



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
CAMPUS DE PARAGOMINAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**DANIELA ANDRESSA SAKREZENSKI
DOUGLAS ALEXANDRE DE AZEVEDO MARGALHO**

**MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
UM LATOSSOLO AMARELO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA NO SUDESTE PARAENSE**

PARAGOMINAS - PA

2018

DANIELA ANDRESSA SAKREZENSKI
DOUGLAS ALEXANDRE DE AZEVEDO MARGALHO

**MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
UM LATOSSOLO AMARELO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA NO SUDESTE PARAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus de Paragominas, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.
Orientadora: Dr^a. Izabelle Pereira Andrade
Coorientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil

PARAGOMINAS - PA

2018

DANIELA ANDRESSA SAKREZENSKI
DOUGLAS ALEXANDRE DE AZEVEDO MARGALHO

**MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO SOBRE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
UM LATOSSOLO AMARELO E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA NO SUDESTE PARAENSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus de Paragominas, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Data da Aprovação

Banca Examinadora:

_____ORIENTADORA

Izabelle Pereira Andrade/Doutora
Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Paragominas

_____MEMBRO 1

Edilson Carvalho Brasil/Doutor
Embrapa - Amazônia Oriental

_____MEMBRO 2

Luis de Souza Freitas/Doutor
Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Paragominas

Douglas Alexandre de Azevedo Margalho

Dedico este trabalho a minha família, em especial à Maria do Socorro Costa de Azevedo, ao Dalvan Carlos de Azevedo Margalho e Walter Gomez Alvarez de Azevedo - amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, saúde e por permitir-me escalar mais um degrau em minha vida.

A meu esposo Derquian Busnello, pelo amor, cuidado, companheirismo, compreensão e por me motivar a continuar, mesmo em momentos de dificuldades.

A minha família e amigos, que perto ou mesmo distante, me deram apoio e carinho em todo o percurso.

Aos colegas de curso, em especial a Daihany Moraes Callegari, Douglas Alexandre Margalho de Azevedo e Diego Guimarães Vieira pela cumplicidade e compreensão.

A Universidade Federal Rural da Amazônia e todos os meus professores, em especial à Coordenação do curso de Agronomia.

A Embrapa Amazônia Oriental, em especial ao meu orientador Edilson de Carvalho Brasil, por me auxiliar e compartilhar seus conhecimentos.

A todos que de alguma forma contribuíram na realização do experimento, muito obrigada.

‘Daniela Andressa Sakrezenski

Agradeço imensamente por Deus ter me dado a grande oportunidade de viver e conviver com pessoas especiais durante o período de graduação, amigos que, com fé em Deus, levarei para o resto da vida, pois na ausência de minha família, pude contar sempre!

Obrigado, Daihany, Carlos, Diêgo, Daniela, Bruno, Adson, Eduardo, Arthur, Tony e Jhonata! Vocês sempre serão pessoas especiais em minha vida!

À Daihany Moraes Callegari por me fazer muito feliz até aqui e por sempre me ajudar em todas as escolhas que faço!

À professora Isabelle por todo o companheirismo e confiança que temos um com o outro!

À Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus de Paragominas!

Ao Dr. Edilson Brasil pelo apoio dado na elaboração deste trabalho e à Embrapa Amazônia Oriental (Jamil, Paulo e demais funcionários)!

Ao professor Luís por fazer parte de minha vida dentro e fora da UFRA, sendo uma das pessoas mais humildes que já conheci! Ao senhor, todo meu carinho e admiração!

Agradecimento especial também ao Derquian Busnello por ser uma pessoa excepcional e por não medir esforços para me ajudar, tanto na realização deste trabalho, como na oportunidade a mim concedida de expansão de conhecimentos relacionados à agricultura! Você, sem dúvidas, é digno de toda bondade divina! Obrigado por tudo!

Obrigado a todos que direta e indiretamente fizeram parte desse trabalho!

‘Douglas Alexandre de Azevedo Margalho

“A agricultura é a arte de saber esperar”

Riccardo Bacchelli

RESUMO

O conhecimento da variabilidade dos atributos físico-químicos do solo e das culturas no espaço e no tempo é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas. O sistema de preparo de solo que prevalece no polo Paragominas de grãos é o convencional (SC), entretanto, práticas conservacionistas como cultivo mínimo e plantio direto (SPD) já vem sendo usadas no Brasil desde a década de 70. Objetivou-se avaliar métodos de preparo do solo sobre atributos químicos e resistência à penetração de um Latossolo Amarelo e sua influência na produtividade da soja no sudeste paraense. O estudo foi realizado no Município de Paragominas-PA, em área da Fazenda Transamérica, em solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de textura argilosa. Usou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com oito tratamentos [1 - Calcário e Gesso com Subsolação (C+G(SUBS)); 2 - Calcário e Gesso em Sistema Plantio Direto (C+G(SPD)); 3 - Calcário e Gesso em Sistema Convencional (C+G(CONV)); 4 - Calcário com Subsolação (C(SUBS)); 5 - Calcário em Sistema Plantio Direto (C(SPD)); 6 - Calcário em Sistema Convencional (C(CONV)); 7 - Sem Calcário com Subsolação (S/C(SUBS)) e 8 - Sem Calcário em Sistema Plantio Direto (S/C(SPD))] e três repetições, em esquema de parcela subdividida. De acordo com os resultados, os maiores valores de resistência à penetração na camada superficial do solo foram obtidos nos tratamentos sob sistema plantio direto. Nas camadas mais profundas do solo e nos tratamentos sob sistema plantio direto, observou-se uma tendência em aumento à acidez. O tratamento C+G(SUBS) apresentou maior concentração de Ca+Mg, diferindo estatisticamente dos demais testes. Os teores de Al não diferiram estatisticamente em profundidade, sendo classificados como baixos, notando-se tendência em aumento dos teores de Al em profundidade. A CTC do solo apresentou valor superior na camada de 0-10 cm do solo, evidenciando uma frente de concentração das bases trocáveis em superfície. Os tratamentos com subsolação apresentaram valores de resistência à penetração abaixo de 2 MPa em todas as profundidades mensuradas. Os tratamentos submetidos ao SPD apresentaram as maiores médias de pH. A aplicação de calcário e gesso, favoreceu o aumento dos teores de Ca no solo. A movimentação de Ca para as camadas mais profundas do solo foi favorecida pela aplicação de gesso em conjunto com a prática de subsolação. A aplicação de calcário e gesso com subsolação apresentou maior concentração de Ca+Mg. A saturação por base apresentou os maiores valores nas camadas superficiais do solo. Apesar das alterações dos atributos químicos do solo e de resistência à penetração, os tratamentos não influenciam na produtividade da soja.

Palavras-chave: Plantio direto. Sistema convencional. Subsolação. Calagem. Gessagem.

ABSTRACT

Knowledge of variability of physical and chemical attributes of soil and crops in space and time is considered the basic principle for the precise management of agricultural areas. Soil preparation system that prevails in Paragominas grains pole is the conventional one (SC), however, conservation practices such as minimum cultivation and no-tillage (SPD) have been used in Brazil since the 70 's. The aim of this study was to evaluate soil preparation methods on chemical attributes and penetration resistance of a Yellow Latosol and its influence on soybean yield in southeast of Pará. The study was carried out in Paragominas-PA municipality, in the area of Fazenda Transamérica, in a soil classified as dystrophic Yellow Latosol, with a clay texture. The experimental design used was of randomized block with eight treatments [1 - Lime and gypsum with Subsoiling (C + G (SUBS)); 2 - Lime and gypsum in no-tillage System (C + G (SPD)); 3 - Lime and gypsum in Conventional System (C + G (CONV)); 4 - Lime with Subsoiling (C (SUBS)); 5 - Lime in no-tillage System (C (SPD)); 6 - Lime in Conventional System (C (CONV)); 7 - No Lime with Subsoiling (S / C (SUBS)) and 8 - No Lime in no-tillage(S / C (SPD))] and three replications, in subdivided sized plots. According to the results, the highest values of penetration resistance in the soil surface layer were obtained in treatments under no-tillage system. In the deepest layers of soil and treatments under no-tillage system, there was an increasing tendency to acidity. The C+G (SUBS) treatment had a higher concentration of Ca+Mg, differing statistically from the other tests. Al contents did not differ statistically in depth, being classified as low, being noticed an increasing tendency of Al contents in depth. The CTC of soil presented superior value in the 0-10 cm layer of the soil, evidencing a concentration front of the exchangeable bases on the surface. The treatments with subsoiling presented values of penetration resistance below 2 MPa in all the depths measured. The treatments submitted to SPD presented the highest pH averages. Lime and gypsum application favored the increase of Ca contents in the soil. The movement of Ca to the deeper layers of the soil was favored by the application of gypsum in combination with the practice of subsoiling. Lime and gypsum application with subsoiling showed a higher concentration of Ca+Mg. Base saturation presented the highest values in the superficial layers of the soil. Despite the changes in soil chemical attributes and penetration resistance, treatments do not influence soybean yield.

Keywords: No-tillage. Conventional system. Subsoiling. Lime. Gypsum.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização geográfica do Município de Paragominas no Estado do Pará	19
Figura 2 - Aplicação de calcário na área experimental com distribuidor polivalente Jan-Lancer 5.500.	22
Figura 3 - Plantio de soja na área experimental.	23
Figura 4 - Colheita manual de soja em parcela experimental.	24
Figura 5 - Distribuição mensal pluviométrica, durante o período experimental, na fazenda Transamérica em Paragominas - PA.	25
Figura 6 - Coleta de solo na área experimental para retirada de amostras deformadas de solo com uso de trado tipo sonda.	25
Figura 7 - Avaliação da resistência do solo à penetração com o uso de penetrômetro Hatô. .	26
Figura 8 - Valores médios de pH (água) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	30
Figura 9 - pH do solo em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	31
Figura 10 - Teores médios de P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	32
Figura 11 - Teores médios de K ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	33
Figura 12 - Teores médios de Ca+Mg ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	35
Figura 13 - Teores médios de Ca+Mg ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	36
Figura 14 - Teores médios de Al ($\text{cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	36

Figura 15 - Teores médios de CTC Total ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	37
Figura 16 - Saturação por base (V%) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	38
Figura 17 - Saturação por base (V%) do solo em diferentes sistemas de manejo em Paragominas - PA.	39
Figura 18 - Produtividade de soja ($\text{kg}.\text{ha}^{-1}$) em diferentes sistemas de manejo em Paragominas - PA.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise física (granulométrica) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, antes da implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	21
Tabela 2 - Análise química de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, antes da implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	21
Tabela 3 - Resistência à penetração (MPa) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	28
Tabela 4 - Cálcio no solo ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	34
Tabela 5 - Saturação por alumínio do solo (m%) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	14
2.1 Sistema convencional	14
2.2 Sistema plantio direto	15
3 SUBSOLAGEM E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	17
4 CALCÁRIO E GESSO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	18
5 MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 Caracterização da área de estudo	19
5.1.1 Local e clima	19
5.1.2 Geologia e relevo.....	20
5.1.3 Vegetação	20
5.2 Caracterização do solo	20
5.3 Histórico da área	21
5.4 Delineamento experimental	21
5.5 Condução do experimento	22
5.6 Amostragem do solo	25
5.7 Análises químicas do solo	26
5.8 Análise estatística	27
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6.1 Resistência à penetração	28
6.2 pH (água) do solo	29
6.3 P no solo	31
6.4 K no solo	32
6.5 Ca no solo	33
6.6 Ca+Mg no solo	35
6.7 Al no solo	36
6.8 CTC do solo	37
6.9 Saturação por alumínio (m%) do solo	37
6.10 Saturação por base (V%) do solo	38
6.11 Produtividade da soja	39
7 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42
APÊNDICES	47

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de manejo do solo modificam atributos físico-químicos e biológicos do solo, interferindo no manejo a ser adotado em cultivos agrícolas. Dentre as culturas de maior expressão mundial, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) apresenta índices produtivos responsivos aos diferentes manejos existentes nos sistemas de plantio convencional (SPC), direto (SPD) e cultivo mínimo (ALVIM; OLIVEIRA JÚNIOR, 2005; FREITAS et al., 2017). Associado à escolha de técnicas de cultivo, os solos brasileiros, em geral, necessitam de cuidados que devem ser executados periodicamente pelos produtores, pois apresentam impedimentos físicos ao crescimento radicular das culturas em subsuperfície e, quimicamente, são solos pobres e ácidos (NATALE et al., 2012).

Deste modo, para diminuir as consequências da acidez do solo são empregadas técnicas capazes de adaptar o solo à planta, permitindo deste modo o cultivo da cultura. A técnica com maior destaque é a calagem, prática mais utilizada no meio agrícola, que neutraliza os íons H^+ e Al^{3+} , elevando o pH e a saturação por base do solo. Entretanto, esta é limitada à camada de aplicação, e desta forma, como alternativa para as camadas mais profundas, é empregado a gessagem que reduz o Al^{3+} na subsuperfície, melhorando a penetração das raízes (VIGLIO, 2014). O manejo do solo é também fundamental para o cultivo agrícola e, quando usado racionalmente, promove melhor produtividade das culturas, que por sua vez contribuem para ciclagem de nutrientes e estruturação física do solo, caracterizando-se como tecnologias importantes para compor agroecossistemas resilientes e sustentáveis. Porém, quando de maneira incorreta, causa degradação física, química e biológica do solo e, ainda, redução da produtividade (BEUTLER et al., 2014; BRANDÃO et al., 2017).

O município de Paragominas possui características de produção que se destacam dos demais por apresentar alto nível tecnológico nas propriedades, sendo o SPC como o mais adotado, considerado como tradição regional de cultivo (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014). De acordo com os mesmos autores, a técnica da calagem era executada por parte dos produtores entrevistados em sua pesquisa, enquanto que a utilização de gesso não era praticada.

O conhecimento da variabilidade dos atributos físico-químicos do solo e das culturas no espaço e no tempo é considerado o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas (GREGO; VIEIRA, 2005). Assim, métodos de preparo do solo, associados a manejos que alterem as características físicas, como a subsolagem, e químicas do solo, como a utilização de gesso e calcário, podem constituir em importantes práticas para o estabelecimento de tetos produtivos maiores nas culturas no polo Paragominas de grãos. Segundo Schindwein e

Gianello (2004), a dinâmica dessas características é modificada na transição entre os sistemas, tornando-se importante seu acompanhamento.

Desta forma, objetivou-se avaliar métodos de preparo do solo sobre atributos químicos e resistência à penetração de um Latossolo Amarelo e sua influência na produtividade da soja no sudeste paraense.

2 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

A condição inicial de um determinado solo é modificada à medida em que as culturas agrícolas são cultivadas e de acordo com o manejo estabelecido. Para reduzir a degradação e atingir a sustentabilidade, o sistema de manejo adequado é dito como aquele que considera as particularidades de cada região, adequando práticas que possibilitem a preservação ou melhora das condições do solo (FERREIRA; LAMAS, 2006).

O rendimento das culturas agrícolas é dependente de fatores edafoclimáticos, especialmente dos sistemas de preparo do solo (ALBUQUERQUE et al., 2005), que consistem em práticas aplicadas no solo sob uso, ou não, de implementos com intuito de gerar condições favoráveis à semeadura e ao desenvolvimento das culturas. Portanto, longe de ser uma tecnologia simples, o preparo do solo, quando usado racionalmente, pode permitir uma alta produtividade das culturas a baixos custos. Mas pode também, quando usado de maneira incorreta, levar o solo à degradação física, química e biológica, diminuindo paulatinamente seu potencial produtivo (EMBRAPA, 2013).

Até a década de 80, predominou, no Brasil, o sistema de preparo convencional, o qual afetou a estrutura do solo, compactou a camada subsuperficial e acelerou a erosão hídrica, prejudicando o desenvolvimento das plantas. A partir desta constatação e da estagnação no rendimento de grãos, adotaram-se práticas de uso e conservação do solo para minimizar sua degradação, sendo o sistema plantio direto o que se adequou melhor às condições tropicais (ALBUQUERQUE et al., 2005; FERREIRA; LAMAS, 2006).

2.1 Sistema convencional

O SPC consiste na realização de uma aração, caracterizada pelo preparo primário do solo, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento (DERPSCH et al., 1991), também denominadas de operações de preparo periódico ou secundário (EMBRAPA, 2013). Este preparo provoca revolvimento de camadas superficiais, objetivando incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, conseqüentemente, a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, facilitando o crescimento radicular das plantas, podendo também promover o corte e o enterramento das plantas daninhas e auxiliar no controle de pragas e patógenos do solo (BRAUNAK; DEXTER, 1989; GADANHA JÚNIOR et al., 1991).

O emprego desse mesmo manejo, entretanto, ao longo de vários anos de uso repetido e excessivo do mesmo implemento, operado na mesma profundidade, associado à chuvas

intensas e à temperaturas elevadas, pode ocasionar a desestruturação da superfície dos solos, deixando-os mais sujeitos ao processo de erosão e à formação de impedimentos mecânicos abaixo das camadas de solo movimentadas pelos equipamentos, os quais podem interferir no desenvolvimento radicular das culturas, acarretando redução na produtividade, além de comprometer a sustentabilidade da atividade agrícola (BAUDER et al., 1981; STONE; SILVEIRA, 2001).

Desta forma, simultaneamente à expansão das áreas de sistema convencional, verificou-se expressiva degradação ambiental. Tornando-se necessário alternativas a este sistema, introduziu-se o plantio direto e o cultivo mínimo, que tem ganhado cada vez mais espaço na agricultura.

2.2 Sistema plantio direto

O SPD é considerado como sistema de produção conservacionista, contrapondo-se ao sistema tradicional de manejo, envolvendo técnicas de produção que preservam a qualidade ambiental. Este se baseia na rotação de culturas e é caracterizado pelo cultivo em terreno coberto por palha e ausência de preparo do solo por tempo indeterminado (EMBRAPA, 2013). Esse sistema proporciona proteção do solo contra agentes erosivos, maior conservação de água no solo, menores amplitudes térmicas nas camadas superficiais do solo que são favoráveis aos processos fisiológicos como a germinação das sementes e posterior crescimento das plantas, além de vários outros processos positivos para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (FERRARI NETO, 2016).

A adoção de sistemas de rotação de culturas no sistema plantio direto, tem sido preconizada para o manejo físico, químico e biológico do solo, sendo que podem influenciar esses fatores de acordo com as diferenças nas espécies de plantas utilizadas. Preferencialmente, utiliza-se culturas comerciais ou culturas de cobertura do solo que disponham de certos atributos como: grande produção de massa seca, elevada taxa de crescimento, tolerância à seca e ao frio, sistema radicular vigoroso e profundo, elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, elevada relação C/N, entre outros (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009; EMBRAPA, 2013).

Dentre os sistemas de cultivos considerados conservacionistas, tem se destacado o sistema de cultivo mínimo ou reduzido, o qual, de acordo com ASAE (1982) e DALLMEYER (1994), pode ser definido como aquele que proporciona menor número de operações que o

preparo convencional, resultando em menor incorporação de resíduos vegetais, inversão do solo, custo de preparo e redução das perdas de solo e água por erosão. Desta forma, pode-se considerar que tanto o preparo reduzido quanto o sistema de semeadura direta, podem ser enquadrados como preparo conservacionista (CARVALHO FILHO et al., 2007).

Em 2008, Paragominas apresentou 5.475 ha de área plantada no sistema cultivo mínimo, representando 15% da área plantada, 4.290 ha correspondendo ao SPD, com alguma formação de plantas de cobertura. (11,9% da área plantada). Os tipos de plantas de cobertura utilizados no sistema cultivo mínimo (sistema plantio direto incluso) eram: *Brachiaria ruziziensis*, representando 3.600 ha ou 73% da cobertura; milho, com 300 ha ou 5%, e pousio, com 1.185 ha ou 22%. A maior utilização da *B. ruziziensis*, como planta de cobertura, ocorre pela maior facilidade de estabelecimento da mesma em consórcio com a cultura do milho, sua maior estabilidade no sistema (permanece todo o ciclo sobre o solo), facilidade de manejo químico, com utilização do glifosato como herbicida de dessecação e por sua aptidão como planta forrageira na integração lavoura-pecuária (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014, p. 13).

Nestes sistemas alternativos ao SC, pela mobilização mínima do solo, entretanto, é comum ocorrer aumento na densidade do solo (SILVA; REINERT; REICHERT et al., 2000), porém esse adensamento é, muitas vezes, contrabalançado pelo aumento do teor de matéria orgânica (LOVATO et al., 2004) e da atividade biológica (CIVIDANES, 2002), resultando em melhores condições químicas e físicas do solo (ALBUQUERQUE et al., 2005). Todavia, nos últimos anos, tem-se repensado o uso contínuo do sistema plantio direto, pois solos sob esse tipo de sistema apontam para problemas de compactação (SILVEIRA et al., 2008; COLLARES et al., 2008), que vem ocorrendo nas camadas superficiais, devido, principalmente, ao tráfego de máquinas, e implementos em condições de alto teor de água no solo ou por mobilizá-lo somente na linha de semeadura (ARAÚJO et al., 2004).

A melhora da qualidade do solo cultivável, por meio da utilização destes sistemas conservacionistas, permitiu a expansão da agricultura para novas áreas produtoras. Porém, devido principalmente aos problemas físico do solo já citados, o potencial máximo de produtividade trona-se limitado, levando a questionamentos a respeito da sustentabilidade do sistema plantio a longo prazo (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004). Como solução, práticas de revolvimento mínimo do solo, como a subsolagem, tornam-se alternativas à redução de compactação do solo nos sistemas de produção.

3 SUBSOLAGEM E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Em áreas que a compactação é observada, deve-se utilizar um sistema de manejo que consiga romper esta camada compactada, mobilizando o mínimo possível da camada arável e mantendo o máximo de palha sobre o solo (CARVALHO FILHO et al., 2007). Deste modo, a subsolagem é uma prática que vem sendo recomendada para o rompimento do solo em profundidade sem, entretanto, causar inversão do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A American Society of Agricultural Engineers (ASAE) (1982), caracteriza a técnica da subsolagem quando uma ferramenta estreita rompe camadas adensas do solo em profundidades de até 0,40m, com o propósito de desestruturar o solo, melhorando assim o crescimento das raízes.

Os subsoladores são os principais equipamentos utilizados para a descompactação mecânica, devido à formação de fissuras com mínima mobilização do solo. Nesta técnica o rompimento do solo ocorre através da propagação das trincas, ou seja, o solo não é cortado como na aração ou gradagem e sim, rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou através das interfaces dos seus agregados (FERNANDES; SANTINATO, 2012; SOUZA, 2017).

Este método de preparo, por reduzir a compactação do solo, proporciona maior infiltração de água no solo, e o desenvolvimento do sistema radicular, proporcionando melhoria das condições para absorção de água e nutrientes pelas plantas, principalmente em subsuperfície (MOREIRA, 2004), sendo também empregado como forma de incorporação de calcário no solo (AMORIM et al., 2011). Entretanto, dependendo do tipo de solo e das práticas culturais predominantes, esta técnica torna-se impossível de ser aplicada, sendo que os efeitos benéficos da subsolagem tornam-se temporários, com a resistência a penetração regredindo em cerca de 2 a 4 anos, (PELLEGRINI, 2006; GAMERO, 2008).

4 CALCÁRIO E GESSO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os solos brasileiros em sua maioria apresentam características de acidez agregadas à presença de Al^{3+} e Mn^{2+} em níveis tóxicos e de baixos teores de cátions de caráter básico, como Ca e Mg (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007). A acidez pode ser natural, quando em função do material de origem ou dos processos de formação do solo, ou pode ser causada pela exploração agrícola, através da ação dos cultivos excessivos, pela exportação e lixiviação de nutrientes do solo e pelo manejo da fertilidade do mesmo (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2010).

Para atenuar os efeitos negativos da acidificação do solo, é feita a aplicação de calcário (CaCO_3) no solo, objetivando elevar o pH afim de reduzir ou eliminar os efeitos tóxicos do Al e/ou Mn, além de melhorar o ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes essenciais disponíveis (VELOSO; BOTELHO; RODRIGUÊS, 2007; CAIRES, 2010). O calcário quando aplicado ao solo irá liberar o ânion CO_3^{2-} (base forte) que é o principal responsável pela hidrólise da água e formação do íon OH^- , que irá neutralizar a acidez ativa (H^+) do solo (SOUSA et al., 2007).

Este corretivo, como mencionado, pode ser incorporado no solo através da aração e gradagem em sistema convencional, provocando a desestruturação dos agregados do solo, contribuindo para o aumento da suscetibilidade à erosão, além de promover a mineralização da matéria orgânica previamente protegida. Pode também ser incorporado pela subsolagem no cultivo mínimo, ou pela prática da gessagem no plantio direto, uma vez que o interesse de sua aplicação superficial tem por objetivo, principalmente, preservar as propriedades físicas do solo (COSTA, 2015).

Entretanto, sem incorporação mecânica, a calagem pode apresentar ação limitada às camadas superficiais. O gesso agrícola ou sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que é um produto mais solúvel que o calcário (COSTA, 2011), embora não corrija a acidez do solo, também vem se destacando por ser eficaz na redução de alumínio trocável e suprimento de Ca nos horizontes subsuperficiais, favorecendo o crescimento das raízes e rendimento das colheitas, já que movimenta-se ao longo do perfil sob a influência da percolação de água (COSTA, 2011; BRADY; WEIL, 2013).

Em diagnóstico realizado pela Embrapa, no município de Paragominas, constatou-se que depois de alguns anos de cultivo, produtores reportaram aumento de produtividade das culturas em cerca de 10 a 15% em áreas onde realizou-se a calagem e, em face do baixo teor natural de alumínio tóxico detectado nas análises de solo em subsuperfície, a aplicação de gesso era dispensada (ALVES; CARVALHO; SILVA, 2014).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

5.1.1 Local e clima

O estudo foi realizado no Município de Paragominas-PA, na mesorregião sudeste do Estado do Pará (Figura 1). O Município possui aproximadamente 20.000 km² de área territorial, formada por extensas florestas, reflorestamentos, campos e plantios agrícolas, tendo como principal via de acesso a rodovia BR-010 (Rodovia Belém – Brasília), que corta o município no sentido norte-sul, ligando a sua sede à cidade de Belém, capital do estado do Pará.

Figura 1 - Mapa de localização geográfica do Município de Paragominas no Estado do Pará



Fonte: PINTO et al. (2009).

O experimento foi instalado em área da Fazenda Transamérica, cultivada pelo produtor rural Derquian Busnello, localizada à margem da rodovia BR 010, Km 10, município de Paragominas, sob as coordenadas 47°28'0" W e 3° 4'0" S.

O município possui clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (SUDAM, 1984), caracterizado como tropical chuvoso com estação seca bem definida. As temperaturas médias do ar variam de 25,6 °C a 27,8 °C. A precipitação pluviométrica na região tem média anual de 1.802 mm com duas estações, uma chuvosa que vai de dezembro a maio e outra menos chuvosa de junho a novembro. A umidade relativa do ar é bastante elevada com média anual em torno de 80% (RODRIGUES et al., 2002).

5.1.2 Geologia e relevo

A geologia do município de Paragominas é representada pela formação de Itapicuru, do Cretáceo, que apresenta arenitos, predominantemente vermelhos, finos, caulínicos, argilitos vermelhos laminados e calcário margoso fossilífero. Existe, ainda, a presença de sedimentos do Terciário, Barreiras e Quaternários sub atual e recente. O relevo apresenta tabuleiros relativamente elevados e aplainados, formas colinosas dissecadas, baixos tabuleiros, terraços e várzea. Morfoestruturalmente faz parte da unidade que se convencionou chamar de Planalto Sul do Pará/Maranhão (RODRIGUES et al., 2002).

5.1.3 Vegetação

A vegetação natural da região foi classificada, de acordo com Veloso, Rangel Filho e Lima (1991), em Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Densa de terras Baixas e Floresta Ombrófila Densa Aluvial.

5.2 Caracterização do solo

O trabalho foi conduzido em solo representativo da microrregião do sudeste paraense, em solo classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura argilosa (RODRIGUES et al., 2002), durante o período da estação chuvosa, no período de janeiro a junho de 2017.

Antes da instalação do experimento procedeu-se uma amostragem do solo para a caracterização físico-química da área experimental e para estabelecer as recomendações das quantidades de calcário e gesso. A coleta de solo foi realizada em toda a área do experimento, em zigue-zague retirando-se 20 amostras simples para compor cada amostra composta, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Em seguida, as amostras foram devidamente homogeneizadas e, posteriormente, embaladas e etiquetadas para serem enviadas ao laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, localizado em Belém-PA, (Tabelas 1 e 2). As análises foram realizadas conforme a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Análise física (granulométrica) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, antes da implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

Prof. (cm)	Areia grossa	Areia Fina	Silte	Argila Total
	g.kg ⁻¹			
0-10	32	53	496	420
10-20	17	29	294	660
20-30	11	27	383	580
30-40	6	17	237	740

Fonte: Os autores.

Tabela 2 - Análise química de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, antes da implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

Prof. (cm)	pH. (H ₂ O)	M.O.	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	T	t	V%	m%
		g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	-----cmol _c .dm ⁻³ -----	%
0-10	5,60	36,47	17	145	3,2	4,6	0,1	3,63	8,63	5,10	57,95	1,96
10-20	5,20	25,03	17	59	2,2	3,0	0,2	4,13	7,30	3,37	43,48	5,93
20-30	5,70	23,79	7	112	2,6	3,6	0,1	2,97	6,90	4,03	56,93	2,48
30-40	5,30	15,19	2	37	1,6	1,9	0,3	3,14	5,16	2,33	39,25	12,90

MO - Matéria Orgânica, H+Al - acidez potencial, T - CTC total, t - CTC efetiva.

Fonte: Os autores.

5.3 Histórico da área

A área destinada à instalação do experimento foi representativa da região, a qual vem sendo utilizada para produção de grãos ao longo dos dez últimos anos com a sucessão de culturas de arroz, milho e soja, conduzidas sob preparo do solo convencional e plantio direto.

5.4 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com oito tratamentos e três repetições, em esquema de parcela subdividida (“*Split plot*”) para as variáveis de resposta relacionadas às análises químicas do solo. As parcelas compreenderam aos tratamentos formados pelos sistemas de manejo do solo e as subparcelas compreenderam às profundidades de solo.

Os tratamentos corresponderam aos seguintes sistemas de manejo do solo:

1 - Calcário e Gesso com Subsolação (C+G(SUBS)); **2** - Calcário e Gesso em Sistema Plantio Direto (C+G(SPD)); **3** - Calcário e Gesso em Sistema Convencional (C+G(CONV)); **4** - Calcário com Subsolação (C(SUBS)); **5** - Calcário em Sistema Plantio Direto (C(SPD)); **6** - Calcário em Sistema Convencional (C(CONV)); **7** - Sem Calcário com Subsolação (S/C(SUBS)) e **8** - Sem Calcário em Sistema Plantio Direto (S/C(SPD)).

5.5 Condução do experimento

A área total do experimento foi de 87.600 m² (292 m x 300 m), em que cada unidade experimental apresentou as dimensões de 12 m x 300 m.

A dose de calcário foi calculada pelo critério de saturação por bases, obtendo-se 1,50 Mg/ha do corretivo com as seguintes características: 38,5% de CaO, 12,5% de MgO, 99,0% de PN e 87,63% de PRNT. Para a definição da dose de gesso agrícola utilizou-se o critério estabelecido por Alvarez et al. (1999) que toma por base o teor médio de argila das camadas de 20-30cm e 30-40 cm e utilizando-se a seguinte equação:

$$NG = 0,00034 - 0,002445X^{0,5} + 0,033889X - 0,0017636X^{1,5}$$

em que: NG = Necessidade de Gesso e X = teor de argila (%)

A necessidade de gesso estimada foi equivalente a 1,20 Mg/ha do condicionador de solo que possuiu a seguinte composição: 24,53% de Ca e 17,84% de SO₄.

A aplicação dos produtos ocorreu no mês de dezembro de 2016 em horários de ausência de ventos, a fim de evitar a perda de produto por deriva e a contaminação das parcelas vizinhas (Figura 2).

Figura 2 - Aplicação de calcário na área experimental com distribuidor polivalente Jan-Lancer 5.500.



Fonte: Os autores.

A incorporação dos insumos foi realizada conforme a especificação dos tratamentos. Para os tratamentos com subsolagem, a incorporação do calcário e do gesso ao solo foi realizada utilizando-se o implemento agrícola subsolador (Jan com 7 hastes). Para os tratamentos em sistema convencional, utilizou-se uma grade aradora (Tatu-GAICR com 20 discos de 28”). Utilizou-se na grade niveladora (Tatu com 72 discos) para nivelamento do solo em parcelas onde houve incorporação dos produtos.

Para a semeadura de soja utilizou-se a cultivar AS 3810 IPRO. O plantio ocorreu no dia 07/01/2017 (Figura 3) com espaçamento de 0,50 m na entrelinha, semeando-se 12 sementes por metro linear, para a obtenção de uma população média de 9,6 plantas por metro linear, e 192.000 plantas/ha. A adubação foi estabelecida conforme a necessidade da cultura e da análise de solo, aplicando-se 36 kg de K₂O (em cobertura, uma semana anterior ao plantio) e 117 kg de P₂O₅ (na linha de plantio), utilizando-se como fontes cloreto de potássio (KCl) e fosfato monoamônico MAP, respectivamente.

Para o controle de pragas e fungos nos estádios iniciais da cultura, as sementes foram tratadas com fungicidas contendo Carbendazim + Thiram e Fludioxonil + Metalaxyl-m e inseticida Fipronil em dosagens recomendadas para a cultura da soja. Posteriormente, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de aplicações pré e pós emergente com Glifosato. Todos os produtos são recomendados para cultura da soja (AGROFIT, 2018).

Figura 3 - Plantio de soja na área experimental.



Fonte: Os autores.

O manejo de fungicida e inseticida realizado durante o cultivo contou com Authority (i.a. azoxistrobina + flutriafol) + Cercobim 500 SC (i.a. tiofanato metílico), Orkestra (i.a. fluxapiraxade + piraclostrobina) + Cercobim 500 SC (i.a. tiofanato metílico), Fox (i.a. trifloxistrobina + protioconazol) + Unizeb Gold (i.a. mancozebe) e Shake (i.a. pyraclostrobina + epoxiconazol). Todos os produtos acima citados foram utilizados nas dosagens recomendadas em bula por seus respectivos fabricantes.

A colheita da soja foi realizada 104 dias após a semeadura, coletando-se amostras de vagens de plantas em segmentos de linhas de plantio de um metro de comprimento, retiradas aleatoriamente em 11 áreas representativas de cada parcela (Figura 4). Posteriormente, procedeu-se a limpeza, pesagem dos grãos e aferição da umidade dos mesmos para a estimativa da produtividade da cultura de cada parcela.

Figura 4 - Colheita manual de soja em parcela experimental.

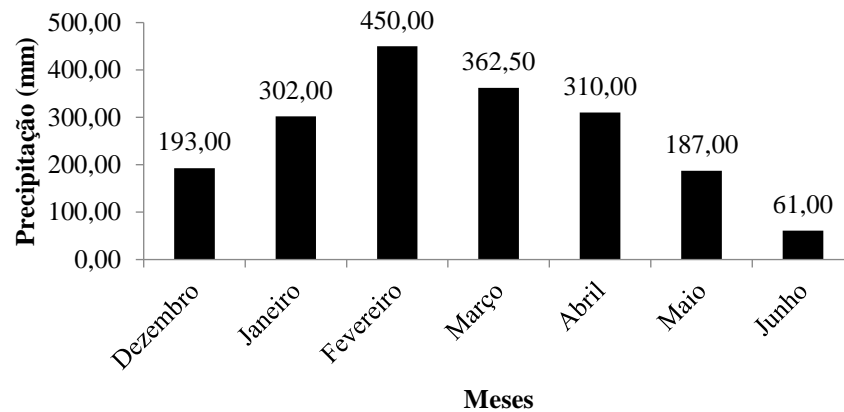


Fonte: Os autores.

Para efeito de avaliação do desenvolvimento dos grãos, procedeu-se a contagem de 100 grãos de cada tratamento.

Os dados pluviométricos registrados na fazenda com o uso de instrumento pluviômetro indicaram que, durante o período experimental, ocorreram aproximadamente 1.860 mm de precipitação (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição mensal pluviométrica, durante o período experimental, na fazenda Transamérica em Paragominas - PA.



Fonte: Os autores.

5.6 Amostragem do solo

Para avaliação das alterações dos atributos químicos do solo, em cada unidade experimental, foram coletadas amostras deformadas do solo nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em cada tratamento, aos 20 dias após a semeadura.

As amostras deformadas foram coletadas em zigue-zague retirando-se 15 amostras simples por profundidade, dentro de cada parcela, utilizando-se trado tipo sonda (Figura 6).

Figura 6 - Coleta de solo na área experimental para retirada de amostras deformadas de solo com uso de trado tipo sonda.



Fonte: Os autores.

Para avaliação do nível de compactação do solo, procedeu a medição da resistência à penetração, ao final da fase de maturação dos grãos de soja, utilizando-se um penetrômetro Hatô e com o solo na umidade de capacidade de campo, definida como a quantidade de água retida pelo solo após o excesso ter sido drenado (VEIHMEYER; HENDRICKSON 1949). A medição foi realizada em oito pontos aleatórios em zigue-zague ao longo de cada parcela nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 (Figura 7).

Figura 7 - Avaliação da resistência do solo à penetração com o uso de penetrômetro Hatô.



Fonte: Os autores.

5.7 Análises químicas do solo

Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental, conforme a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análises de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 1997). O pH foi determinado em solução composta por 25 ml de água e 10 ml de solo, na proporção 1:2,5 (solo:H₂O). O P e K foram extraídos por Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ + 0,05 mol L⁻¹ de HCl), sendo o P determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama. O Ca e Mg foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, sendo o Ca e Mg determinados por complexometria com EDTA. O H+Al foi extraído com solução de acetato de cálcio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinado por titulação.

O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkey & Black, baseado no princípio da oxidação da matéria orgânica, com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997).

Com base nos teores de carbono orgânico, calculou-se o teor de matéria orgânica pela fórmula:

$$\text{M.O} = \% \text{ de } C_{\text{org}} \cdot 1,724 \text{ (g.kg}^{-1}\text{)},$$

em que: M.O = Matéria Orgânica (%); C_{org}= porcentagem de Carbono Orgânico.

5.8 Análise estatística

Para a avaliação dos sistemas de manejo do solo procedeu-se a análise de variância (Teste F) das variáveis de resposta considerando-se o delineamento em parcelas subdivididas e as profundidades de amostragem como subparcelas. Para avaliação estatística da produtividade da cultura da soja utilizou-se o delineamento em blocos casualizados. Conforme a significância dos resultados, as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resistência à penetração

De acordo com a análise de variância, os valores de resistência à penetração do solo foram influenciados significativamente pela interação sistemas de manejo do solo versus profundidade (Apêndice 1).

Os maiores valores de resistência à penetração do solo na profundidade de 0-10 cm foram obtidos nos tratamentos sob sistema de plantio direto, independentemente de estarem associados à calagem e gessagem, aplicados conjuntamente ou isoladamente, que não diferiram estatisticamente do sistema convencional de preparo do solo, com utilização de calcário e gesso, porém foram significativamente superiores aos demais. Esses resultados podem ser devido ao fato de o sistema plantio direto não admitir o revolvimento do solo, mantendo a estrutura natural do solo, que pode ocasionar a maior resistência à penetração. Resultados similares foram encontrados por Hill e Cruse (1985).

Os menores valores de resistência à penetração até a profundidade de 20 cm foram constatados nos tratamentos com subsolagem, diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 3). Esses resultados foram ocasionados pela maior movimentação nas camadas do perfil do solo com a prática da subsolagem, tornando-o menos compactado.

Tabela 3 - Resistência à penetração (MPa) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
C+G(SPD)	1,96 a	1,99 a	2,00 a	2,00 a
S/C(SPD)	1,89 a	2,00 a	2,00 a	2,00 a
C(SPD)	1,88 a	2,00 a	2,00 a	2,00 a
C+G(CONV)	1,81 a	2,00 a	2,00 a	2,00 a
C(CONV)	1,37 b	1,97 a	2,00 a	2,00 a
C(SUBS)	1,13 bc	1,57 b	1,92 a	1,91 a
S/C(SUBS)	1,01 bc	1,58 b	1,80 a	1,97 a
C+G(SUBS)	0,91 c	1,45 b	1,80 a	1,96 a

Médias seguidas de mesma letra na vertical comparam sistemas de manejo e não diferem entre si à 5% de probabilidade.

Fonte: Os autores.

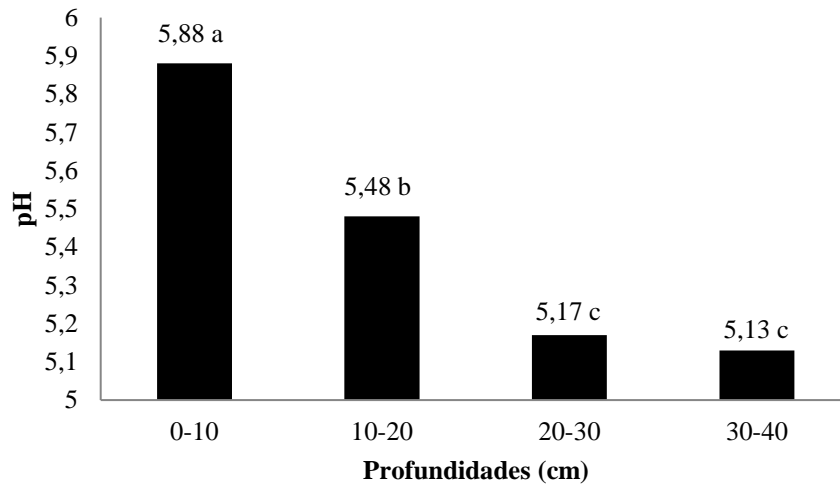
Para as profundidades de 20-30 e 30-40 cm, não houve diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, os tratamentos com subsolagem apresentaram valores de resistência à penetração abaixo de 2 MPa em todas as profundidades mensuradas, indicando uma tendência. Alguns autores têm indicado o valor de 2 MPa como crítico de resistência à penetração do solo, e consideram que, a partir desse valor, o desenvolvimento radicular das culturas pode ser grandemente prejudicado (SILVA; KAY; PERFECT, 1994; TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1999).

6.2 pH (água) do solo

De acordo com a análise de variância, os valores de pH do solo foram influenciados significativamente, e de forma isolada pelos sistemas de manejo e pela profundidade (Apêndice 1).

O pH apresentou efeito isolado em profundidade para todos os tratamentos, entretanto, obteve-se valores médios de 5,68 na camada de 0-20 cm do solo (Figura 8), encontrando-se ligeiramente abaixo aos recomendados por Sfredo (2008) (6,0 a 6,5), o que poderia afetar a disponibilidade de nutrientes. Nas camadas mais profundas, observou-se tendência à acidez do solo, correlacionando-se com a diminuição dos teores de bases como Ca e Mg e aumento da saturação por alumínio em profundidade. Os maiores teores de pH em superfície podem ser devido a aplicações anteriores de calcário na área, promovendo melhoria na redução da acidez do solo.

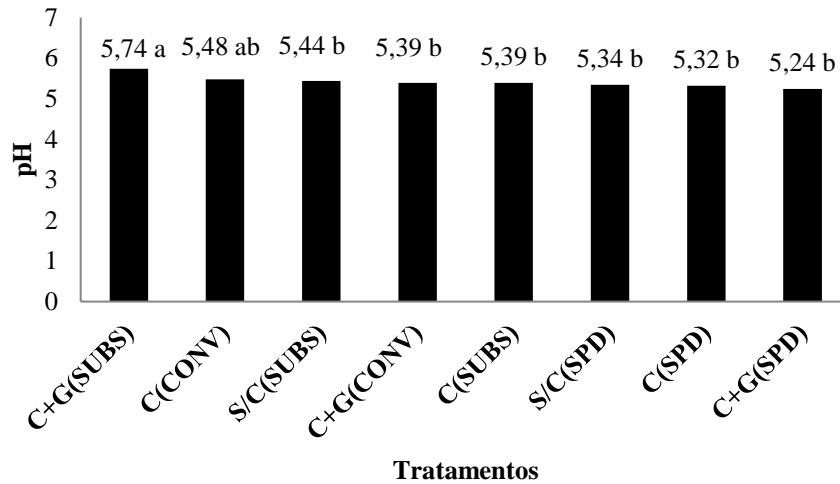
Figura 8 - Valores médios de pH (água) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

As médias dos valores de pH dos tratamentos em que houve incorporação de calcário e/ou gesso com subsolagem e em sistema convencional foram superiores às obtidas no sistema plantio direto, destacando os tratamentos C+G (SUBS) e C(CONV) (Figura 9). Esses resultados são esperados já que a maior eficiência do calcário se verifica quando há maior contato com as partículas do solo, favorecendo a redução da acidez, pelo aumento do pH. Os menores valores em sistema plantio direto justificam-se devido à aplicação superficial de calcário sem incorporação, principalmente nos primeiros anos de cultivo, desta forma, há necessidade de movimentação do calcário em subsuperfície, uma vez que, a reação deste corretivo é restrita a uma pequena distância do local da aplicação (RAIJ et al., 1996).

Figura 9 - pH do solo em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

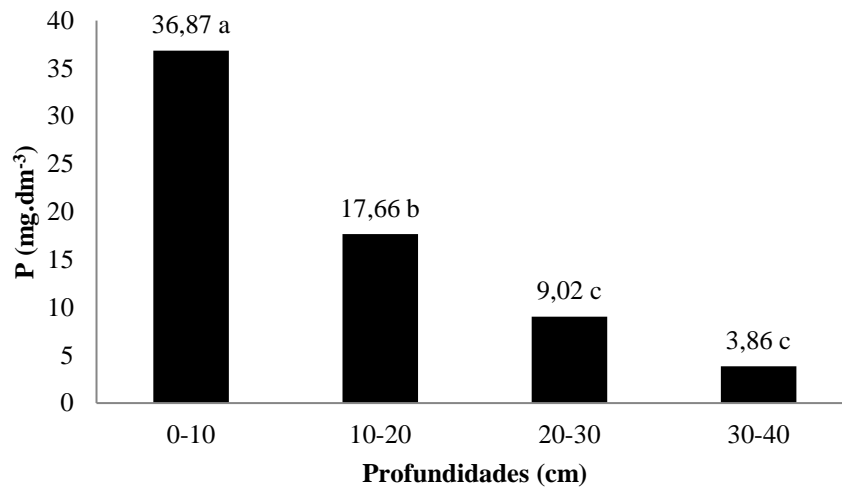
6.3 P no solo

De acordo com a análise de variância, os valores de P no solo foram influenciados significativamente pela profundidade (Apêndice 1).

O teor de P no solo apresentou diferenças estatísticas somente em profundidade independentemente dos tratamentos, provavelmente devido aos tratamentos terem recebido adubação de forma igualitária. O nutriente apresentou maior concentração na camada superficial do solo (0-20 cm) (Figura 10), devido à forma de aplicação do fertilizante, que ocorre na linha de semeadura nessa mesma profundidade, somado à baixa mobilidade do nutriente no perfil do solo (CARVALHO et al., 2007).

A média de P na camada 0-20 cm foi de $27,27 \text{ mg.dm}^{-3}$, consideravelmente superior ao nível crítico ($5,7 \text{ mg.dm}^{-3}$) estabelecido por CRAVO et al. (2007) para a cultura da soja em Latossolo Amarelo argiloso, indicando que o solo apresentava teores de P em níveis adequados para atender as exigências nutricionais da cultura da soja.

Figura 10 - Teores de médios de P ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

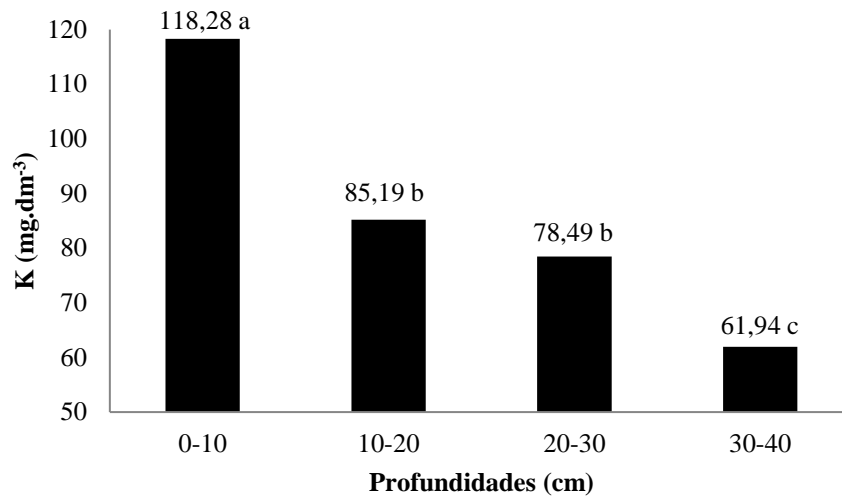
6.4. K no solo

De acordo com a análise de variância, os valores de K no solo foram influenciados significativamente, e de forma isolada pela profundidade (Apêndice 1).

O teor de K no solo apresentou diferenças estatísticas somente em profundidade para todos os tratamentos, com comportamento semelhante ao P devido à utilização de dosagem padrão na adubação para todas as parcelas experimentais. O nutriente apresentou maior concentração nas camadas superficiais do solo (0-20 cm) (Figura 11), uma vez que sua aplicação foi realizada à lanço.

Em média o teor de K na camada de 0-20 cm foi equivalente a $101,74 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, o qual pode ser considerado como teor muito alto, estando acima do nível crítico de $90 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ indicado por Brasil e Cravo (2007).

Figura 11 - Teores médios de K ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

6.5 Ca no solo

De acordo com a análise de variância, os valores de Ca no solo foram influenciados significativamente pela interação sistemas de manejo do solo versus profundidade (Apêndice 1).

Na camada superficial do solo (0-10 cm), observou-se que dentre os diferentes sistemas de manejo, os maiores teores de Ca foram observados nos tratamentos com a aplicação de calcário e gesso, tanto no sistema plantio direto como no tratamento com subsolagem, que não diferiram significativamente entre si e foram ligeiramente superiores ao tratamento com aplicação de calcário e gesso no sistema convencional (Tabela 4). Esses resultados indicam que a aplicação conjunta de calcário e gesso favoreceu o aumento dos teores de Ca no solo, o que era esperado, já que ambos os produtos possuem o nutriente em sua constituição. Os tratamentos que receberam somente a aplicação de calcário nas áreas sob sistema plantio direto, convencional e com subsolagem não diferiram entre si e apresentaram teores de Ca no solo ligeiramente inferiores aos anteriores. Os menores teores do nutriente foram obtidos nos tratamentos que não receberam a aplicação de calcário e gesso, nas áreas sob sistema plantio direto e com subsolagem (Tabela 4).

Tabela 4 - Cálcio no solo ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

Sistema de manejo do solo	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
C+G(SUBS)	4,50 a	2,75 ab	2,95 a	2,35 a
C+G(SPD)	4,30 a	3,07 a	2,00 bc	1,93 ab
C+G(CONV)	3,93 ab	2,70 ab	1,93 bc	1,77 ab
C(SPD)	3,65 b	2,70 ab	1,43 c	1,53 b
C(SUBS)	3,53 bc	2,55 ab	2,10 b	1,65 b
C(CONV)	3,43 bc	2,87 ab	1,80 bc	1,80 ab
S/C(SPD)	2,97 cd	2,37 b	1,77 bc	1,70 b
S/C(SUBS)	2,77 d	2,53 ab	1,75 bc	1,77 ab

Médias seguidas de mesma letra na vertical comparam sistemas de manejo e não diferem entre si à 5% de probabilidade.

Fonte: Os autores.

Na camada de 10-20 cm do solo, o maior teor de Ca foi observado no tratamento com aplicação conjunta de calcário e gesso em área sob sistema plantio direto, cujo valor foi superior aos demais tratamentos, os quais não diferiram significativamente entre si. O menor teor de Ca foi obtido no tratamento S/C(SPD) que apresentou valor ligeiramente inferior aos demais (Tabela 4).

Na profundidade de 20-30 cm, observou-se que o maior teor de Ca foi obtido no tratamento com calagem e gessagem submetido à subsolagem, que diferiu estatisticamente dos demais. O tratamento com aplicação de calcário e submetido à subsolagem apresentou o segundo maior teor de Ca no solo. Esses resultados indicam que, em ambos os tratamentos, houve uma movimentação de Ca em profundidade, sendo de modo mais pronunciado pela aplicação de calcário e gesso. Porém, a subsolagem parece ter favorecido a movimentação do calcário para camadas mais profundas, já que esses tratamentos foram submetidos à prática e apresentaram os maiores teores de Ca. Nos demais tratamentos, os teores de cálcio não diferiram significativamente entre si, com exceção do tratamento C(SPD) que apresentou os menores teores do nutriente no solo (Tabela 4).

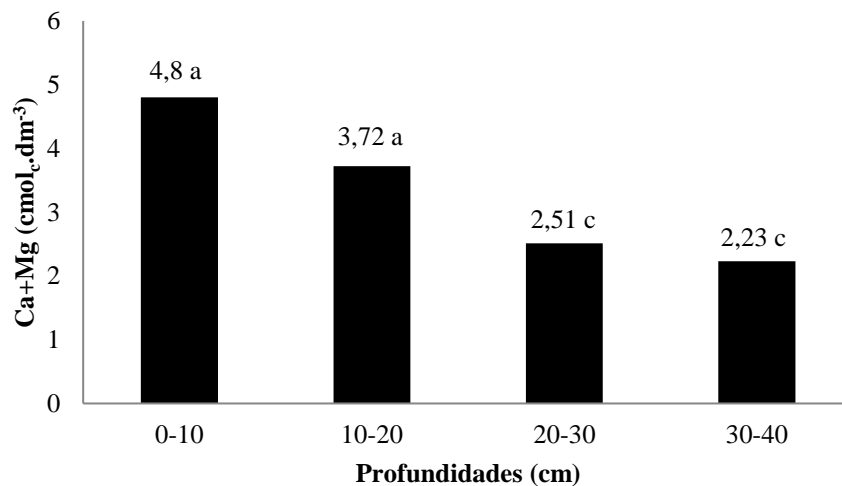
Da mesma forma que na camada anterior, na profundidade de 30-40 cm do perfil do solo, o maior teor de Ca foi verificado no tratamento com aplicação conjunta de calcário e gesso submetida à subsolagem, que foi significativamente superior aos demais. Esse resultado sugere que a movimentação de Ca para a camada mais profunda foi favorecida pela aplicação de gesso, quando submetida à prática de subsolagem. Os tratamentos C+G(SPD), C(CONV), C+G(CONV) e S/C(SUBS) não diferiram entre si e foram superiores aos C(SPD), C(SUBS) e S/C(SPD), que apresentaram os menores teores de Ca no solo (Tabela 4).

6.6 Ca+Mg no solo

De acordo com a análise de variância, os valores de Ca+Mg no solo foram influenciados significativamente, e de forma isolada pelos sistemas de manejo e pela profundidade (Apêndice 1).

Na camada superficial do solo (0-20 cm), foram obtidos os maiores teores de Ca+Mg, diferindo significativamente das camadas subsuperficiais (Figura 12). Os teores de Ca+Mg decresceram acentuadamente logo abaixo da camada superficial, indicando pouca mobilidade no perfil do solo. A ausência dessas bases em subsuperfície pode influenciar o desenvolvimento radicular das plantas e o desempenho das culturas (STONE; SILVEIRA, 2001).

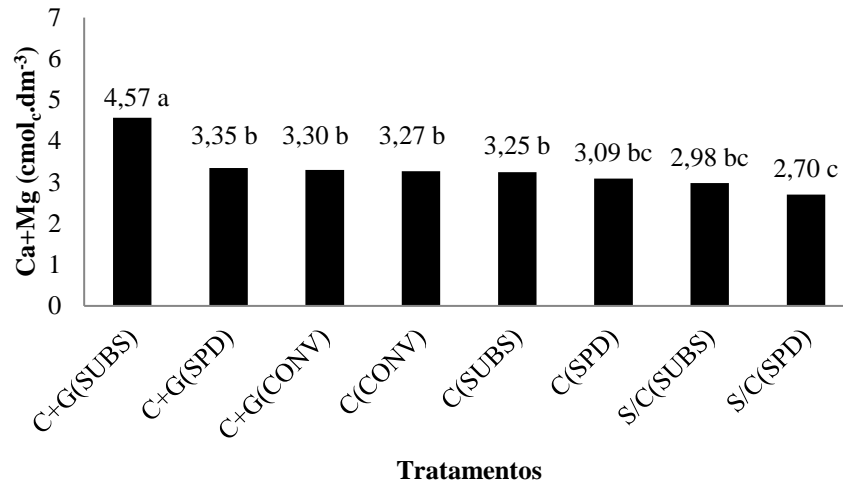
Figura 12 - Teores médios de Ca+Mg ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

O tratamento C+G(SUBS) apresentou maior concentração de Ca+Mg, diferindo estatisticamente dos demais testes, sendo possivelmente atribuído à incorporação mecânica e química utilizada no preparo do solo. Nos tratamentos em que não houve a aplicação de calcário foram observados os menores valores de Ca+Mg, devido à ausência da aplicação destes nutrientes no solo por meio da calagem e gessagem (Figura 13). Os teores obtidos em todas as profundidades são considerados médios de acordo Brasil e Cravo (2007).

Figura 13 - Teores médios de Ca+Mg ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



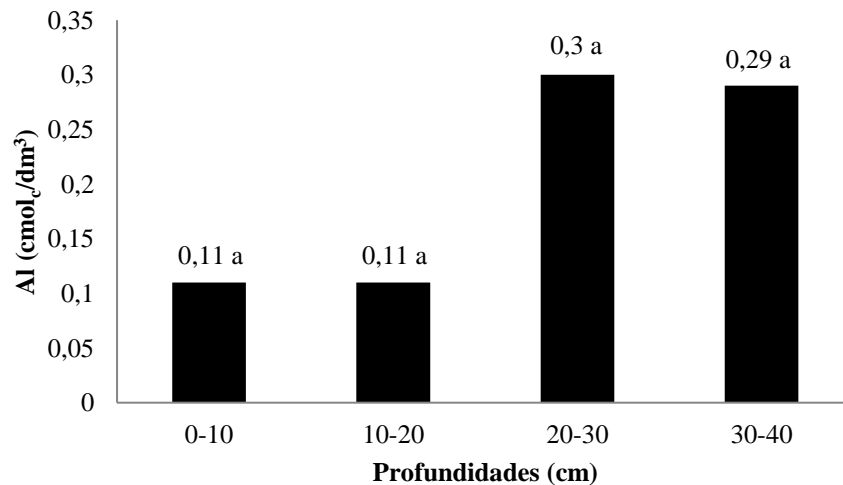
Fonte: Os autores.

6.7 Al no solo

De acordo com a análise de variância, os valores Al no solo não foram influenciados significativamente, por nenhuma das fontes de variação (Apêndice 1).

Os teores de Al não diferiram estatisticamente em profundidade (Figura 14). Os resultados obtidos são classificados como baixos, situando-se até $0,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (BRASIL; CRAVO, 2007). Apesar disso, notou-se tendência em aumento dos teores de Al em profundidade, possivelmente atribuído à baixa eficiência dos corretivos em subsuperfície.

Figura 14 - Teores médios de Al ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

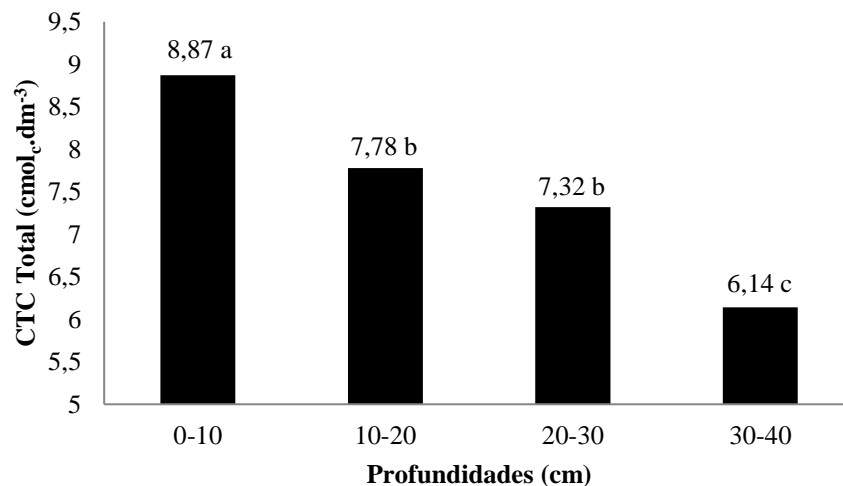


Fonte: Os autores.

6.8 CTC do solo

A CTC apresentou efeito isolado em profundidade (Apêndice 1), apresentando valor superior na camada de 0-10 cm do solo, diferindo estatisticamente das demais profundidades, devido à maior concentração de corretivos e condicionadores na camada superficial do solo e conseqüentemente, por uma frente de concentração das bases trocáveis em superfície (Figura 15). Esses resultados são ocasionados em decorrência dos maiores teores de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, já que corresponde ao principal componente da CTC em solos tropicais (BOHN; MCNEAL; O'CONNOR, 1985).

Figura 15 - Teores médios de CTC Total ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

6.9 Saturação por alumínio (m%) do solo

De acordo com a análise de variância, os valores de saturação por alumínio do solo foram influenciados significativamente pela interação sistemas de manejo do solo versus profundidade (Apêndice 1).

Para os valores de saturação por alumínio, constatou-se diferença significativa apenas na camada 20-30 cm do solo, tendo o maior valor de m% no tratamento calagem sob sistema plantio direto, diferindo estatisticamente dos demais, com exceção do tratamento submetido à aplicação de calcário e gesso, sob sistema plantio direto (Tabela 5). Nessa camada, o tratamento calagem e gessagem submetidos à subsolagem do solo apresentou os menores valores de m%.

Nas profundidades de 0-10, 10-20 e 30-40 cm do solo, não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos, para a saturação por alumínio.

Tabela 5 - Saturação por alumínio do solo (m%) em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	20-30	30-40
C+G(SUBS)	1,57 a	1,70 a	3,22 c	3,98 a
C(SUBS)	2,03 a	3,43 a	6,09 c	5,91 a
S/C(SUBS)	3,11 a	2,68 a	6,87 c	6,70 a
C+G(CONV)	1,80 a	2,65 a	7,31c	7,72 a
C(CONV)	2,51 a	2,36 a	10,27 bc	7,31 a
S/C(SPD)	2,20 a	4,33 a	10,34 bc	9,74 a
C+G(SPD)	1,86 a	2,48 a	15,84 ab	5,15 a
C(SPD)	1,82 a	2,68 a	20,14 a	8,69 a

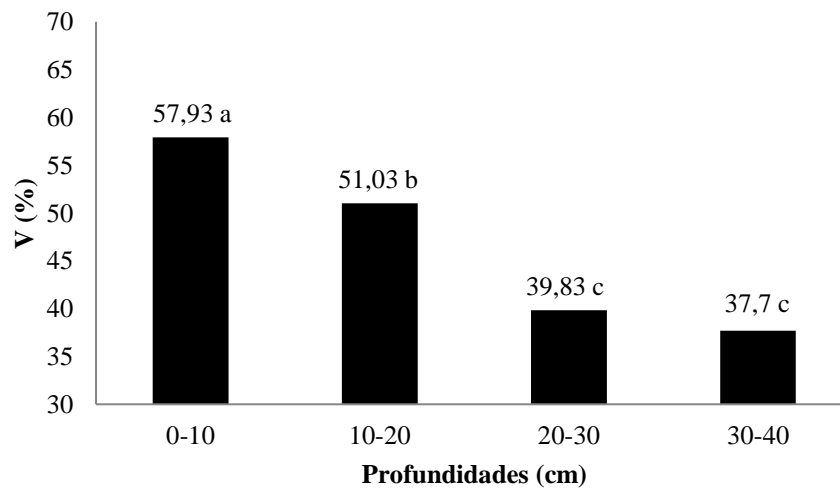
Médias seguidas de mesma letra na vertical comparam sistemas de manejo e não diferem entre si à 5% de probabilidade.

Fonte: Os autores.

6.10 Saturação por base (V%) do solo

A saturação por base seguiu a mesma tendência das bases das demais variáveis, por ser dependente da soma de bases e acidez potencial, apresentando efeito isolado em profundidade e entre os tratamentos (Apêndice 1). Os maiores valores de V% foram obtidos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm do solo (Figura 16).

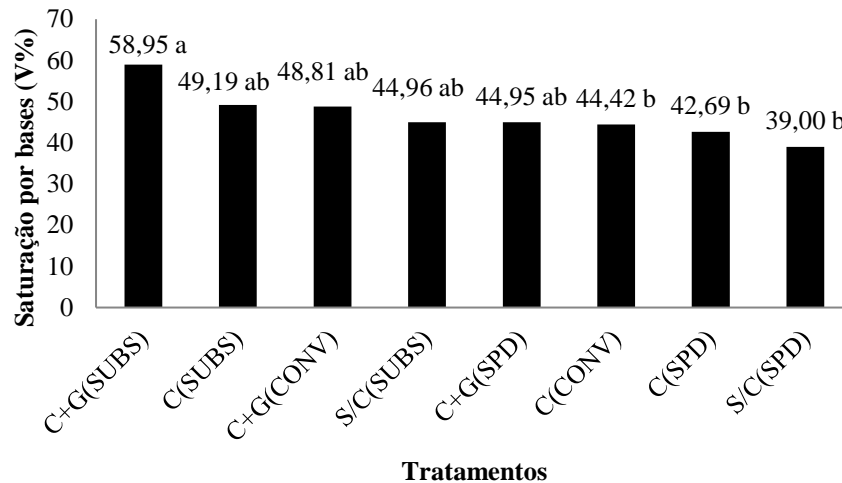
Figura 16 - Saturação por base (V%) de um Latossolo Amarelo distrófico até a profundidade de 40 cm, após a implantação do experimento, no município de Paragominas, PA.



Fonte: Os autores.

Houve uma tendência em V% negativa nos tratamentos com sistema de plantio direto, quando comparado aos testes com subsolagem associados ou não com calcário e gesso, os quais apresentaram os maiores resultados (Figura 17). Entretanto, neste estudo foram obtidos valores inferiores aos recomendados à cultura da soja de 60-70% para estado do Pará (VELOSO; BOTELHO; RODRIGUÊS, 2007).

Figura 17 - Saturação por base (V%) do solo em diferentes sistemas de manejo em Paragominas - PA.



Fonte: Os autores.

6.11 Produtividade da soja

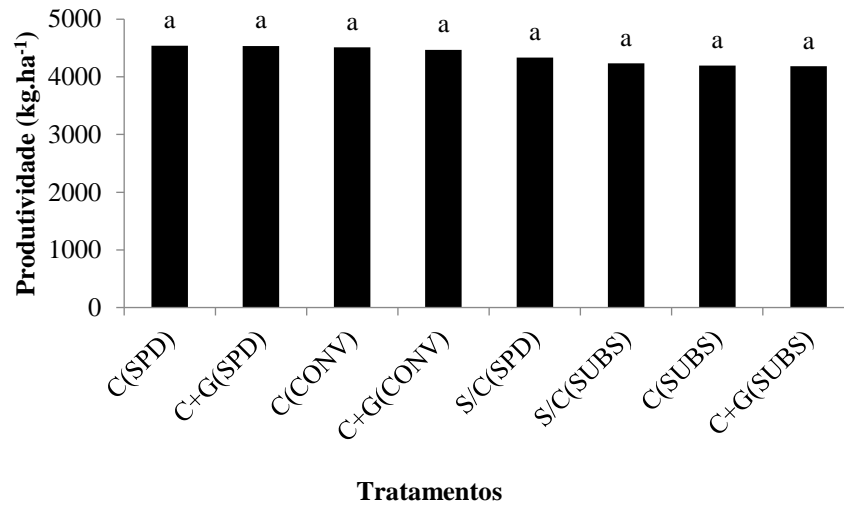
De acordo com a análise de variância, os valores de produção da soja não foram influenciados significativamente, por nenhuma fonte de variação (Apêndice 1).

A produtividade da soja não apresentou diferença estatística para os diferentes manejos de solo. Porém, observou-se tendência de maior produção nos tratamentos submetidos ao sistema plantio direto e ao sistema de preparo convencional, com a aplicação de calcário e de calcário e gesso (Figura 18). O tratamento sem calcário submetido ao sistema plantio direto apresentou valor ligeiramente inferior aos tratamentos acima citados. Todos os tratamentos submetidos ao preparo de solo com uso de subsolador - sem calagem, com calagem, calagem e gessagem, apresentaram valores de produtividade inferiores aos sistemas plantio direto e convencional.

Foi possível constatar que a aplicação de calcário e de gesso, associados a um manejo de cultivo (SPD, SC) não melhoraram a produtividade do sistema. Isso pode ser explicado devido à boa condição nutricional inicial do solo, expressa nas análises antes da implantação do experimento.

De forma geral, os resultados apontaram que o uso de calcário e gesso, associado a prática de subsolagem possibilitou a movimentação de bases para as camadas mais profundas, e conseqüentemente, a diminuição da saturação por alumínio. No entanto, mesmo apresentando os teores mais baixos de pH, os tratamentos submetidos ao sistema plantio direto, não obtiveram produtividade inferior, indicando adequado desenvolvimento das plantas nessas condições.

Figura 18 - Produtividade de soja ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em diferentes sistemas de manejo em Paragominas - PA.



Fonte: Os autores.

7 CONCLUSÃO

Os tratamentos com subsolagem apresentaram valores de resistência à penetração abaixo de 2 MPa em todas as profundidades mensuradas.

Os tratamentos submetidos ao SPD apresentaram as maiores médias de pH.

A aplicação de calcário e gesso, favoreceu o aumento dos teores de Ca no solo.

A movimentação de Ca para as camadas mais profundas do solo foi favorecida pela aplicação de gesso em conjunto com a prática de subsolagem.

A aplicação de calcário e gesso com subsolagem apresentou maior concentração de Ca+Mg.

A saturação por base apresentou os maiores valores nas camadas superficiais do solo.

Apesar das alterações dos atributos químicos do solo e de resistência à penetração, os tratamentos não influenciam na produtividade da soja.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários.** Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 02/01/2018.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Avaliação de sistemas de preparo e calagem em um Latossolo Bruno aluminoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, 2005.
- ALVAREZ, V.H. et al. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Editores. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação.** Viçosa, MG, 1999. 359p.
- ALVES, L. W. R.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, L. G. T. **Diagnóstico Agrícola do Município de Paragominas, PA.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 26 p.
- ALVIM, M. I. S. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. B. Análise da competitividade da produção de Soja no sistema de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 505-528, julho/set. 2005.
- AMORIM et al. Doses, modos de aplicação de calcário e índices de acidez do solo para produção de soja e milho na região da zona da mata de Rondônia. Porto Velho: **Revista Pesquisa e Criação.** n. 10, 2011.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, 2009.
- ARAÚJO, M. A. et al. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, n. 2, 2004.
- ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships.** In: ASAE Standards 1982. St. Joseph, 1982.
- BAUDER, J. W.; RANDAL, G. W.; SWAN, J. B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, 1981.
- BEUTLER, A. N. et al. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, 2014.
- BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry.** New York: J. Wiley & Sons, 1985. 329 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.

BRANDÃO, S. S. et al. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n. 4, 2017.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S. Interpretação dos Resultados de Análises de Solo. In: CRAVO, M. da S.; VIÉGAS, I. de J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

BRAUNACK, M. V.; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 14, 1989.

CAIRES, E. F. Manejo da acidez do solo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: contexto mundial e técnicas de suporte**. Piracicaba: IPNI, v. 1, 2010. p. 277-338.

CAMARGO, O.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.

CARVALHO et al. Efeito de sistemas de manejo sobre o fósforo e o potássio em Latossolo Vermelho Amarelo do Sudeste paraense. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 31., 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.

CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, 2007.

CIVIDANES, F. J. Efeitos do sistema de plantio e da consorciação soja-milho sobre artrópodes capturados no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, 2002.

COLLARES, G. L. et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, 2008.

COSTA, C. H. M. da. **Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi**. 2015. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2015.

_____. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2011.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J.; SILVEIRA FILHO, A.; EL HUSNY, J. C. Resposta da soja ao fósforo em Latossolo Amarelo muito argiloso do Pará In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 31., 2007, Gramado. **Resumos...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

DALLMEYER, A. U. **Eficiência energética e operacional de equipamentos conjugados de preparo de solo**. 1994. 157 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

DERPSCH, R. et al. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo no conservacionismo do solo.** Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 212, 1997.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2014.** Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, F.; SANTINATO, R. Utilização da subsolagem na redução da compactação do solo para produção de café cultivado no cerrado mineiro. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15, 2012.

FERRARI NETO, J. **Qualidade física e química do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário em experimento de longa duração.** 2016. 184 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu - SP, 2016.

FERREIRA, A. C. de B.; LAMAS, F. M. **Manejo do Solo e Instalação da Cultura do Algodoeiro.** Campina Grande: Embrapa - Circular técnica nº 91, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, L. de. et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, São Paulo, v. 26, n. 1-2. 2017.

GADANHA JUNIOR, C. D. et al. **Máquinas e implementos agrícolas no Brasil.** São Paulo: IPT, 1991.449 p.

GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral (“paraplow”), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho.** 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, 2005.

HILL, R. L.; CRUSE, R. M. Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisoils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49,1985.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento de milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, 2004.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG.** 2004. 154 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro - SP, 2004.

NATALE, W. et al. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, dez. 2012.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. et al. Soja. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Culturas**. Piracicaba: IPNI, v. 3, 2010. p. 5-35.

PELLEGRINI, A. **Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2006.

PINTO, A. et al. **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas**. Relatório Técnico. Belém/PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon. 2009. 65 p.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. 285p.

RODRIGUES, T. E. et al. **Caracterização e Classificação dos Solos do Município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. p.64, 2002.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Necessidades de novos estudos de calibração e recomendação de fertilizantes para as culturas sob sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 79, 2004.

SFREDO, G. J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 4, 2004.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, 1994.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, 2000.

SILVEIRA, P. M. et al. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, 2008.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. G. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 205-274.

SOUZA, F. H. **Desempenho das culturas de soja e milho e atributos físicos do solo em diferentes sistemas de preparo e retomada do sistema de plantio direto**. 2017. 67 f. Tese (Doutorado em Sistemas de produção) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu - SP, 2017.

- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, 2001.
- SUDAM. Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. **Atlas climatológico da Amazônia Brasileira**. Belém, (Brasil, SUDAM. Publicação, 39). 125 p. 1984.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v. 52, 1999.
- VEIMEHYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Sci.**, 68:75-94, 1949.
- VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; RODRIGUES, J. E. L. F. Correção da acidez do solo. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais / IBGE, Rio de Janeiro. 1991.
- VIGLIO, L. M. **Crescimento inicial de cana-de-açúcar em Latossolo com gradiente de saturação por alumínio e submetido à aplicação de vinhaça**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2014.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Resumo de análise de variância de resistência à penetração, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), cálcio mais magnésio (Ca+Mg), Alumínio (Al), potencial hidrogeniônico (pH), saturação por base (V%) e por alumínio (m%) e CTC total de um Latossolo Amarelo distrófico em Paragominas - PA.

Fontes de variação	Graus de Liberdade	Quadrados médios									
		Res. penet.	pH	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	CTC total	m%	V%
Bloco	2	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	243,85 ^{ns}	970,69 ^{ns}	0,22**	0,16 ^{ns}	0,15 ^{ns}	7,49**	11,52**	177,04 ^{ns}
Tratamento (T)	7	0,45**	0,27**	144,21 ^{ns}	554,17 ^{ns}	1,18**	3,65**	0,04 ^{ns}	2,08 ^{ns}	35,07**	423,86**
Erro 1	14	0,05	0,03	72,18	363,61	0,05	0,10	0,04	1,64	1,36	96,00
Profundidade (P)	3	1,16**	2,88**	5051,43**	13422,80**	16,39**	33,54**	0,29 ^{ns}	30,51**	329,05**	2186,22**
TxP	21	0,11**	0,05 ^{ns}	148,81 ^{ns}	4772,55 ^{ns}	0,26**	0,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,38 ^{ns}	23,47**	26,10 ^{ns}
Erro 2	6	0,01	0,02	50,23	250,27	0,03	0,10	0,06	0,45	4,06	22,66
Erro 3	42	0,01	0,00	52,37	379,06	0,03	0,07	0,04	0,22	1,51	10,14
Total corrigido	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	12,61	3,46	50,41	22,18	9,35	9,72	93,29	17,03	21,38	21,02
CV 2 (%)	-	5,87	2,88	42,05	18,40	7,06	9,62	125,36	8,87	36,95	10,21
CV 3 (%)	-	6,55	1,79	42,94	22,65	7,45	7,76	97,76	6,31	22,51	6,83

CV (%): Coeficiente de variação; **: Significativo à 5% (P<0,05) de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não significativo.