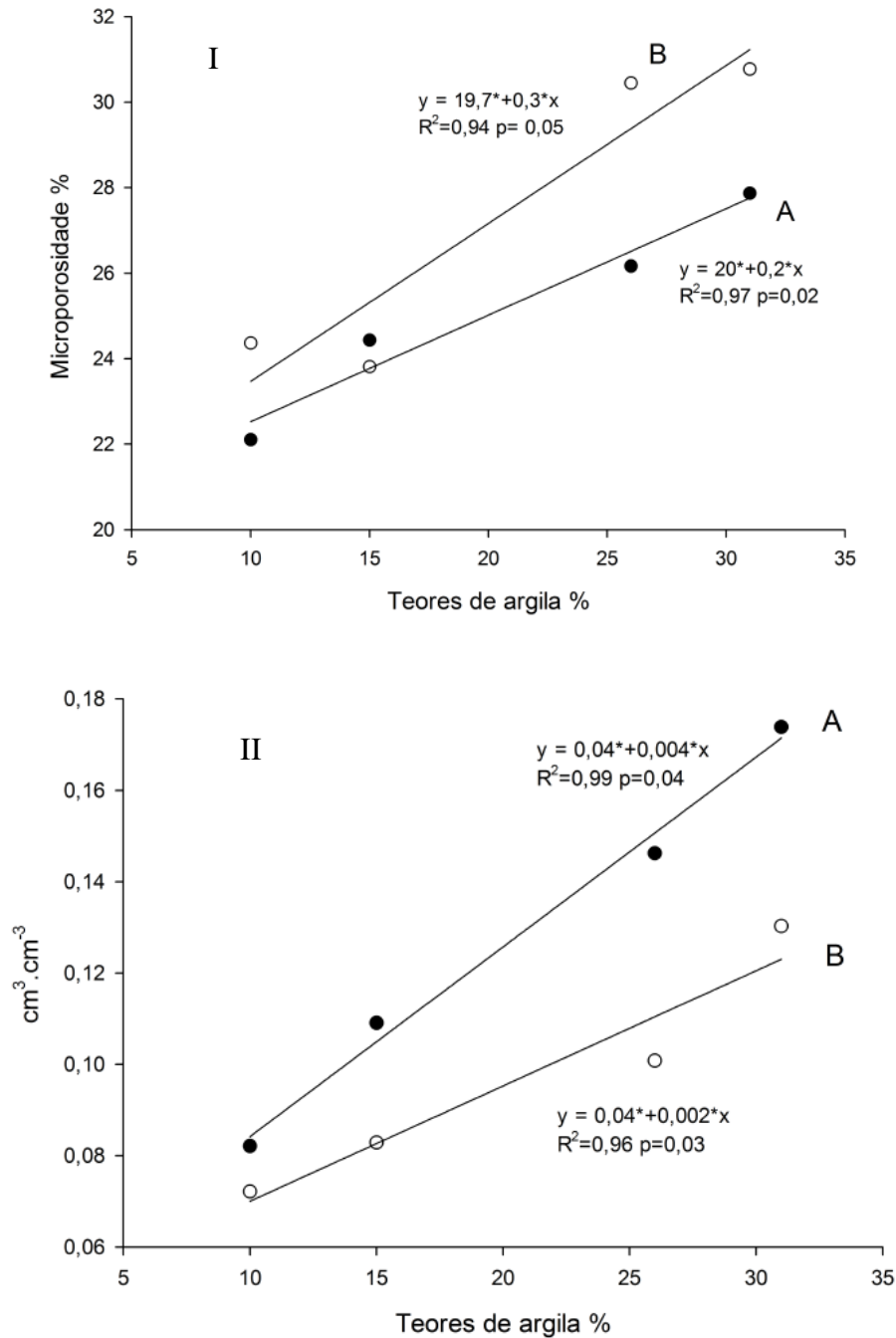
A interação das partículas do solo com o composto orgânico adicionado também teve influência significativa sobre a microporosidade e a porosidade total, de acordo com a análise de variância (APÊNDICE A). A matéria orgânica ligou-se às partículas do solo, principalmente às argilas, por meio das cargas disponibilizadas em sua superfície, formando complexos organo-minerais e agregados, aumentando a porosidade (SHAH *et al.*, 2017; MINASNY, MCBRATNEY, 2018).

Na Figura 2-I, apresenta-se o ajuste da microporosidade ao modelo linear de regressão, com R^2 explicando 97% e 94% da variação na ausência e presença de composto, respectivamente. Observa-se que a microporosidade relaciona-se positivamente com o teor de argila, que em interação com o composto, aumentou a retenção hídrica pelo aumento da acomodação da argila nos poros, disponibilizando maior superfície para adsorção da água e diminuindo a percolação (ISMAIL, OZAWA, 2007; MINASNY, MCBRATNEY, 2018).

A análise de variância apresentou efeito significativo dos teores de argila sobre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), independente da presença do composto. Contudo, os valores de CC e PMP não se ajustaram aos modelos de regressão linear e quadrática na ausência de composto (Figura 2-II). Os teores de argila e a presença de composto contribuíram no aumento do volume de poros capilares e na área de

superfície específica para adsorção da água, aumentando a retenção hídrica (MINASNY, MCBRATNEY, 2018; WIECHETECK *et al.*, 2020).

Figura 2 – Microporosidade na ausência e presença de composto (I) e capacidade de campo e ponto de murcha permanente na presença de composto (II) em solo arenoso sob diferentes teores de argila.



Em (I), microporosidade na ausência (A) e presença (B) de composto; em (II), capacidade de campo (A) e ponto de murcha permanente (B) na presença de composto. *Significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.

3.1.2 Caracterização química do solo

No APÊNDICE B encontra-se a análise de variância da acidez ativa (pH), acidez potencial (H+Al), do alumínio trocável (Al^{3+}), da condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T) e saturação por bases (V), diante das variáveis independentes: teor de argila (Tratamento), presença e ausência de composto (Composto) e sua interação (TxC).

As médias de pH, H+Al e Al^{3+} sofreram influência significativa das duas variáveis independentes e sua interação. As médias dos valores de pH dos quatro teores de argila (10%, 15%, 26% e 31%) diferiram significativamente entre si, variando entre 4,16 e 5,89, referentes aos tratamentos 26SC e 31CC respectivamente.

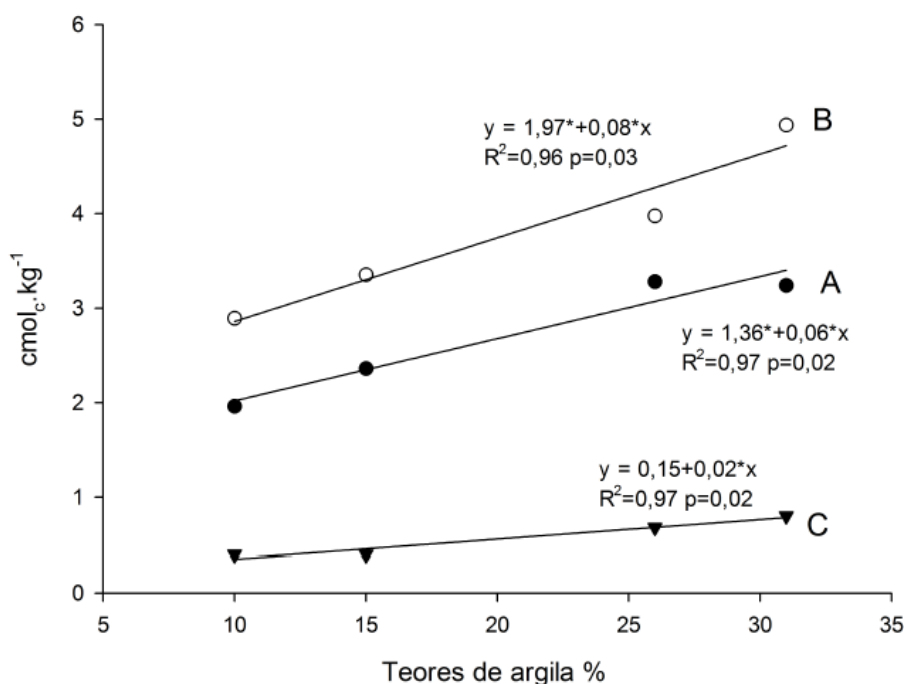
Os tratamentos com 26% de argila foram resultantes do solo 2, cujo valor de pH foi o menor entre os quatro solos utilizados, juntamente com o menor valor de V e os maiores valores para H+Al e Al^{3+} (Tabela 3). Assim, pode-se inferir que a elevada acidez encontrada no solo 2, e característica do perfil coletado em Pacajus (LIMA *et al.*, 2004), manteve-se nos tratamentos oriundos dele.

A acidez afeta a disponibilização de nutrientes para as plantas e a microbiota, devido à sua interação com outros atributos químicos do solo, como capacidade de troca catiônica e saturação por bases, além de interferir na qualidade física do solo causando dispersão de argilas (BRONICK, LAL, 2005; DELGADO, GÓMEZ, 2016). Essa interação foi observada no presente estudo, pois as maiores médias para os atributo citados foram encontradas nos tratamentos com 31% de argila e maior pH, enquanto as menores médias para V e SB foram dos tratamentos com 26% de argila e menor pH, corroborando os resultados de Lima *et al* (2004). Os tratamentos com adição direta de argila (15%) não diferiram significativamente dos tratamentos com 10% de argila quanto H+Al, Al^{3+} , SB, t e V, indicando que o teor de argila adicionado não foi suficiente para melhorar a disponibilização de cargas no solo, tendo em vista que a caulinita presente nestes tratamentos possui baixa área de superfície específica e baixa CTC (SINGH *et al.*, 2019).

Os resultados reforçam a influência da acidez nos processos e gradientes físico-químicos do solo (RASMUNSEN *et al.*, 2018). Diante de valores de pH mais baixos ocorreu deficiência de cátions trocáveis, pois estavam menos disponíveis na solução do solo devido à baixa solubilização, sendo perdidos por lixiviação, refletida na baixa CE e SB. O contrário aconteceu com o teor de Al, que tende a aumentar em $pH < 5,5$, causando toxidez para as plantas (BRONICK, LAL, 2005; DELGADO, GÓMEZ, 2016). Em solos menos ácidos, os

cátions dominaram as ligações com as cargas negativas presentes nas superfícies das argilas, aumentando os valores de SB, da CTC e de V (Figura 3), observados nos tratamentos com maior teor de argila (DELGADO, GÓMEZ, 2016; GOULDING, 2016).

Figura 3 – Acidez potencial (A), CTC total (B) e acidez trocável (C) na ausência de composto sob diferentes teores de argila.



* Significância estatística ao nível de 5% de probabilidade.

O APENDICE B apresenta a análise de variância do carbono orgânico (CO), fósforo (P) e nitrogênio (N) sob as variáveis independentes: teores de argila (Tratamento), presença e ausência de composto orgânico (Composto) e sua interação (TxC).

As médias de CO e N não diferiram significativamente quanto aos teores de argila, de forma oposta ao P. Somente o N não foi afetado significativamente pela presença de composto. Observou-se que, apesar da maior disponibilização de cargas nos tratamentos com 31% de argila, não houve retenção significativa de CO, possivelmente devido à baixa CTC da caulinita, permitindo inferir que o tipo de argila afeta a retenção de CO (SINGH *et al.*, 2019; GROVER *et al.*, 2020).

A interação entre CO e argila tem sido abordada em diversos estudos, já que as ligações entre as cargas superficiais das argilas e o CO contribuem para sua proteção química contra a degradação microbiana (SHI, MARSCHNER, 2013; SINGH *et al.*, 2017; RAKSH *et*

al., 2017). Já a formação de agregados pelas argilas oferece proteção física, por meio da limitação do acesso dos micro-organismos ao C ocluso nos agregados (TAHIR, MARSCHNER, 2017; WIESMEIER *et al.*, 2019). Neste estudo, diante da baixa CTC da caulinita, a quantidade de argila não foi suficiente para favorecer a retenção de CO e N durante o período do experimento.

As médias de P diferiram significativamente entre os teores de argila, porém não apresentaram relação clara com os mesmos, pois as maiores e menores médias de P foram encontradas nos tratamentos com 31% e 26% de argila, respectivamente, e os tratamentos com 10 e 15% de argila não diferiram entre si. Os resultados contradizem Tahir e Marschner (2016), que encontraram aumento de P em solo sob adição de argila em comparação a um solo arenoso. No presente estudo, o maior teor de argila (31%) foi significativamente mais eficiente na retenção de P que os outros teores, mas também é possível inferir que a disponibilização de P tenha sido influenciada pelo baixo pH do tratamento com 26% de argila, pois em solos mais ácidos, a solubilização do P é diminuída (MAATHUIS, 2009; DELGADO, GOMÉZ, 2016). A adição de composto incrementou significativamente as médias de P, já que sua disponibilização natural na solução do solo é baixa, o que demanda fertilização para fins agrícolas (MAATHUIS, 2009).

3.2 Análise do sorgo forrageiro

3.2.1 Atributos biométricos e minerais

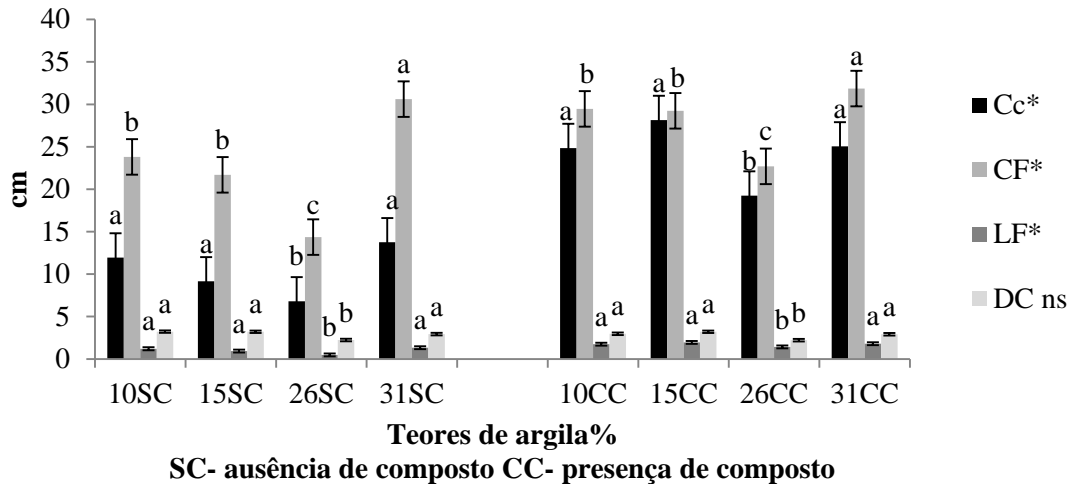
No APENDICE C está a análise de variância do teor de clorofila (TC), da largura da folha (LF), do comprimento da folha (CF), diâmetro do colmo (DC), comprimento do colmo (Cc), da área foliar (AF) e massa seca (MS), Ca, Mg, Na, K, Fe, Cu, Zn e Mn de sorgo forrageiro sob as variáveis independentes: teores de argila (Tratamento), presença e ausência de composto orgânico (Composto) e sua interação (TxC).

Observou-se que todos os atributos biométricos foram afetados significativamente pelos teores de argila, e com exceção do diâmetro do colmo, também pelo composto orgânico. Já quanto aos atributos minerais, as médias de Ca, Fe, Cu e Mn não apresentaram influência dos teores de argila, e da presença de composto, com exceção do Fe. Os outros nutrientes apresentaram diminuição significativa diante da presença de composto, com exceção do P.

Na Figura 4 observa-se que todos os atributos biométricos obtiveram médias significativamente menores nos tratamentos com 26% de argila, e somente o comprimento da folha apresentou diferença significativa entre o maior e menor teor de argila.

Figura 4– Médias, erro padrão e significância estatística de atributos biométricos de sorgo forrageiro quanto aos teores de argila, na ausência e presença de composto orgânico.

A



Comprimento do colmo (Cc) e da folha (CF), largura da folha (LF) e diâmetro do colmo (DC) do sorgo forrageiro. Barras com a mesma cor e letras iguais não diferem significativamente quanto aos teores de argila. *Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para presença e ausência de composto orgânico, ns=não significativo.

Não houve diferença significativa entre a massa seca (MS) das plantas dos tratamentos com 15 e 31% de argila, bem como entre 31 e 10% de argila, enquanto as plantas em 26% de argila tiveram as menores médias de MS. O teor de clorofila não diferiu entre as plantas em 10 e 15% de argila, mas estas últimas diferiram significativamente dos demais tratamentos.

É possível inferir que a quantidade de argila não determinou o desenvolvimento das plantas, mas sim as condições químicas dos solos, particularmente dos tratamentos com 26% de argila, que apresentaram elevada acidez e baixas saturação por bases e CTC, características do perfil de solo coletado em Pacajus. Os resultados contradizem Ismail e Ozawa (2007), que encontraram aumento de atributos biométricos de pepino e milho sob adição de argila, pela melhoria das propriedades hidráulicas do solo. De forma semelhante, Song *et al.* (2020) obtiveram maior biomassa de milho em solos com teores de 40% de argila, pela maior retenção hídrica. No presente estudo, não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à capacidade de disponibilidade hídrica, considerando a diferença entre CC e PMP (MINASNY, MCBRATNEY, 2018), sugerindo que os atributos biométricos foram

afetados pelas variáveis químicas do solo. Quanto aos nutrientes, as plantas dos tratamentos com 10% de argila se destacaram no acúmulo de P, enquanto as plantas dos tratamentos com 26% de argila acumularam mais N.

A correlação de Pearson entre os principais atributos físicos e químicos do solo e os principais atributos biométricos e minerais das plantas apresenta-se na Tabela 4. Observou-se que a área foliar (AF) correlacionou-se positivamente com pH, P no solo (Ps) e saturação por bases (V), confirmando o efeito do pH sobre a disponibilidade de nutrientes no desenvolvimento das plantas (RASMUNSEN *et al.*, 2018), onde os maiores valores de pH e AF foram em plantas com 31% de argila. Já a massa seca (MS) correlacionou-se positivamente com Ps e V, e negativamente com teor de clorofila (TC). Como a adição de composto incrementou os nutrientes no solo, e de forma significativa o Ps, as plantas foram beneficiadas pela melhora do solo, tendo condições de investir em biomassa (LARCHER, 2006), refletida na MS. Este incremento em biomassa teve participação do N, enquanto constituinte estrutural das plantas (LARCHER, 2006; PANDEY, 2018), cuja disponibilidade no solo foi aumentada pelo composto. Assim, é possível que as plantas, na ausência de composto, tenham diminuído o investimento em biomassa para manter as concentrações adequadas de nutrientes, incluindo o N, como estratégia para suportar as deficiências no solo (LARCHER, 2006). Como o TC é dependente do N no solo, e sob adição de composto as plantas investiram o N inicialmente em biomassa, e não havendo reposição do composto, o TC foi afetado pela baixa concentração de N das plantas maiores, tornando a correlação entre MS e TC negativa.

O N da planta (Np) correlacionou-se negativamente com Ps, V, AF e MS, já que foram atributos beneficiados pela adição de composto e que permitiram maior investimento em biomassa, diminuindo as concentrações de Np, como foi dito anteriormente. Os maiores valores de Np foram obtidos com 26% de argila, cujas condições químicas do solo foram as mais pobres, e por isso, devem ter estimulado o baixo investimento em biomassa e maior concentração de nutrientes na planta, mobilizando N para formação de clorofila (LARCHER, 2006), justificando a correlação positiva com TC. O P da planta (Pp) correlacionou-se positivamente com Ps e AF. Como o Ps tem baixa mobilidade (DELGADO, GOMÉZ, 2016), a adição de composto aumentou sua disponibilidade no solo e favoreceu o desenvolvimento das plantas, aumentando MS e AF. Na ausência de composto, a deficiência de Ps pode ter afetado a fotossíntese, pela sua importância no fornecimento de energia (P inorgânico) e na formação de compostos para fixação do carbono (MAATHUIS, 2009), o que também pode contribuir para menores valores de AF e MS.

Tabela 4- Matriz de correlação de Pearson para atributos físico-químicos do solo, biométricos e minerais do sorgo forrageiro, sob diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

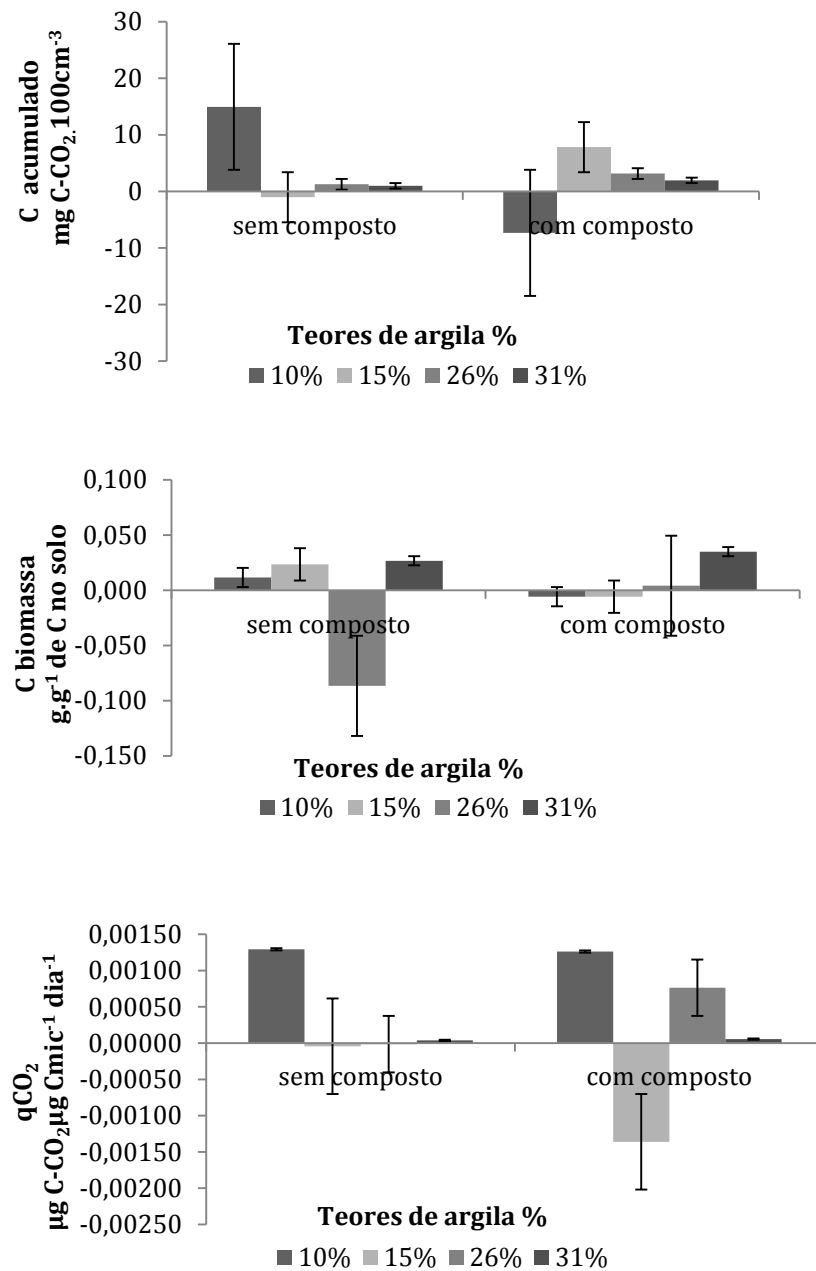
	pH	Ps	SB	T	V	MIC	TC	AF	MS	Np	Pp
Trat	0,371 0,366	0,0519 0,903	0,606 0,112	<u>0,752</u> <u>0,0313</u>	0,148 0,726	<u>0,872</u> <u>0,00474</u>	-0,164 0,698	-0,133 0,753	-0,125 0,768	-0,040 0,923	-0,157 0,710
pH		0,532 0,174	<u>0,895</u> <u>0,00267</u>	0,349 0,397	0,840 <u>0,00900</u>	0,397 0,330	-0,367 0,371	<u>0,766</u> <u>0,0268</u>	0,517 0,189	-0,533 0,174	0,575 0,136
Ps			0,298 0,473	-0,438 0,278	<u>0,732</u> <u>0,0391</u>	0,382 0,351	<u>-0,868</u> <u>0,0052</u>	<u>0,848</u> <u>0,00780</u>	<u>0,858</u> <u>0,00638</u>	<u>-0,701</u> <u>0,0527</u>	<u>0,746</u> <u>0,0335</u>
SB				0,576 0,135	<u>0,769</u> <u>0,0257</u>	0,556 0,152	-0,184 0,663	0,502 0,205	0,312 0,452	-0,424 0,295	0,190 0,652
T					-0,0760 0,858	0,389 0,340	0,372 0,364	-0,308 0,458	-0,408 0,316	0,281 0,501	-0,338 0,412
V						0,361 0,379	-0,537 0,170	<u>0,880</u> <u>0,00390</u>	<u>0,730</u> <u>0,0397</u>	<u>-0,731</u> <u>0,0394</u>	0,528 0,178
MIC							-0,418 0,302	0,0901 0,832	0,0579 0,892	-0,310 0,455	0,133 0,754
TC								-0,646 0,0838	<u>-0,738</u> <u>0,0364</u>	<u>0,730</u> <u>0,0400</u>	-0,569 0,141
AF									<u>0,885</u> <u>0,00348</u>	<u>-0,733</u> <u>0,0385</u>	<u>0,766</u> <u>0,0266</u>
MS										<u>-0,728</u> <u>0,0406</u>	0,530 0,177
Np											-0,516 0,190
Pp											

Tratamento (Trat), pH, P no solo (Ps), soma de bases (SB), CTC total (T), saturação por bases (V), microporosidade (MIC), teor de clorofila (TC), área foliar (AF), massa seca (MS), N da planta (Np) e P da planta (Pp). Linha superior refere-se ao coeficiente de correlação de Pearson e linha inferior à significância estatística ao nível de 5% de probabilidade. Valores sublinhados são significativos para $p=0,05$.

3.3 Análise da atividade microbiana

A análise de variância não apresentou diferenças significativas quanto aos teores de argila e a presença de composto para a RBS, o CBMS e o $q\text{CO}_2$. Na Figura 5 apresenta-se a caracterização da atividade microbiana ao final do experimento.

Figura 5 – Médias e erro padrão da respiração basal do solo (RBS) acumulada em sete leituras, C da biomassa do solo (CBMS) e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) na ausência e presença de composto em solos arenosos sob influência de diferentes teores de argila.



A correlação de Pearson entre a atividade microbiana, atributos físico-químicos do solo e a massa seca das plantas, como referência para as raízes, não apresentou nenhuma correlação significativa. Shi e Marschner (2013) também não encontraram diferenças significativas na RBS de solos arenosos com adição de argila (10% e 30%), e o CBMS foi afetado pela adição de argila a 30% após 14 e 28 dias de experimento, sugerindo que o período de incubação do presente estudo (10 dias) tenha sido insuficiente para obter diferenças significativas. Já Yazdanpanah *et al.* (2016) e Vinhal-Freitas *et al.* (2017) encontraram diferenças significativas na RBS e CBM de solos com diferentes teores de argila e adição de diferentes resíduos (LIU *et al.*, 2017). Vários fatores podem afetar a atividade microbiana, como a disponibilidade de nutrientes no solo para a produção de enzimas na assimilação de C (SPOHN, 2015; VINHAL-FREITAS *et al.*, 2017), textura do solo e pH (PAUL, 2016; WIESMEIER *et al.*, 2019), tipo de argila (SINGH *et al.*, 2019) e disponibilidade de água (ZHANG, MARSCHNER, 2016). No presente estudo, o pH afetou significativamente as condições químicas do solo, que por sua vez podem ter influenciado a composição da comunidade microbiana e sua cinética de decomposição da MO (PAUL, 2016). Além disso, o tipo de argila também pode ter afetado a RBS, pois a baixa ASE e CTC da caulinita limitam a proteção oferecida ao CO contra a degradação, elevando a liberação de C-CO₂ (SINGH *et al.*, 2019).

Contudo, foi possível observar a relação entre RBS e CBMS refletida no qCO_2 dos tratamentos 10SC, 26CC e com 31% de argila. Os tratamentos com 10SC e 26CC apresentaram elevada RBS em relação ao CBMS, e conseqüentemente elevado qCO_2 . Este resultado demonstra baixa eficiência na mineralização de C por C-CO₂ liberado, de forma oposta aos tratamentos com 31% de argila (PAUL, 2016; TAHIR, MARSCHNER, 2017), já que não houve diferença significativa na quantidade de CO entre os tratamentos.

3.4 Análise multivariada dos atributos do solo, do sorgo e da atividade microbiana

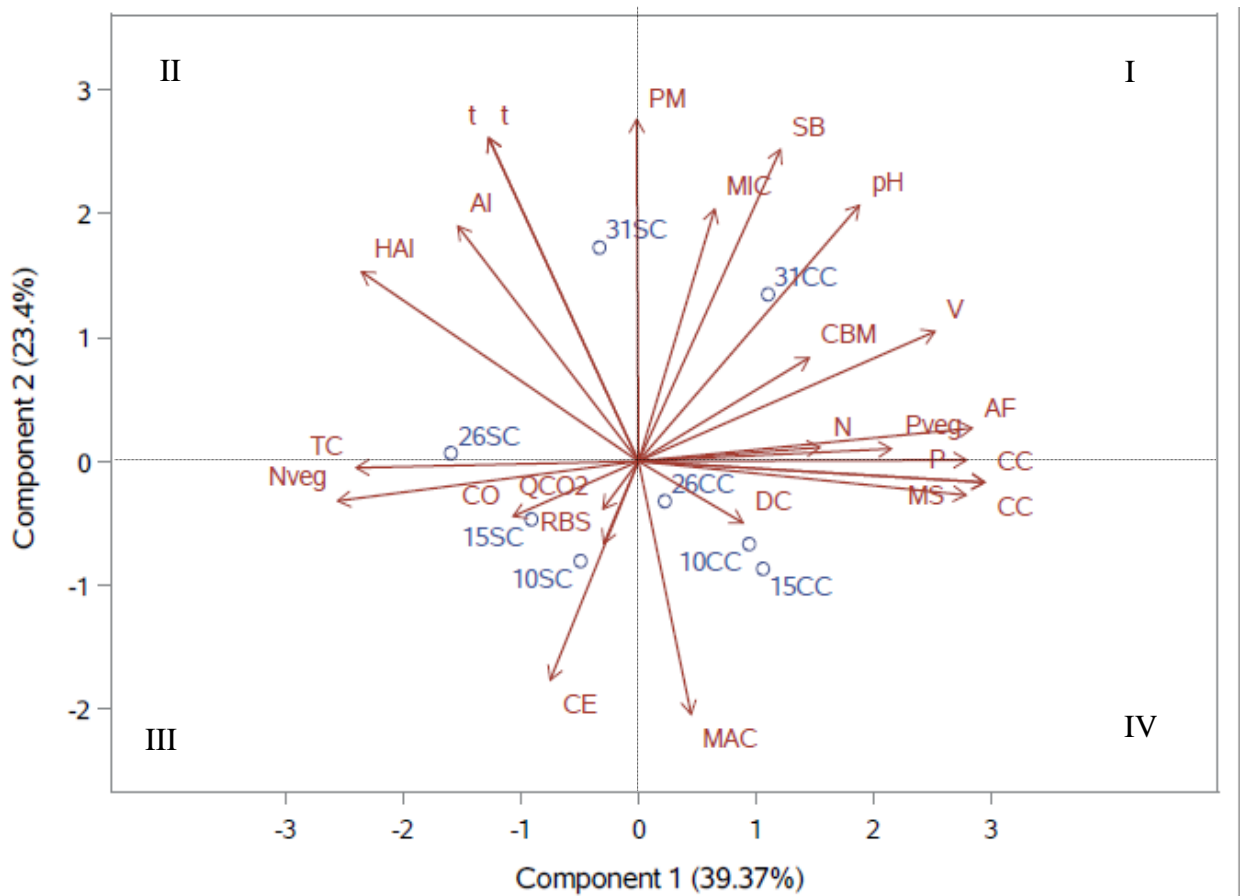
A partir dos dados obtidos com o experimento, obteve-se um gráfico de Análise de Componentes Principais (CP), incluindo os principais atributos edáficos e biológicos avaliados. Observou-se que a CP1 explicou 39,37% da variabilidade, enquanto a CP2 explicou 23,4%, somando 62,77% da variabilidade. Assim, foi utilizada também a CP3, que explicou 13,06% da variabilidade.

É possível observar na Figura 6 que um conjunto de atributos físicos (ponto de murcha permanente e microporosidade), químicos (soma de bases, pH, saturação por bases, N

e P do solo) e biológicos (CBM, área foliar e P das plantas) concentrou-se no quadrante I, onde encontrou-se o tratamento 31CC, correlacionando-se positivamente com a CP1. Já o tratamento com adição direta de argila e sem composto (15SC) correlacionou-se negativamente com a CP1 e a CP2, bem como atributos biológicos como RBS, qCO₂, teor de clorofila e N das plantas, e químicos do solo como CO e condutividade elétrica. A argila de baixa atividade como a caulinita (SINGH *et al.*, 2019), adicionada ao solo arenoso na ausência de composto, não foi eficiente em melhorar significativamente as condições químicas e físicas do solo.

Figura 6– Análise de Componentes Principais (CP1xCP2) para os atributos edáficos e biológicos dos tratamentos sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

A



Fonte: elaborada pela autora, 2020.

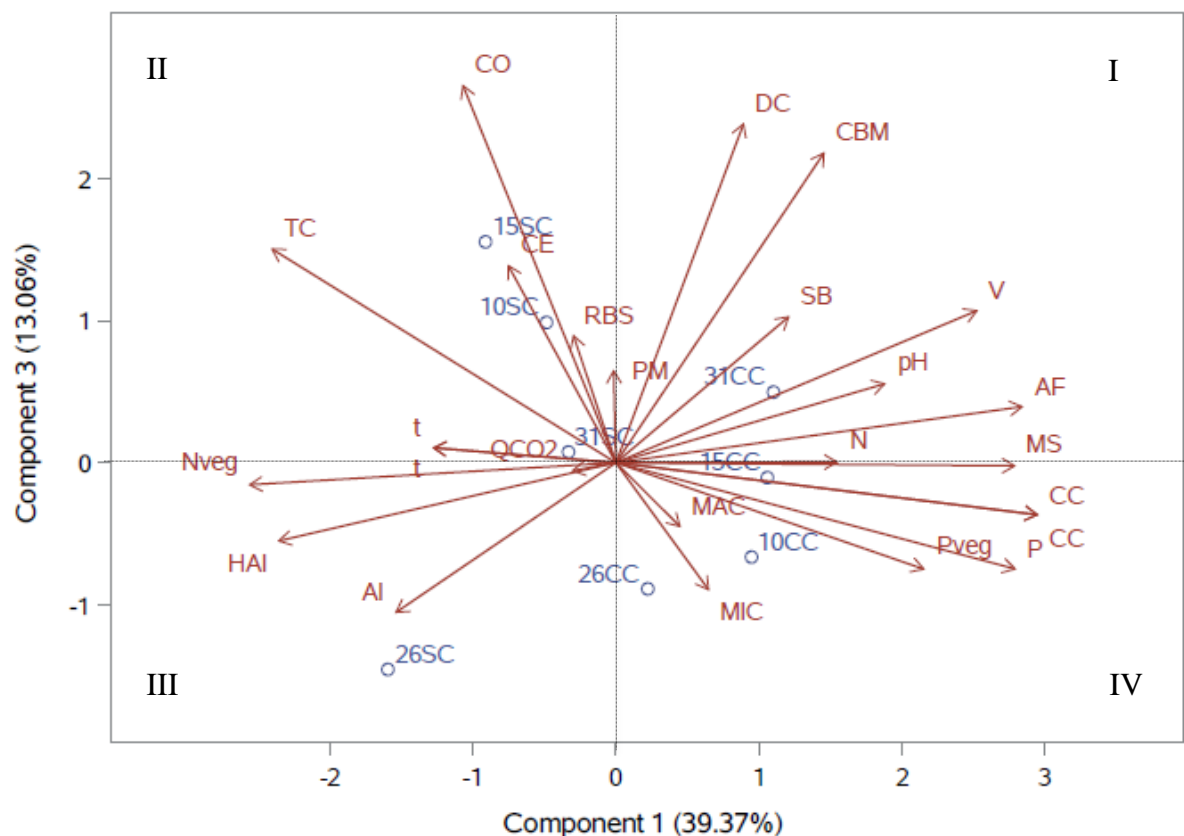
O tratamento 26SC, resultante da mistura de horizontes de um perfil em Pacajus sem adição de composto, correlacionou-se positivamente com a CP2 no quadrante II, que concentrou os atributos relativos à acidez do solo, evidenciada por este tratamento, enquanto os tratamentos 26CC, 10CC e 15CC, todos com adição de composto, correlacionaram-se

positivamente com a CP1 no quadrante IV. O resultado sugere que a adição de composto tenha contribuído para melhor desempenho da caulinita nos solos, bem como na minimização dos prejuízos causados pela acidez característica do solo com 26% de argila, possivelmente pela interação da MO com o Al^{3+} , formando complexos organo-minerais (WIESMEIER *et al.*, 2019).

Na Figura 7, observa-se um agrupamento dos tratamentos similar à Figura 6, porém acentuando a correlação negativa da CP1 com acidez potencial e alumínio trocável no tratamento 26SC e a correlação positiva entre CP1 e atributos do solo e das plantas com o tratamento 15CC. Ambos foram montados, por mistura de horizontes (26%) e adição direta de argila (15%). Os resultados apontam para melhor eficiência da adição direta de argila, do que a mistura de horizontes, na melhoria da qualidade do solo.

Figura 7- Análise de Componentes Principais (C3xCP1) para os atributos edáficos e biológicos dos tratamentos sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

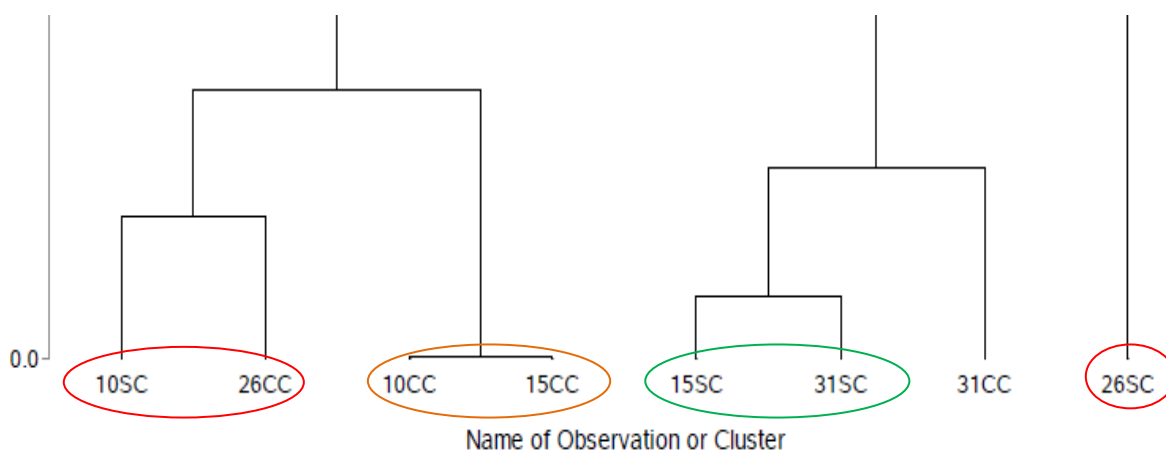
B



Fonte: elaborada pela autora, 2020.

A partir da ACP, foi construído o dendrograma das distâncias entre os tratamentos segundo suas similaridades (Figura 8). Observa-se uma separação do tratamento 26SC dos demais.

Figura 8 – Dendrograma da Análise de Agrupamento dos tratamentos com solos arenosos, sob influência de diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.



Fonte: elaborada pela autora, 2020.

A adição de composto em 26CC permitiu um desempenho próximo ao solo com 10% de argila. Em relação a 26SC, o tratamento 26CC teve os prejuízos causados pela acidez minimizados pela adição de composto.

O desempenho dos tratamentos 10CC e 15CC foram semelhantes, não havendo diferenças significativas em muitas das análises realizadas neste estudo. A adição de composto em 15CC pode ter mascarado o baixo efeito da adição de argila, aproximando 10CC e 15CC. Contudo, de forma surpreendente, o tratamento 15SC teve maior similaridade ao tratamento 31SC. É possível que o processo de extração da argila para montagem do tratamento 15SC, por meio de seu peneiramento via úmida, possa ter disponibilizado ao máximo seus sítios de ligação, permitindo um desempenho semelhante ao teor de 31% de argila sem composto.

Assim, dentre os tratamentos montados, aqueles com adição direta de argila (15SC e 15CC) tiveram melhor desempenho pela semelhança aos tratamentos com maior teor de argila (31%), do que os tratamentos resultantes da mistura de horizontes (26SC e 26CC), quanto aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que os teores de argila utilizados no experimento não apresentaram efeitos significativos nos parâmetros químicos dos tratamentos, já que a caulinita é uma argila de baixa atividade. No entanto, em associação com o composto orgânico, houve melhoria de atributos como microporosidade, Al^{3+} , soma de bases e CTC, refletida em melhor desenvolvimento das plantas. A atividade microbiana não foi influenciada pelos teores de argila e presença de composto.

Ficou evidente que a adição direta de argila em solo arenoso foi mais eficaz que a mistura de horizontes, sugerindo que as condições químicas do solo/ horizonte de origem da argila foram determinantes no desempenho dos tratamentos, em detrimento da concentração de argila.

Assim, dentre as estratégias utilizadas para avaliar a eficiência de condicionadores orgânico e inorgânico na qualidade do solo, a incorporação de argila diretamente no solo, associada à adição de composto orgânico, foi mais eficaz no condicionamento dos atributos do solo, sendo necessários mais estudos que avaliem a qualidade do solo em longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E.. Linking soils to ecosystem services — A global review. **Geoderma**, [s.l.], v. 262, p.101-111, jan. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2X0590b> . Acesso em: 07 jun. 2018.
- AGUIAR, M. J. N. *et al.* Dados Climatológicos: Estação de Pacajus, 2000. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 15 p. **Boletim Agrometeorológico**, 24. a Disponível em: <https://bit.ly/2rwwL89> . Acesso em: 09 dez. 2018.
- ALEF, K; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic, 1995. 576 p.
- ANDERSON, T; DOMSCH, K. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.393-395, mar. 1993. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2zRdIOx> . Acesso em: 27 nov. 2018.
- AQUINO, A. B. *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248 p.
- BLANCO-MOURE, N. *et al.* Soil organic matter fractions as affected by tillage and soil texture under semiarid Mediterranean conditions. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 155, p.381-389, jan. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2TUSvek> . Acesso em: 04 jan. 2019.
- BRONICK, C.j.; LAL, R.. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, [s.l.], v. 124, n. 1-2, p.3-22, jan. 2005. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2UyAIBT> .Acesso em: 09 mar. 2018.
- COLEMAN, D.C.; ZHANG, W.; FU, S. Interactions in Soil: Promoting Plant Growth. **Biodiversity, Community And Ecosystems**, [s.l.], p.211-223, 2014. Springer Netherlands. Disponível em: <https://bit.ly/2E8yrjP> . Acesso em: 26 set. 2018.
- DELGADO, A.; GÓMEZ, J. A.. The Soil. Physical, Chemical and Biological Properties. **Principles Of Agronomy For Sustainable Agriculture**, [s.l.], p.15-26, 2016. Springer International Publishing. Disponível em: <https://bit.ly/2Su2Jpz> . Acesso em: 01 out. 2018.
- FREITAS, E. D. **Gênese de solos de uma toposequência dos tabuleiros costeiros (CE): ênfase na dinâmica do ferro**. 2010. 60 f.: TCC (graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- GIONGO, V. *et al.* Low Carbon Technologies for Agriculture in Dryland: Brazilian Experience. **Climate Resilient Agriculture - Strategies And Perspectives**, [s.l.], p.105-127, 14 mar. 2018. InTech. Disponível em: <https://goo.gl/TVHhfs>. Acesso em: 22 jul. 2018
- GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390–399, set. 2016. Disponível em: <https://bit.ly/y4He2>. Acesso em: 16 jun. 2020.

GROVER, S. P. *et al.* An agricultural practise with climate and food security benefits: “Claying” with kaolinitic clay subsoil decreased soil carbon priming and mineralisation in sandy cropping soils. **Science of the Total Environment**, v. 709, p. 134488, 2020. Disponível em: <https://bityli.com/JnBuK>. Acesso em: 16 jun. 2020.

HAN, L. *et al.* Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 94, p.107-121, mar. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2IdxB93> . Acesso em: 01 maio 2018.

ISMAIL, S. M.; OZAWA, K. Improvement of crop yield, soil moisture distribution and water use efficiency in sandy soils by clay application. **Applied Clay Science**, [s.l.], v. 37, n. 1-2, p.81-89, jun. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <https://goo.gl/ccN35A>. Acesso em: 11 maio 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C.H.B.A.; FRANCO. A.C. São Carlos, RiMa, 2000. 533p.

LIMA, H. V. *et al.* Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 467–476, jun. 2004. Disponível em: <https://bityli.com/xzc50> Acesso em: 10 jun. 2020.

LIU, Z. *et al.* Effects of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microbial community and soil quality in yellow clayey soil. **PLoS ONE**, v. 12, n. 3, 2017. Disponível em: <http://b.link/r933e>. Acesso em: 15 jun. 2020.

MAATHUIS, F. J. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 250–258, jun. 2009. Disponível em: <http://b.link/esm33>. Acesso em: 29 jun.2020.

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. Carbono Orgânico Total do Solo. In: MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG: UFV-Gefert, 2005. Capítulo 1. p. 07-13.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B.. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. **European Journal Of Soil Science**, [s.l.], v. 69, n. 1, p.39-47, 6 out. 2017. Wiley. Disponível em: <https://bit.ly/2X2Popg> . Acesso em: 13 mar. 2020.

MOKHTARPOUR, H. *et al.* Non–destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using length and leaf width. **Communications in Biometry and Crop Science**, v.5, n.1, p.19-26, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/2JZscAp> Acesso em: 09 fev. 2019.

ORTEGA, R. *et al.* Improving the fertility of degraded soils from a limestone quarry with organic and inorganic amendments to support vegetation restoration with semiarid Mediterranean plants. **Soil and Tillage Research**, v. 204, n. May, p. 104718, out. 2020 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305006>. Acesso em: 30 jun. 2020.

PANDEY, N. Role of Plant Nutrients in Plant Growth and Physiology. **Plant Nutrients And Abiotic Stress Tolerance**, [s.l.], p.51-93, 2018. Springer Singapore. Disponível em: <https://bit.ly/3aCmIHJ> . Acesso em: 24 mar. 2020.

PAUL, E. A.. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 98, p.109-126, jul. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2UQKPM9> . Acesso em: 12 mar. 2020.

RAKSHSH, F. *et al.* Effects of exchangeable cations, mineralogy and clay content on the mineralization of plant residue carbon. **Geoderma**, [s.l.], v. 307, p.150-158, dez. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2RHHeNG> . Acesso em: 18 set. 2018.

RAMANKUTTY, N. *et al.* Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. **Annual Review Of Plant Biology**, Palo Alto, v. 69, n. 14, p.789-815, 03 mar. 2018. Anual. Disponível em: <https://goo.gl/TvL8dg>. Acesso em: 07 jun. 2018.

RASMUSSEN, C.*et al.* Beyond clay: towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 137, n. 3, p.297-306, fev. 2018. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://bit.ly/3bLUISe> . Acesso em: 28 jul. 2019.

SHAH, A. N *et al.* Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. : an overview. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 24, n. 11, p. 10056-10067, 21 jan. 2017. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://bit.ly/3cdL3nI> . Acesso em: 12 mar. 2020.

SHI, A.; MARSCHNER, P. Addition of a clay subsoil to a sandy top soil alters CO2 release and the interactions in residue mixtures. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 465, p.248-254, nov. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2tm46Yi> . Acesso em: 12 maio 2018.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). **Comunicado técnico**. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, n. 98, 2007.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. - Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SINGH, M. *et al.* Relationship between soil clay mineralogy and carbon protection capacity as influenced by temperature and moisture. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 109, p.95-106, jun. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2UVYpw4> . Acesso em: 01 maio 2018.

SINGH, M *et al.*.Decomposition of soil organic matter as affected by clay types, pedogenic oxides and plant residue addition rates. **Journal Of Hazardous Materials**, [s.l.], v. 374, p.11-19, jul. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/3bJb7GM> . Acesso em: 04 mar. 2020.

- SONG, Z. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi promote the growth of plants in the mining associated clay. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.1-9, 14 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. Disponível em: <https://bit.ly/2UX2ZNp> Acesso em: 11 mar. 2020.
- SPOHN, M. Microbial respiration per unit microbial biomass depends on litter layer carbon-to-nitrogen ratio. **Biogeosciences**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.817-823, 10 fev. 2015. Copernicus GmbH. Disponível em: <https://bit.ly/342wC2F> . Acesso em: 27 nov. 2018.
- TAHIR, S.; MARSCHNER, P. Clay amendment to sandy soil—effect of clay concentration and ped size on nutrient dynamics after residue addition. **Journal Of Soils And Sediments**, [s.l.], v. 16, n. 8, p.2072-2080, 30 mar. 2016. Springer Nature. Disponível em: <https://bit.ly/2BZVjk8> . Acesso em: 13 maio 2018
- TAHIR, S.; MARSCHNER, P. Clay Addition to Sandy Soil—Influence of Clay Type and Size on Nutrient Availability in Sandy Soils Amended with Residues Differing in C/N ratio. **Pedosphere**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.293-305, abr. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <https://goo.gl/YRJxHX>. Acesso em: 07 jun. 2018.
- TEIXEIRA, P.C. *et al* (Ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. Distrito Federal: Embrapa, 2017. 573 p.
- TRAORÉ, S. *et al.* Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. **Geoderma**, [s.l.], v. 241-242, p.330-338, mar. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2UUgTNm> . Acesso em: 04 jan. 2019.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.
- VELDKAMP, T. I.e. *et al.* Changing mechanism of global water scarcity events: Impacts of socioeconomic changes and inter-annual hydro-climatic variability. **Global Environmental Change**, [s.l.], v. 32, p.18-29, maio 2015. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2NbseWZ> . Acesso em: 16 jun. 2018.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O Solo como Sistema**. Curitiba: Edição dos Autores, 2011. 104 p. Disponível em: <https://bit.ly/2rprPG3> . Acesso em: 5 nov. 2018
- VIEIRA, J.M *et al.* Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. out-dez, 2012.
- VIEIRA, R. M. S. P. *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.347-360, 18 mar. 2015. Copernicus GmbH. Disponível em: <https://goo.gl/w2CWhZ>. Acesso em: 08 set. 2018.
- VINHAL-FREITAS, I. C. *et al.* Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 74, p.182-190, mar. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/3dLS8NS> . Acesso em: 26 nov. 2019.
- WIECHETECK, L. *et al.* Comparing the classical permanent wilting point concept of soil

(-15,000 hPa) to biological wilting of wheat and barley plants under contrasting soil textures. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 230, p.1-8, mar. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2RiYpaf> . Acesso em: 14 mar. 2020.

WIESMEIER, M. *et al.* Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. **Geoderma**, [s.l.], v. 333, p.149-162, jan. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/3dI8M0G> . Acesso em: 04 mar. 2020.

WINCK, B. R. *et al.* Carbono e nitrogênio nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo, em sistemas de culturas sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.980-989, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <https://bit.ly/2AVUpU2> . Acesso em: 23 nov. 2018.

YAZDANPANA, N.; MAHMOODABADI, M.; CERDÀ, A. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. **Geoderma**, v. 266, p. 58-65, 2016. Disponível em: <http://b.link/c3a98>. Acesso em: 03 jan. 2019.

ZHANG, Y.; MARSCHNER, P.. Nutrient availability, soil respiration and microbial biomass after the second residue addition are influenced by the C/N ratio of the first residue added, but not by drying and rewetting between residue amendments. **European Journal Of Soil Biology**, [s.l.], v. 77, p. 68-76, nov. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://bit.ly/2XqG8eH> . Acesso em: 04 abr. 2020.

ZORNOZA, R. *et al.* Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.173-185, 6 fev. 2015. Copernicus GmbH. Disponível em: <https://bit.ly/2GMx9wn> . Acesso em: 12 dez. 2018.

APÊNDICE A- ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS

Valores do quadrado médio e significância estatística para os atributos físicos dos solos com diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

Fontes de variação	Quadrado Médio					
	PT	Mac	Mic	Dens	CC	PMP
Tratamento	26,41ns	21,12ns	71,37*	4,10ns	0,0164*	0,0055*
Composto	164,49*	0,24ns	118,16*	5,52ns	0,00002ns	0,0002ns
TxC	173,78ns	15,17ns	43,37ns	4,96ns	0,0013ns	0,0002ns
Resíduos	749,14	434,97	732,11	148,69	0,0006	0,0001
CV	11,24	20,43	18,95	120,14	19,7	11,05

Porosidade total (PT), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), densidade (Dens), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). Tratamento= teores de argila, Composto= presença ou ausência de composto orgânico, TxC= interação tratamento x composto, CV= coeficiente de variação..

*Significativo pelo teste F a 5%, ns= não significativo.

APENDICE B- ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS

Valores do quadrado médio e significância estatística dos atributos químicos dos solos com diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

Fontes de variação	Quadrado Médio										
	CE*	pH	H+Al	Al ³⁺	SB	t	T	V	CO	P	N
Tratamento	14225,82*	3,87*	658,56*	0,36	2,40*	3,16*	5,53*	658,56*	0,016	8,613*	0,003
Composto	12,17	1,71*	1380,39*	0,90*	0,19*	0,002	5,57*	1380,39*	0,062*	672,728*	0,002
TxC	18796,79*	0,11*	104,28*	0,36	0,07*	0,01	0,20	104,28*	0,040*	3,257*	0,006
Resíduos	34519,87	0,20	544,23	6,22	0,61	1,07	7,01	544,23	0,234	11,910	0,07
CV	20,80	1,67	12,16	80,18	12,30	11,42	14,24	12,16	41,74	12,16	29,90

Condutividade elétrica (CE), acidez ativa (pH), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al³⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t) e total (T) e saturação por bases (V), carbono orgânico (CO), fósforo (P) e nitrogênio (N). Tratamento= teores de argila, Composto= presença ou ausência de composto orgânico, TxC= interação tratamento x composto, CV= coeficiente de variação.. *Significativo pelo teste F a 5%, ns= não significativo.

APENDICE C- ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE MICRONUTRIENTES DOS SOLOS DOS TRATAMENTOS

Valores do quadrado médio e significância estatística para micronutrientes dos solos com diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico.

Fontes de variação	Quadrado Médio			
	Fe	Cu	Zn	Mn
Tratamento	60.19*	0.935	0.173*	1.818*
Composto	373.0*	5.211	0.885*	0.288
TxC	216.7*	2.882	0.018	0.283*
Resíduos	14.88	3.425	0.029	0.188
CV	32,4	344,5	27,1	36,0

Ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn). Tratamento= teores de argila, Composto= presença ou ausência de composto orgânico, TxC= interação tratamento x composto, CV= coeficiente de variação.

*Significativo pelo teste F a 5%, ns= não significativo.

APENDICE D- ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE ATRIBUTOS BIOMÉTRICOS E MINERAIS DE SORGO FORRAGEIRO DOS TRATAMENTOS

Valores de significância estatística de atributos biométricos e minerais de sorgo forrageiro cultivado em tratamentos com diferentes teores de argila e presença e ausência de composto orgânico

Fontes de variação	Quadrado Médio							
	TC	LF	CF	DC	Cc	AF	MS	
Tratam.	41,37*	2,28*	827,3*	3,75*	171,33*	98809*	21,08*	
Composto	938,9*	16,3*	974,1*	0,14	3871,2*	38070*	190,3*	
TxC	45,81*	0,57*	75,03	0,15	59,79*	3806	11,74*	
Resíduos	11,82	0,13	36,66	0,46	20,22	333	0,40	
CV	26,4	26,9	23,8	23,6	25,8	41,0	15,0	
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Tratam.	0,0056	0,003*	0,005*	0,080*	2,6823	0,0038	0,180*	1,430
Composto	0,0004	0,006*	0,032*	0,488*	11,979*	0,0036	0,513*	1,098
TxC	0,0031	0,0002	0,005*	0,077*	5,0779	0,0048	0,1015	1,456
Resíduos	0,0024	0,0007	0,0003	0,0221	1,9613	0,0032	0,0142	0,924
CV	13,2	15,2	7,1	10,5	132,9	51,7	25,88	39,2

Teor de clorofila (TC), largura da folha (LF), comprimento da folha (CF), diâmetro do colmo (DC), comprimento do colmo (Cc), área foliar (AF), massa seca aérea (MS), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn). Tratamento= teores de argila, Composto= adição ou não de composto orgânico, TxC= interação tratamento x composto, CV= coeficiente de variação.

*Significativo pelo teste F a 5%.

ANEXO A - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DE SOLO DE PACAJUS

Classificação- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico

Localização, município, estado e coordenadas –br 116, margem direita fortaleza- pacajus.

Pacajus – ce. 4° 11' 27,8" s e 38° 28'40,7" w gr.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 10 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1 úmida), cinzento-claro (10YR 7/1 seca); areia; macia, muito friável, não plástico, não pegajoso; transição clara e plana.

AE 10 – 33 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2 seca); areia a areia franca; ligeiramente dura, muito friável, não plástico, não pegajoso; transição difusa e plana. 54

E1 33 – 70 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3 seca); areia; ligeiramente dura, muito friável, não plástico, não pegajoso, transição gradual e ondulada.

E2 70 – 93 cm (87 – 96 cm), amarelo (10YR 7/6 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3 seca); areia franca a areia; ligeiramente dura, muito friável, não plástico, não pegajoso; transição clara e ondulada.

EB 93 – 110 cm (107 – 114 cm), amarelo (10YR 7/6 úmida), bruno muito claroacinzentado (10YR 8/4 seca); areia franca a areia; ligeiramente dura, muito friável, não plástico, não pegajoso; transição clara e ondulada.

Bt1 110 – 152 cm (110 – 152 cm), amarelo (10YR 7/6 úmida), bruno muito claroacinzentado (10YR 8/4 seca); franca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

Bt2 152 – 173 cm, amarelo (10YR 7/6 úmida), amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 8/4 seca); mosqueado amarelo-avermelhado (5YR 7/8) pouco médio a grande e proeminente; franca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

Bt3 173 – 245+ cm, amarelo (10YR 8/8 úmida), amarelo (2,5Y 8/6 seca); mosqueado amarelo (10YR 8/8) comum, grande e proeminente; franco argiloso; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes – Muitas finas no horizonte A, poucas finas e raras médias no horizonte AE, poucas finas e raras médias no horizonte E1, raras finas nos horizontes E2, EB, Bt1 e Bt2.

Observações – Perfil úmido no momento da descrição, presença de linhas de formação de mosqueados aparecendo a 150 m de profundidade. Horizonte Bt1 com aproximadamente 1 % de mosqueados com tamanho menor que 5 mm. Horizonte Bt2 mosqueados de tamanho aproximadamente 5 mm. Presença de lamelas no topo do horizonte E2 até a parte inferior do horizonte EB com topografia ondulada e espessura de 5 mm.

ANEXO B - DESCRIÇÃO GERAL DO PERFIL DE SOLO DO LAB DE HIDRÁULICA DA UFC, CAMPUS DO PICI

CLASSIFICAÇÃO - ARGISSELO VERMELHO - AMARELO Eutrófico típico.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0-8cm; bruno muito escuro (7,5YR 3/2 úmida), bruno(7,5YR 5/2 seca); fraca média a grande granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

AE 8-15 cm; bruno muito escuro(7,5YR 3/3 úmida), bruno (7,5YR 5/3 seca); fraca média a grande granular e fraca média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

E 15-32 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/3 úmida), bruno-claro(7,5YR 6/3 seca); fraca a moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.

EB 32-62 cm; bruno-avermelhado (5YR 5/4 úmida), bruno -avermelhado - claro (5YR 6/4 seca); moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BE 62-96 cm; vermelho- amarelado(5YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (5YR 6/6 seca); moderada a forte média a grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.

Bt1 96- 145cm; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo-avermelhado (5 YR 6/8 seca); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.

Bt2 145-190 cm+; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo-avermelhado (5YR 6/8 seca); moderada média blocos subangulares; muito duro a extremamente duro, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas e médias no horizonte Ap; comuns finas em AE; poucas finas em E; raras finas em EB e BE. 99

OBSERVAÇÕES – 1 Horizonte Bt1 apresenta caráter coeso. 2 Horizontes Bt1 e Bt2 apresentam mosqueados médios comuns difusos

ANEXO C - MEDIDAS FISIOLÓGICAS COLETADAS DO SORGO FORRAGEIRO COM ANALISADOR DE GÁS INFRAVERMELHO

Valores médios para fotossíntese (A), condutância estomática (g), transpiração (E) e CO₂ intercelular (Ci) obtidos por meio de leitura única com analisador de gás infravermelho, submetidas ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tratamentos	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
10SC	6,558	0,274	12,835	327,875
15SC	5,861	0,276	12,317	331,482
26SC	1,198	0,216	10,649	356,607
31SC	17,477	0,279	13,017	258,224
10CC	12,023	0,229	11,287	278,881
15CC	15,869	0,240	12,046	251,368
26CC	10,573	0,214	11,003	282,814
31CC	11,219	0,236	12,107	284,086
Valor-P	0,24	0,10	0,36	0,09