

MARINA FABRIS MATTÉ

ABSORÇÃO DE N, P, K POR PLANTAS DE SOJA EM SOLO
SOB VARIAÇÃO DE COMPACTAÇÃO

CASCABEL
PARANÁ - BRASIL
MAIO - 2019

MARINA FABRIS MATTÉ

ABSORÇÃO DE N, P, K POR PLANTAS DE SOJA EM SOLO
SOB VARIAÇÃO DE COMPACTAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Yuji Tsutsumi

Coorientador: Prof. Dr. Deonir Secco

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
MAIO – 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Matté, Marina Fabris

Absorção de N, P, K por plantas de soja em solo sob variação de compactação. : Absorção de N, P, K por plantas de soja em solo sob variação de compactação. / Marina Fabris Matté; orientador(a), Claudio Tsutsumi; coorientador(a), Deonir Secco, 2019.
60 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2019.

1. Glycine max. 2. Compactação. 3. Nutrientes. 4. Infiltração. I. Tsutsumi, Claudio. II. Secco, Deonir. III. Título.

MARINA FABRIS MATTÉ

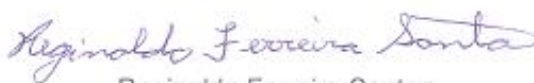
Absorção de N, P, K por plantas de soja em solo sob variação da compactação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Cláudio Yuji Tsutsumi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Ana Paula Moraes Mourão-Simonetti

Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG)

Cascavel, 25 de março de 2019

*“Dedico a minha amada e querida mãe, sempre trabalhando e me auxiliando
nos momentos mais difíceis.”*

“Ao meu amado e querido pai por seu trabalho de nos manter fortes.”

“A minha amada filha por ser minha força, caminho e luz todos os dias.”

Agradecimentos

Agradeço a Deus, nosso Senhor, por me dar o dom da vida.

Agradeço aos meus pais pela compreensão nos meus estudos, por serem meus guias e protetores e cuidarem muito bem de minha filha.

Agradeço à minha filha por me mostrar que existe amor nesse mundo.

Agradeço meu Irmão Olivo e Cunhada Jaqueline por me ajudarem com minha filha.

Agradeço a minha amada Vó Maria por tantas vezes ajoelhar e rezar por mim, pedindo caminhos à Deus.

Agradeço a minha Madrinha Adriana por sempre me auxiliar com minha filha.

Agradeço a minha Tia Idaiana por me auxiliar na correção dos textos reescritos, e foram muitos.

Agradeço a Lucas Pereira, um grande amigo, por sempre estar disposto a me ajudar com os estudos, cálculos e trabalhos realizados no mestrado, gratidão eterna.

Agradeço ao meu orientado Prof. Claudio, por me auxiliar nesta caminhada acadêmica e por todo conhecimento compartilhado.

Agradeço ao meu Coorientador Prof. Deonir, por me auxiliar nas dúvidas durante o mestrado.

Agradeço a Francisco Fransesci por me auxiliar na finalização de minha dissertação e todos os retornos durante sua folga do trabalho.

Agradeço as minhas amigas Talita e Gislaine por me ouvirem choramingar por causa dos estudos e me auxiliarem em minha dissertação.

Agradeço minha amiga Fabiana, pois o que era preciso em relação ao mestrado e aulas ela me auxiliava.

Agradeço ao Prof. Luiz Zanão, por me disponibilizar o moinho do laboratório da IAPAR.

Agradeço a Vanderléia pelos conselhos e ajuda nos momentos de apuro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Marcação de área onde foi retirado o solo para o experimento. Fonte: Google Earth.....	22
Figura 2. Croqui com as distribuições das parcelas experimentais.....	24
Figura 3. Preparação dos canos de PVC para plantio.....	26
Figura 4. Canos de PVC sendo montados, contendo o cano de 20 centímetros abaixo do cano de 5 centímetros.....	26
Figura 5. Canos de PVC montados, dispostos em: A – cano de PVC de 10 centímetros, contendo terra fofa, as sementes e o adubo, B- cano de PVC de 5 centímetros contendo o solo compactado e C – cano de PVC de 20 centímetros contendo terra solta.....	27
Figura 6. Plantas de soja com 38 dias após plantio.....	27
Figura 7. Detalhes de folhas de soja em sacos de papel para secagem.....	29
Figura 8. Folhas de soja seca preparadas para moagem.....	29
Figura 9. Folhas de soja moídas, prontas para submissão a análise química..	30
Figura 10. Médias e regressão para fósforo em plantas se soja semeadas em diferentes densidades de solo.....	33
Figura 11. Médias e regressão para nitrogênio em plantas se soja semeadas em diferentes densidades de solo.....	33
Figura 12. Médias e regressão para potássio em plantas se soja semeadas em diferentes densidades de solo.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios vegetativos da soja.....	7
Tabela 2. Estádios reprodutivos da soja.....	8
Tabela 3. Análise física do solo.....	21
Tabela 4. Primeira caracterização química do solo.....	22
Tabela 5. Composição e informações sobre os nutrientes do fertilizante.....	23
Tabela 6. Quantidade e porcentagem de ingredientes ativos na mistura do produto utilizado para tratamento de sementes.....	26
Tabela 7. Segunda caracterização química do solo.....	27
Tabela 8. Médias, coeficiente de variação e valor de P da análise de variância para fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio enxofre para plantas de soja semeadas em diferentes densidades de solo.....	32

RESUMO

MATTÉ, Marina Fabris. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Maio 2019. **Absorção de N, P, K por plantas de soja em solo sob variação de compactação.** Orientador: Prof. Dr. Claudio Yuji Tsutsumi. Coorientador: Prof. Dr. Deonir Secco.

A preocupação com a compactação de solo é um problema antigo, que cada vez mais vem ganhando espaço entre os produtores rurais. Esse processo se dá principalmente pelo elevado tráfego de máquinas exercendo pressões externas inevitáveis ao solo, tornando-o compacto e de difícil manejo. Com isto, tem-se a baixa infiltração da água, ocasionando erosões, levando junto consigo os minerais necessários para as plantas se desenvolverem. Os elementos nitrogênio, fósforo e potássio são alguns destes, que desempenham relevante papel no metabolismo das plantas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi apresentar análises da quantidade de N, P e K que uma planta de soja absorve no seu período vegetativo, até a fase de R1. As sementes foram plantadas em vasos, com cinco níveis de compactações de solo, sendo estas densidades de 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 Mg há⁻¹ em um anel de 10 centímetros de altura com 20 centímetros de diâmetro. Tendo como conclusão, para o N as densidades de 1,4 Mg há⁻¹ e 1,5 foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$), mostrando que a quantidade do nutriente absorvido pelas plantas foi melhor em maior grau de compactação, para os elementos P e K as análises de variância revelaram que as densidades de 1,3 Mg há⁻¹ e 1,5 Mg há⁻¹ foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$), melhor resultado comprovado em relação a quantia absorvida pelas plantas. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

PALAVRAS-CHAVES: *Glycine max*, infiltração, nutrientes.

ABSTRACT

MATTÉ, Marina Fabris. State University of Western Paraná. May 2019.
Absorption of N, P, K by soybean plants in soil under compaction variation. Privacy Policy | Dr. Claudio Yuji Tsutsumi. Coorientador: Prof. Dr. Deonir Secco.

Concern over soil compaction is an old problem, which is increasingly gaining ground among farmers. This process is mainly due to the high traffic of machines exerting unavoidable external pressures on the ground, making it compact and difficult to handle. With this, there is a low infiltration of the water, causing erosions, taking with it the minerals necessary for the plants to develop. The nitrogen, phosphorus and potassium elements are some of these, which play important role in plant metabolism. Thus, the objective of this work was to present analyzes of the amount of N, P and K that a soybean plant absorbs in its vegetative period up to the R1 phase. The seeds were planted in pots, with five levels of soil compacts, being these densities of 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 and 1,5 Mg ha⁻¹ in a ring 10 centimeters high with 20 centimeters in diameter. In conclusion, for N, the densities of 1,4 Mg ha⁻¹ and 1,5 were statistically significant ($P > 0.05$), showing that the amount of nutrient absorbed by the plants was better in a higher degree of compaction, for ($P > 0.05$), the best result was verified in relation to the amount absorbed by the plants. This work was carried out with the support of the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES) - Financing Code 001.

KEY-WORDS: *Glycine max*, infiltration, nutrients.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Energia.	3
2.2. Energia Renovável	4
2.3. Biomass.	5
2.4. Cultura da soja.....	6
2.5. Elementos químicos essenciais do solo	9
2.6. Nitrogênio, fósforo e potássio no solo	10
2.7. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio na cultura da soja	13
2.8. Compactação do solo.....	15
2.9. Influência da compactação do solo no desenvolvimento radicular da cultura da soja	19
2.10. Influência da compactação sobre os elementos.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Caracterização do local do experimento.....	21
3.2. Solo utilizado no experimento.....	21
3.3. Delineamento experimental	23
3.4. Montagem do experimento.....	25
3.5. Avaliações.....	28
3.6. Análise estatística.....	30
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	32
5. CONCLUSÃO	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
ANEXO A.....	58
ANEXO B.....	59

1. INTRODUÇÃO

A utilização da energia teve início com os povos primitivos, que utilizavam a lenha, entre outros meios, como matéria prima para produção de energia. Com o decorrer dos anos e o aumento do custo das matérias primas utilizadas, deu-se a necessidade pela busca de meios para produção de energia mais sustentável, abrindo portas para a utilização em maior escala da biomassa.

Esta biomassa é encontrada em diversos locais e de inúmeras formas. Os biocombustíveis são considerados biomassa, pois podem ser utilizados para o fornecimento energético em comunidades isoladas. Um exemplo dessa fonte renovável de biomassa é o óleo da soja ou óleo vegetal.

A soja é um cereal de grande relevância no mercado econômico brasileiro, pois além de ser utilizado como farelo para o trato de animais, o óleo extraído dessa semente é utilizado em distintas disposições finais. Em seu processo de desenvolvimento, a planta do soja busca boa nutrição mineral para maior produção de sementes, tornado seu cultivo altamente viável, pois a fertilidade é um pilar fundamental para maior produtividade, buscando rentabilidade final de colheita.

Uma das principais limitações ao aumento de produtividades das plantas é a limitação física dos solos cultivados, mais conhecida como compactação. Como principais causas da compactação de solo é válido citar o tráfego intenso de maquinários agrícolas, a modernização e mal o preparo do solo. A consequência direta é a inibição do desenvolvimento das raízes nas camadas mais profundas, da absorção dos nutrientes essenciais e da água. Além disso, ocorre a menor aeração do solo e a má infiltração da água das chuvas, fazendo com que essa escoe superficialmente causando as erosões. Todos esses fatores acarretam o subdesenvolvimento das plantas e, por consequência, a redução da produtividade final.

Para o desenvolvimento e funcionamento das plantas, os nutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), são essenciais. Sem eles, as plantas

não conseguem sobreviver, não conseguem manter seu ciclo vital, e não podem ser substituídos por outros nutrientes.

Partindo de tais pressupostos, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a limitação de absorção da N, P e K pelas raízes da planta, entre as variações de densidades de solos compactados e observando quanto provém dessa absorção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Energia

A energia nas sociedades primitivas tinha seu custo próximo a zero, por ser obtida através da lenha de florestas, gerando assim energia para as atividades domésticas bem como o aquecimento e preparo da comida, se tornando, juntamente com a água e o ar, um dos ingredientes indispensáveis para a vida humana. Aos poucos, se tornaram necessárias outras fontes de energia para suprir o crescimento do seu consumo e do desenvolvimento das sociedades. Com o passar dos tempos e o constante crescimento da demanda por energia, começaram-se a utilizar os cursos d'água e também a força dos ventos, durante a Idade Média, como fonte de geração de energia, porém, esses eram ainda insuficientes para suprir a demanda da crescente população e das cidades. Com a Revolução Industrial, houve a necessidade de utilizar petróleo, gás e óleo, em grande escala, gerando um maior custo para a produção e transportes até seus centros consumidores (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

A partir de então, um novo olhar foi desenvolvido em relação ao meio ambiente, sendo esse utilizado como recurso na busca por energia, sem que os humanos levassem em consideração a sua presença e o seu pertencimento à natureza. Nesse contexto, para suprimimento da crescente demanda por energia, deu-se início a uma exploração predatória e imediata para com o meio ambiente, que gerou consequências as quais são perceptíveis no mundo atual, surgindo a urgência de métodos para conscientizar a utilização renovável e sustentável do meio ambiente (PAULINO et al., 2017).

A limitação dos recursos fósseis em conjunto com o crescente aumento no consumo de energia gerou a necessidade de diversificar as fontes geradoras de energias limpas. Com isso, houve o aumento do debate sobre preservar os recursos naturais, ocorrendo a criação de legislações mais rígidas e também o estabelecimento de tratados entre países, o que causou o

aumento do apelo sustentável das indústrias para a preservação, a exemplo do protocolo de Kyoto. A partir de então, o Brasil passou a desenvolver uma matriz energética bem diversificada, tendo as fontes renováveis como prioridade (OLIVEIRA et al., 2018), como exemplo, é válido citar a utilização do óleo extraído da semente da soja.

2.2. Energia Renovável

Os meios de energias renováveis já deixaram de ser um contexto novo. A utilização desses meios são citados há muitos anos, sendo um avanço na própria história da humanidade. Atualmente, a utilização dessas fontes de energia ganhou inúmeros avanços tecnológicos, e a elevada demanda por alternativas sustentáveis e energéticas foram revisadas e adaptadas às velhas tecnologias utilizadas (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015).

No mundo os recursos naturais compreendem um total de 20% do fornecimento da energia, dos quais 20,6% se dá através de fonte hídrica e 14% através de biomassa. No Brasil, da quantia de energia consumida, 35% se dá através de energia hídrica, e 25% através da biomassa, expressando um total de 2/3 dos requisitos energéticos do país (AMBIENTE BRASIL, 2019).

Essa energia renovável é considerada um recurso inesgotável, pois compreende energias limpas e que não agredem o meio ambiente (BARROS, 2011). Além disso, cada vez mais, essas fontes são importantes em domínio global, considerando o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e a estratégia da diminuição das emissões de gases que provocam o efeito estufa. Pensando nessas questões, é necessária uma variação na produção de energia, buscando por utilizar fontes renováveis (SANTOS et al., 2014). No Brasil, as fontes renováveis chegam a 74,6% da oferta de eletricidade, provendo a somatória da produção nacional e das importadas, sendo de origens renováveis.

O Brasil é o país com a maior participação de fontes renováveis na matriz energética, obtendo 43% com crescimento da utilização de

biocombustíveis para transporte, segundo o Relatório Sobre o Mercado de Energias Renováveis 2018, da Agência Internacional de Energia. Estudos mostram que o país terá 45% de fontes renováveis como consumo final em 2023, especialmente com os biocombustíveis para transporte e nas indústrias e das hidrelétricas para setor elétrico (APROBIO 2018).

Uma destas fontes renováveis é a biomassa, utilizada para geração de eletricidade, e que pode ser dividida em: uso direto para motores diesel, queima direta; transformação em outro combustível líquido, como o biodiesel; e gasoso, através da gaseificação. Nesse contexto, o emprego dos óleos vegetais mostrou-se de grande importância para a substituição do diesel (MORET, A. S.).

2.3. Biomassa

Desde o começo de seu desenvolvimento, a biomassa era considerada fonte de energia renovável, sendo de vital importância para a humanidade, ainda mais se levada em conta a utilização como opção para geração de energia (SOARES et al., 2006).

Segundo Lora e Andrade (2004), é considerado elevado o potencial energético da biomassa, expresso em escala mundial. Os biocombustíveis poderiam ser utilizados para fornecimento energético em lugares como comunidades isoladas. Atualmente existem diversas fontes renováveis de biomassa, como: babaçu, carvão vegetal, lenha, resíduos vegetais, casca de arroz, bagaços de cana e palhada, óleos vegetais (SOARES et al., 2006). Além disso, o lixo municipal pode ser transformado em combustível para uso do transporte municipal, residências e indústrias (AMBIENTE BRASIL).

Existem diversas vantagens da utilização da biomassa, pois seu uso não eleva o CO₂ na atmosfera, sendo que o CO₂ provido da combustão é retirado da atmosfera no período que as plantas realizam a fotossíntese. Desta forma, com a utilização desta biomassa para fins energéticos, pode haver a redução

do êxodo rural, pois ela pode promover o desenvolvimento sustentável das famílias do campo (SOARES et al., 2006).

No processo da fotossíntese, as plantas absorvem a energia do sol e a transforma em energia química. Essa energia pode ser utilizada pra produção de energia elétrica, calor ou combustível. Esse tipo de fonte energética é conhecido como biomassa. Quando as condições estão favoráveis, a biomassa tem uma significância para a produção de energia elétrica, uma alternativa importante em países que estão em desenvolvimento (AMBIENTE BRASIL).

Uma pesquisa realizada pelo EPE (2018), revela que, do combustível utilizado no ano de 2017, 3 bilhões de litros foram produzidos com o óleo de soja, sendo considerada uma primordial matéria-prima, com uma participação de 70,1%, acompanhado de do sebo bovino com participação de 13,7%. Contudo, existe a necessidade de pesquisas e o incremento de tecnologias para o melhor aproveitamento de resíduos da soja para produção de energia elétrica. Por mais que a soja seja utilizada como fonte de biocombustíveis, como o biodiesel, para a produção energética é necessário a utilização da palha proveniente da colheita da planta. Entretanto, essa fica no local do cultivo, reduzindo assim sua utilização para o fim energético (FREITAS, 2016).

2.4. Cultura da Soja

A soja é a cultura agrícola com maior relevância ao agronegócio brasileiro, tendo um valor significativo para o desenvolvimento socioeconômico de polos produtores e superávit da balança comercial brasileira, originando diversos empregos diretos e indiretos. No ano de 2000, a *commodity* apresentou uma extensão territorial com elevada significância nas diversas regiões brasileiras. A área nacional de cultivo do grão teve uma taxa de crescimento de 7%, ocorrendo um salto de 35,10 milhões de hectares para 37,50 milhões de hectares, entre as safras de 2017/2018 e 2018/2019 (CONAB, 2019).

Segundo Sales et al. (2016), a cultura da soja é uma das principais oleaginosas produzidas e consumidas no mundo, pois seu consumo se estende desde farelo para animais, óleo de soja, entre outros produtos para consumo humano, compostos por proteínas chegando a 40%, enquanto que o óleo chega a 20%.

O desenvolvimento da cultura da soja é dividido em duas fases, a primeira, denominada estágio vegetativo, representada pela letra V, e a segunda, denominada estágio reprodutivo, representada pela letra R. A descrição dos estádios vegetativos do desenvolvimento da planta é primordial para a definição dos períodos que a lavoura passa ao decorrer do seu ciclo. Ocorrem subdivisões nessas fases: na vegetativa são descritas como V1, V2, V3, até Vn, sem contar os dois primeiros estádios que são descritos como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone). A última fase vegetativa é designada como Vn, onde “n” corresponde ao número do último nó vegetativo formado pela cultivar (BONATO, 2018).

Após o estágio VC, os estádios vegetativos (V) são definidos e numerados à medida que as folhas dos nós superiores estão completamente desenvolvidas. Um nó vegetativo com folha completamente desenvolvida é identificado quando no nó vegetativo superior os folíolos não estão dobrados ou enrolados. O estágio V3 é definido quando os folíolos do 1º nó vegetativo (unifoliolado) ao 4º nó foliar estão desenrolados. Semelhantemente, o estágio VC ocorre quando as folhas unifolioladas desenrolaram-se, apresentado na Tabela 1 (NEUMAIER et al, 2000).

Tabela 1. Estádios vegetativos da soja

Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V3	Terceira nó	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida
V5	Quinto nó	Quarta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V6	Sexto nó	Quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida
V...	...	...

Vn	Enésimo nó	Ante-enésima Desenvolvida	folha	trifoliolada completamente
----	------------	------------------------------	-------	----------------------------

Fonte: Neumaier et al (2000).

A fase reprodutiva apresenta oito subdivisões ou estádios, pertencendo do florescimento á maturação, abordando 4 fases. O florescimento é conhecido pelos estádios R1 e R2, desenvolvimento de vagem pelos estádios R3 e R4, o desenvolvimento de grãos pelos estádios R5 e R6 e maturação da planta pelos estádios R7 e R8, apresentado na Tabela 02 (BONATO, 2018).

Tabela 2. Estádios reprodutivos da soja

Estádio	Denominação	Descrição
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule (haste principal)
R2	Florescimento	Urna flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R3	^{plano} Início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R4	Vagem Completamente desenvolvida	Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento do grão	Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R6	Grão cheio ou completo	Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
R7	Início da maturação	Uma vagem normal rio caule com coloração de madura
R8	Maturação plena	95% das vagens com coloração de madura

Fonte: Neumaier et al (2000).

Segundo Faquin (2002), enumeras vezes a folha bem nutrida representa o melhor estado nutricional da planta, pois nas folhas acontecem os primordiais processos metabólicos do vegetal, sendo esses os órgãos mais sensíveis às variações da nutrição. Se ocorrer o excesso ou a falta do nutriente é pela folha que os sintomas se manifestarão. Cada elemento se manifesta de uma forma,

assim se torna possível a sua identificação, levando em conta que essa manifestação de maneira geral é a última etapa de inúmeros problemas metabólicos, alguns irreversíveis quando aparecem, comprometendo a produção final.

A análise das folhas ou qualquer parte do tecido vegetal fornece indicações de como a planta está em relação à parte nutricional em seu ecossistema, tendo como base alternativas para o uso sustentável (VACARRO et al. 2004).

2.5. Elementos químicos essenciais do solo

São três os mediadores que colaboram com os elementos químicos para o arranjo das plantas: água contendo hidrogênio (H) e oxigênio (O); o ar contendo carbono (C) e o solo composto com os demais minerais, este sendo o meio de maior relevância no provimento destes elementos às plantas, porém, é o que mais se modifica, e o que mais sofre interferência, tanto no aspecto físico quanto no aspecto químico (FAQUIN, 2005).

Com a absorção desses três elementos, juntamente ocorre a absorção de macro e micronutrientes. Os macronutrientes respectivamente são: nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e o magnésio (Mg); e os micronutrientes absorvidos em quantidade menor são: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (MENDES, 2007).

Segundo Rodrigues Neto (2017), os elementos são os mesmos no solo e na biomassa, considerados nutrientes indispensáveis para o desenvolvimento e crescimento das plantas, apesar de não ser possível relatar sua disponibilidade.

Elementos essenciais necessitam estarem presentes nos tecidos das plantas, mas nem todos os elementos presentes são essenciais. Existem dois critérios de avaliação que são analisados e necessários para que um elemento se torne essencial: elemento que esteja ligado de forma direta à planta, sendo

necessário para certa reação ou composição em que a planta não sobrevive sem; e elementos ligados de forma indireta, a ausência desses elementos não prejudica em nada a planta, pois não são considerados necessários para seu ciclo (MALAVOLTA, 1980).

A influência da compactação do solo sobre os nutrientes, o crescimento das raízes e a parte aéreas das plantas pode variar conforme a espécie, o solo e o teor e água existente (LEITE et al. 2003).

2.6. Nitrogênio, fósforo e potássio no solo

O nitrogênio é de extrema importância para as plantas e sua disponibilidade no solo está ligada à relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos vegetais, dentre outros fatores (ARAUJO et al., 2005).

Noventa por cento do nitrogênio no solo se encontra na fração orgânica, (sendo indisponível para absorção), o restante encontra-se na fração inorgânica (sendo disponível para a planta). Nesta fração inorgânica, o N é achado de duas formas, amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), representando uma reduzida quantia do nitrogênio total encontrado, sendo de extraordinária importância para a planta, uma vez que, nessas duas formas, o nitrogênio é absorvido e assimilado (SILVEIRA, 2018).

O nitrogênio passa por processos inversos chamados de mineralização e imobilização. A mineralização acontece quando o N passa do estado orgânico para o estado inorgânico, e ocorre através da decomposição da matéria orgânica por microrganismos, que usam a energia desta decomposição para sobreviverem e como resultado liberam o N na forma inorgânica ao solo disponível para a planta absorver. Já o processo de imobilização acontece quando o N passa do estado inorgânico para a forma orgânica. Os microrganismos precisam de uma grande quantia de energia, e quando não há a quantia necessária de N orgânico, esses retiram do solo o N inorgânico, convertendo-o em N orgânico, que deixa de estar disponível para a planta (HUTCHISON; WALWORTH, 2007).

A eficiência da adubação fosfatada é reduzida principalmente em solos tropicais altamente intemperizados. Assim, para completar a demanda de fósforo pelas plantas torna-se apropriada a aplicação do nutriente via fertilizante. Com a adição de fertilizantes fosfatados há acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com desiguais graus de energia de ligação, embora o acúmulo seja mais pronunciado nas formas inorgânicas (DAROUB et al., 2000). O remanejamento de fósforo de várias formas dependente da fonte empregada.

Segundo Girotto et al. (2010), a disponibilidade e a mobilidade do fósforo dependem da sua concentração na solução do solo, da natureza da associação com outras espécies iônicas solúveis e da agilidade do solo em fornecer o nutriente para a solução.

O transporte do fósforo no solo está associado primeiramente à absorção do nutriente, sendo que o primordial mecanismo de transporte é a difusão, influída principalmente pelos coloides do solo e suas interações com o fósforo, pela sua quantidade no solo à distância até as raízes, gerando impedimentos correspondentes à adubação fosfatada (COSTA et al., 2006).

Dentro dessa adubação fosfatada existem práticas que ajudam no incremento, como o modo de aplicação do fertilizante fosfatado. No que se refere a solos argilosos, que são compostos por baixo teor de fósforo, (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2010), e têm uma elevada capacidade de fixação de P, ligada à necessidade que a planta apresenta do nutriente para desenvolvimento, a adubação fosfatada se torna uma prática indispensável para uma elevada produtividade (MOTOMIYA et al., 2004).

Unindo esses métodos a pontos como a parte operacional, agronômica e econômica, mudando as reações entre solo e fertilizantes, esse fósforo fica disponível para a planta (FIORIN; VOGEL; BORTOLOTTI, 2016), em especial em solos com sistema de plantio direto, onde não há o revolvimento, que proporcionam em elevados teores de fósforo na camada mais superficial (AMADO et al., 2006).

Além disso, a forma de aplicação de fertilizantes fosfatados influencia no aumento das raízes das plantas, auxiliando na redistribuição do fósforo no solo, devido à decomposição dessas raízes, enriquecendo assim os teores nas camadas mais profundas (OLIVEIRA JUNIOR; PROCHNOW; KLEPER, 2008). Tal processo ocorre pois o fósforo é um elemento pouco móvel no solo, limitando sua absorção pelas culturas e reduzindo a quantia de solo explorado pelas raízes (SILVA; DELATORRE, 2009).

Novais e Smith (1999) relataram a possibilidade de que, em solos tropicais com elevada capacidade de absorção de ânions, nutrientes como o fósforo têm sua difusão reduzida em decorrência da compactação para aproximar o íon da superfície de absorção.

O potássio é o segundo nutriente com maior taxa de absorção pelas plantas (SILVA et al., 2008). Esse elemento se apresenta de algumas formas, sendo a maioria não disponível para absorção das plantas. Quando está disponível para as plantas, o nutriente é classificado em quatro categorias dispostas em ordem crescente: estrutural ou mineral; não-trocável ou duramente disponível; trocável; e em solução; que, quando juntadas oferecem o K total (TISDALE & NELSON, 1993). Nessas frações acha-se o equilíbrio dinâmico (SPARKS, 1980), e para isso têm sido muito utilizados extratores químicos específicos, obtendo como benefício a comparação das formas de potássio sob diversas condições.

O potássio disponível para absorção das plantas se encontra como íon K^+ presente no complexo de troca e na solução do solo (RAIJ, 1991). A absorção pelas raízes acontece por fluxo de massa e difusão, assim, a adubação e nutrição do K está ligada à disponibilidade da água na planta, participando de um elevado número de processos biológicos da planta com elevada mobilidade. Trata-se então de um elemento móvel na planta, por ser translocando das folhas velhas para as folhas novas, ao decorrer do processo de senescência da planta (MALAVOLTA, 1997).

A redução da produtividade e a redução da progressão na taxa de desenvolvimento podem ser causadas pela pouca disponibilidade do elemento no solo. Quando a deficiência se torna rígida, os sintomas aparecem na forma

de manchas amarelas nas bordas das folhas na parte baixa da planta, deslocando para a parte interna das folhas, o que leva à necrose nas bordas, e reduz a rigidez levando à queda dessas folhas. O potássio é perdido por lixiviação no perfil do solo. A competência do acúmulo do K nas camadas do solo se modifica, sobretudo em relação à capacidade de troca catiônica (CTC) (CASTRO & OLIVEIRA, 2005).

2.7. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio na cultura da soja

O nitrogênio (N) é indispensável para o completo crescimento e desenvolvimento de todas as plantas, estando presente das folhas às raízes (BAHRY et al., 2013).

Esse elemento é imprescindível para a produção da molécula de clorofila, que está conectada à fotossíntese. Quando ocorre sua falta afeta-se todo o processo fotossintético, levando a planta a dificuldades com a utilização do sol como fonte de energia, prejudicando funções, como a absorção de nutrientes. Esse elemento é um componente ligado às vitaminas, aminoácidos e sistema enzimático, que fabricam as vitaminas. Assim, o nitrogênio é diretamente responsável pelo acréscimo do teor de proteínas nas plantas (CRUZ et al., 2006).

Quando aparece a deficiência do N nas plantas, as folhas ficam amareladas, processo conhecido como clorose, que está relacionado com a redução de clorofila. Essa deficiência acontece primeiramente nas folhas mais velhas, chegando às folhas mais novas e mais altas ao decorrer da severidade da deficiência (SANT'ANA et al., 2011; VIÉGAS et al., 2013). Outra deficiência é o crescimento lento e tardio das plantas, reduzindo perfilhos de pequenas culturas (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

O excesso de nitrogênio provoca prorrogação da fase vegetativa reduzindo sementes e frutos (LOPES, 1998), ou ao contrário, a falta do elemento faz com que as plantas chegam à maturidade fisiológica precocemente pelo retardamento do metabolismo (FANTE et al., 2010).

Assim, o N para o cultivo da soja é de extrema importância para a formação de grãos. Estipula-se que para produzir 1.000 kg há⁻¹ de grãos sejam necessários 51 kg do elemento e 32 kg para raízes, folhas e caule (EMBRAPA, 2011).

Outro nutriente essencial às plantas é o fósforo (P), que desempenha um papel acentuado no metabolismo, apresentando grande importância no armazenamento e na transferência de energia. Ainda age como componente dos ácidos nucleicos, fitina e fosfolipídios (EPSTEIN; BLOOM, 2006), que constitui elemento-chave para o desenvolvimento inicial, produtividade e longevidade da cultura e, como observado por Santos et al. (2011), pode, também, elevar a produção de sólidos solúveis.

Respostas às adubações estão sendo cada vez mais reduzidas, constatadas em solos que demonstram seu comprometimento em suas propriedades físicas, com a elevada densidade, acarretando a crescente adsorção de fósforo e a diminuição do fluxo difusivo, conhecido também como difusão (RIBEIRO et al., 2010).

Segundo Novais e Smyth (1999), a compactação tem como consequência o crescimento da viscosidade da água, o crescimento da interação de íons de fosfato com superfícies dos coloides ao decorrer do caminho de difusão. Isso implica na obrigação de elevadas doses de fósforo, com a intenção de acrescer a saturação por fosfato nessas superfícies adsorventes e possibilitar a conservação de fluxo difusivo em níveis adequados, em relação à demanda para a planta.

O elemento P é absorvido de duas formas, a primeira é como ânion H_2PO_4^- e em menor quantia HPO_4^{2-} , sendo ligeiramente translocado no interior das plantas e podendo mover dos tecidos mais velhos para os mais novos. Quando a quantidade do elemento no solo se torna reduzido, provoca-se uma deficiência à planta. Nas plantas adultas a maior parte do P transloca das folhas para as sementes, levando ao crescimento limitado (MASCARENHAS et al., 2013).

Outro nutriente considerado essencial para o desenvolvimento das plantas é o potássio (K), sendo o macronutriente o segundo elemento mais extraído pelas plantas de soja após o nitrogênio. Tal elemento tem várias funções, como fechamento e abertura dos estômatos, afetando nas trocas gasosas; controle da respiração; e a regulação da turgidez dos tecidos, funções fundamentais para elevar a eficácia da utilização da água pela planta. Reduzindo a fotossíntese (NELSON, 2005), o metabolismo da planta fica comprometido pelo papel fundamental do K como ativador enzimático (VEIGA et al., 2010; SERAFIM et al., 2012).

Sua deficiência expõe folhas adultas com o as bordas do ápice da cor amarela, compostas de necroses posteriores das folhas. A deficiência provoca flores que permanecem, reduzindo número de vagens e tamanho de sementes, ao se comparar com plantas sem a deficiência. Além disso, aparecem vagens com manchas, afetando a qualidade das sementes; ocorre a abertura de vagens, havendo a germinação e deterioração das sementes (MASCARENHAS et al., 2013); além do fato de essas plantas deficientes de absorverem menor quantidade de água, o que leva a planta ao estresse (NELSON, 2005). Quando há um elevado teor de água no solo pelo processo de difusão o nutriente K eleva sua disponibilidade no interior das plantas (OLIVEIRA, et al., 2008).

2.8. Compactação do solo

Com a modernização da agricultura, o aumento no tamanho e no peso dos maquinários, houve a intensificação da compactação do solo. Essa compactação ocorre nas áreas de cultivo de grãos e nas áreas de pastagem intensiva, se dando nas camadas de 0 a 20 centímetros. Porém, nas áreas de cultivo de florestas, essa compactação pode ser de elevada abrangência (REICHERT et al., 2007).

Com a ausência do revolvimento do solo e o intenso tráfego de maquinários nas lavouras onde ocorre o plantio direto, pode haver diversos níveis de compactação, sendo que o de maior pressão é encontrado nas

bordaduras das lavouras devido ao maior tráfego do maquinário. Com o aumento do estado de compactação ocorre a redução da infiltração de água e a condutividade hidráulica, contudo, uma menor quantia de água será retida no maior estado da compactação em um mesmo tipo de solo. Tem-se uma redução na produção de grãos quando os valores de densidade do solo e a resistência à penetração das raízes são maiores no elevado estado da compactação. O conteúdo de água é alterado nos diferentes níveis do solo compactado quando as condições físicas não se tornam limitantes ao desenvolvimento das plantas (SILVA, 2000).

Segundo Moraes et al. (1995), esse processo de compactação interfere no desenvolvimento das raízes em profundidade, levando-as ao crescimento nas camadas mais superficiais e reduzindo a infiltração da água. Como consequência ocorre a erosão do solo, o que gera a diminuição do volume de solo explorado e eleva os riscos de deficiência hídrica e nutricional das plantas.

Nas pesquisas formuladas em vastas regiões do Brasil, apontaram-se modificações consideráveis nas propriedades físicas de certos solos, onde, além do tráfego de maquinários pesados, também ocorre o uso frequente de equipamentos agrícolas em dias que o solo está muito úmido e a falta de revolvimento deste (STRECK et al., 2004).

Dessas modificações, ocorre a diminuição da porosidade e permeabilidade do solo, acarretando o aumento da compactação em comparação com as condições originais deste (NOVAK et al., 1992). Com essa redução do espaço poroso, acontecem efeitos sobre a circulação de água e de gases no seu interior e na resistência que oferecem ao desenvolvimento das raízes. Ao todo, se observa uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo e uma redução na quantidade de água disponível às plantas, sendo que, em tempos de chuvas intensas, podem ocorrer as dificuldades nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e, nos períodos mais secos, certas dificuldades para a penetração de raízes (BRAIDA, 2004).

Segundo Tavares Filho et al. (1999), com todas essas modificações nas camadas do solo, modificam-se também os macro agregados, sendo esses destruídos e o solo assim expõe uma estrutura degradada, reduzindo o

crescimento das raízes e, como consequência, ocorre a diminuição do solo explorado.

Quando um solo natural sofre a compactação, sua resistência é elevada e sua porosidade total é diminuída por causa dos poros maiores. Isso faz com que o conteúdo volumétrico de água seja diminuído e a capacidade de campo elevada. Entretanto, a aeração, a taxa de infiltração d'água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas, tendo como consequência o aumento do escoamento superficial da água. Reduzindo o crescimento das plantas como resposta da diminuição da disponibilidade de água, restrição ao desenvolvimento das raízes, a aeração se torna deficiente (GREACEN; SANDS, 1980).

Ainda com essa compactação ocorre uma elevada tração exercida pelo trator, o que provoca um melhor desempenho dos maquinários. Entretanto, esse assunto ainda é pouco estudado levando em conta o efeito da compactação na qualidade dos solos e da produtividade das culturas como interesse principal (REICHERT et al., 2007).

O solo pode ter uma estrutura quimicamente boa, mas, com o problema da compactação, as plantas não conseguem obter os máximos valores de nutrientes compostos, prejudicando o desenvolvimento das novas raízes, e é nessas que ocorre a maior taxa de absorção dos nutrientes, água e oxigênio, sendo então um limitante para os processos metabólicos da planta (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000).

O deslocamento dos nutrientes no solo acontece por difusão e/ou por fluxo de massa, e isso depende do nutriente e de sua concentração na solução. Com a compactação o movimento da água é interferido, reduzindo a transpiração das plantas e tendo como consequência o fluxo de massa. Quando essa redução chega a certo nível, ocorre também à redução da difusão dos nutrientes, tendo essa função inversa à densidade do solo, e às características correlacionadas com a compactação (SILVA, 2000).

Segundo Cubilla et al. (2002), um dos fatores que ajudam na compactação é o excesso de umidade no solo. Um dos processos de

descompactação do solo é a utilização de métodos mecânicos isolados, como a escarificação, que tem efeito de curto prazo, sendo que os resultados esperados podem ter um pequeno efeito residual quando não há o acompanhamento de práticas de manejo que têm como finalidade elevar a estabilidade da estrutura do solo.

O método de escarificação citado acima tem como finalidade o rompimento dessa camada compacta, como princípio de preparo do solo para o plantio convencional, revolvendo esse solo e transferindo a camada mais compacta para baixo e trazendo a cima a camada mais arável e desejada (REICHERT et al., 2007).

Para que ocorra a recuperação e a manutenção das características físicas do solo, é necessário manter alta e constante a atividade biológica do solo, com uma contribuição bondosa e contínua de material orgânico. Tal processo é possível com a adoção de práticas de manejo do solo, incluindo sistemas de rotação de culturas com espécies que apresentam sistema radicular de forma agressiva com alta produção de biomassa, auxiliando assim para reduzir os efeitos da compactação (CUBILLA et al., 2002).

Essas plantas que têm suas raízes altamente agressivas rompem as camadas compactadas, elevando a aeração do solo, aumentando o número de macro e microporos. Ocorre assim maior infiltração de água, maiores trocas gasosas e um controle da temperatura. Um exemplo de cultura é do milheto (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.), usado em quantias grandes na Região do Cerrado Brasileiro. Por ser uma planta rústica, tem crescimento rápido e sua capacidade de rompimento das camadas compactadas (GUIMARÃES et al., 2013).

O manejo desses solos é de extrema importância para a agricultura, pois assim preserva-se os recursos naturais que serão realizados conforme o objetivo da exploração do sistema agrícola que será utilizado e das condições do solo que será trabalhado. É importante ressaltar que tal processo deve levar em conta que cada manejo varia no tempo, no espaço, na região e nos diferentes sistemas adotados. Com essa diversidade de situações a serem estudadas, há um leque grande de análises em termos quantitativos, o que

raramente representa a realidade, observada a variabilidade espacial das propriedades físicas e características dos solos (TAVARES FILHO et al., 1999).

O sistema de plantio direto tem como função manter uma camada de restos vegetais da colheita anterior, que na sua decomposição é transformado em matéria orgânica, disponibilizando minerais para a próxima cultura e enriquecendo as camadas mais superficiais. Esses restos vegetais podem reduzir o processo de compactação, aumentando a porcentagem de matéria orgânica e elevando a resistência mecânica do solo, resultado da atenuação das pressões exercidas pelo trânsito de animais e maquinários (BRAIDA, 2004) aprovando a hipótese de que resíduos superficiais podem dissipar as pressões aplicadas ao solo (BRAIDA et al., 2006).

Com o sistema de plantio direto, a camada mais superficial, que vai de 0 a 5 centímetros de solo, dispõe de elevada porosidade total e baixa densidade que, correspondente ao trabalho dos discos da semeadora, contém maior quantidade de raízes, de matéria orgânica, elevada atividade biológica e maior número de ciclos de amadurecimento e secagem (SILVA, 2000).

2.9. Influência da compactação do solo no desenvolvimento radicular da cultura da soja

As implicações da compactação do solo em relação ao desenvolvimento radicular de muitas culturas são descritos devido às alterações morfológicas que acontecem: o aumento do diâmetro da raiz; a diminuição da divisão celular no meristema, o que resulta na elevada espessura do córtex e leva à diminuição do solo explorado por estas raízes; e a menor absorção de nutrientes e água (BORGES et al., 1986; ROSOLEM et al., 1994; FOLONI et al., 2003; FREDDI et al., 2007) o que aumenta a resistência mecânica que as raízes precisam vencer para se desenvolver (SANTOS et al; 2005).

Essas alterações também são causadas pela redução da concentração de oxigênio, diminuição da taxa de mineralização da matéria orgânica no solo e a difusão menor de oxigênio e nutrientes pelas raízes (COSTA, 1998;

RIBEIRO, 1999). Além disso, a compactação eleva a interação do íon fosfato e potássio com a superfície dos colóides ao decorrer da trajetória da difusão, levando esses elementos a se difundir cada vez mais junto à superfície que os adsorvem (NOVIAS; SMYTH, 1999).

Segundo Taylor & Brar (1991); Bengough et al. (1997), com essas inúmeras condições desfavoráveis ao desenvolvimento, as raízes encaminham sinais para a parte aérea da planta avisando que há a restrição do desenvolvimento da planta e, como consequência, ocorre a diminuição do crescimento e uma baixa na produção final.

2.10. Influência da compactação sobre os elementos

A compactação influencia na absorção dos nutrientes, no crescimento da parte aérea e do sistema radicular, variando de acordo com a espécie, com a classificação do solo e com a quantia de água nele existente (MEDEIROS et al., 2005). Assim, reduz-se a disponibilidade dessa água e de nutrientes para as plantas, definindo que a compactação interfere na produtividade temporariamente ou de forma permanente. Com esse problema, o fluxo de massa é reduzido, afetando assim a transpiração das plantas que, ao chegar em certo ponto, pode provocar uma interferência na difusão dos nutrientes, processos responsáveis pelo transporte de nutrientes até às raízes (SILVA et al., 2008), já que esses processos dependem das condições físicas do solo, como a densidade (COSTA, 1998; NOVAIS & SMYTH, 1999), assim, reduz-se os espaços vazios, diminuindo o crescimento das plantas.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a limitação de absorção da N, P e K pelas raízes das plantas de soja, entre as variações de densidades de solos compactados e quanto provém desta absorção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local do experimento

O trabalho foi conduzido em Cascavel - PR, em um ambiente protegido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, localizada nas coordenadas geográficas 24°59'21" S 53°27'19" W com altitude de 781 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, Subtropical Úmido Mesotérmico, com precipitação média anual de 1500 mm, verões quentes, com tendência de concentração das chuvas (temperatura média superior a 22° C), invernos com geadas pouco frequentes (temperatura média inferior a 18° C), sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000).

3.2. Solo utilizado no experimento

Baseando-se nas classificações de Lima et al. (2012), o solo utilizado no experimento tem como classificação morfológica Latossolo, por ser um solo altamente intemperizado, velho e profundo, chegando a mais de dois metros de espessura. São permeáveis, porosos e com excelente drenagem, levando ao não excesso de água.

Com base na classificação física, o solo é do tipo 3, por ter mais de 60% de argila. Sua classificação está exposta na Tabela 3 com a porcentagem de sua composição.

Tabela 3. Análise física do solo

Composição	Granulometria %
Areia:	17.50
Silte:	16.25
Argila:	66.25

O solo foi retirado da lavoura do produtor Edson Luiz Matté, na cidade de Corbélia, do Imóvel Rural: Campininha Lote 15-G-2 E 15-F-1. Latitude: 24°48'49,78" S. Longitude: 53°16'42,51" O (Figura 1). Com o auxílio de uma pá, o solo foi retirado em uma camada de 10 centímetros de altura, armazenado em sacos plásticos e levado até a estufa, onde ocorreu a montagem do experimento.



Figura 1. Marcação de área onde foi retirado o solo para o experimento. Fonte: Google Earth.

As análises químicas do solo antes do plantio e após a colheita, e a análise física foram realizadas pela empresa Solanalise – Central de Análises Ltda, Cascavel/PR. Na Tabela 4 conta os resultados da análise realizada com o solo antes do plantio.

Tabela 4. Primeira caracterização química do solo

Ph	P	C	Al- ³	H+A	Mg	K	SB	T	V
	Mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----							%
4,4	55,91	4,23	0,57	8,36	1	0,59	5,82	14,18	41,04

SB-Soma das bases; T – Capacidade de troca de cátions; V – Saturação por bases.

Com base nos resultados da análise de solo, foram realizadas as correções necessárias para plantio. A formulação do adubo utilizado foi a 04-24-16 Topmix+micro[®] da empresa Yara Brasil S.A. (Tabela 5), contendo valor agregado de fósforo necessário à planta.

Tabela 5. Composição e informações sobre os nutrientes do fertilizante

Nome do ingrediente	Quantia do ingrediente um sacas do fertilizante
Superfosfatos	≥ 25 - < 40
Dihidroqênoortofosfato de amônio	≥ 25 - < 35
Cloreto de potássio	≥ 25 - < 30
Triplo superfosfatos	≥ 0 - < 12,5
Hidrogênoortofosfato de diamônio	≥ 1 - < S
Sulfato de amônio	≥ 0 - < 2,5
Ácido bórico	≥ 0,2 - < 0,3
Sulfato de zinco	≥ 0,1 - < 0,2

Fonte: Yara Brasil S.A. (2018)

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos (densidade do solo: 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 Mg há⁻¹) e cinco repetições, contendo 25 parcelas sorteadas ao acaso, expressas na Figura 2. Os cálculos para as diferentes compactações dos anéis de PVC foram de volume do cilindro (1), o cálculo da densidade (2) sobre o tamanho do anel de PVC e a densidade escolhida.

Cálculo volume do cilindro (1)

$$V: (\pi \times \text{Raio} / 4) \times \text{altura (cm)}$$

Em que:

$$V - \text{volume (cm}^3\text{)}$$

Cálculo da densidade (2)

$$D: \text{MS.} \times \text{VT}$$

Em que:

D – Densidade (cm^3)

MS – massa de solo (g)

VT – volume total (cm^3)

1 C1	2 A1	3 D1	4 B1	5 E1
6 B2	7 E2	8 C2	9 A2	10 D2
11 A3	12 C3	13 D3	14 E3	15 B3
16 D4	17 B4	18 A4	19 C4	20 E4
21 E5	22 D5	23 B5	24 A5	25 C5

Figura 2. Croqui com a distribuição das parcelas experimentais.

No croqui acima as letras correspondem: A – linha com compactação de 1.1 de densidade. B – linha com compactação de 1.2 de densidade. C – linha com compactação de 1.3 de densidade. D – linha com compactação de 1.4 de densidade e E – linha com compactação de 1.5 de densidade. Parcelas compostas por cinco níveis de compactação sorteadas ao acaso.

A cultivar de soja escolhida foi a ND 5909, oriunda da empresa Nidera Sementes, tendo como principais características a precocidade com alta produtividade, máxima estabilidade em diferentes ambientes, possibilidade de escalonar plantio e arquitetura favorável ao controle de doenças, com crescimento indeterminado, grupo de maturação 6.2, que responde à quantia de dias do ciclo da planta, iniciando na emergência até a colheita, semente de tamanho médio e peneira para plantio 6,5 (NIDERA SEMENTES, 2015).

A semente da soja foi tratada com Standak Top[®] da empresa Basf, sendo uma mistura composta do inseticida Fipronil[®] do grupo pirazol, e os fungicidas Carbamate[®] contendo o I.A. Além de, Piraclostrobina, do grupo das estrubirulinas e Metil Tiofanato[®], do grupo dos benzimidazois, utilizado em tratamento de sementes com a função de proteger as plântulas contra o ataque de pragas e fungos de sementes no período inicial de desenvolvimento da cultura. A Tabela 6 apresenta as concentrações em gramas por litro dos ingredientes ativos citados (BASF).

Tabela 6. Quantidade e porcentagem de ingredientes ativos na mistura do produto atualizado para tratamento das sementes

Ingrediente ativo	Quantia dos produtos na mistura	% dos ingredientes
Carbamate (Piraclostr.)	25 g L ⁻¹	2,5%
Tiofanato Metílico	225 g L ⁻¹⁰	22,5%
Fipronil	250 g L ⁻¹	25,0%
Outros ingredientes	713 g L ⁻¹	71,3%

I.A- Ingrediente ativo. g/L – gramas por litro. % - porcentagem dos ingredientes.

Fonte: Bula Standak Top® Basf

3.4. Montagem do experimento

Os materiais utilizados para a compactação do solo foram: anéis de PVC com 5 cm, 10 cm e 20 cm de altura e todos contendo 20 centímetros de diâmetro; pratos de plástico; martelo de ferro; prancha de madeira circular contendo 19 cm de diâmetro; solo; água; sementes; e adubo.

O experimento foi montado da seguinte forma: primeiramente colocou-se abaixo de tudo um prato de plástico para que não se perdesse solo. Acima do prato plástico colocou-se o anel de PVC de 20 cm contendo solo sem compactação. Sobre esses foi disposto o anel de PVC de 5 cm com solo compacto e, por último, acima de todos, o terceiro anel de PVC de 10 cm com solo sem compactação. Todos os anéis foram unidos por fita adesiva.

Para a compactação do solo no anel de PVC de 5 centímetros de altura, foram utilizados um martelo de ferro, a prancha de madeira circular e, quando necessário, a água para auxílio na compactação. Golpes com o martelo foram disparados na prancha de madeira até atingir a compactação desejada (Figura 3), como citado por Silva e Rosolem (2002).



Figura 3. Preparação dos canos de PVC para plantio.

O plantio ocorreu em 18 de Outubro de 2017, obedecendo o seguinte procedimento: no terceiro anel de PVC de 10 centímetros, contendo o solo não compactado, foram semeadas 6 sementes de soja e, paralelo a essas, 5 gramas de adubo. Já no anel de PVC de 20 centímetros foram misturados ao solo não compactado 10 gramas do adubo (Figuras 4 e 5).



Figura 4, Canos de PVC sendo montados, contendo o cano de 20 centímetros abaixo do cano de PVC de 5 centímetros.



Figura 5. Canos de PVC montados, dispostos em: A – cano de PVC de 10 centímetros, contendo terra fofa, as sementes e o adubo; B – cano de PVC de 5 centímetros, contendo o solo compactado e C – cano de PVC de 20 centímetros, contendo terra solta.

Na Figura 6, as plantas de soja, com 38 dias, apresentaram um desenvolvimento normal, sem a expressão em suas folhas da falta dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio.



Figura 6. Plantas de soja com 38 dias após plantio.

A irrigação ocorreu 3 vezes por semana, em volume de 200 ml por vaso. Não foi aplicado nenhum tipo de defensivo agrícola nas plantas de soja por haver um controle maior do ambiente e por ser feito em estufa e não haver outras plantas de soja no local.

3.5. Avaliações

Após a colheita das folhas, o solo passou por uma nova avaliação química, expondo a quantidade de nutrientes compostos nesse. Abaixo, a Tabela 7 com os resultados.

Tabela 7. Segunda caracterização química do solo

Ph	P	C	Al- ³	H+A	Mg	K	SB	T	V
Mg dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----							%
4,9	15,53	5,89	0,07	6,69	2,45	0,48	8,82	15,51	56,87

SB-Soma das bases; T – Capacidade de troca de cátions; V – Saturação por bases

Foi realizada análise das folhas tendo por objeto de estudo saber quanto de N, P e K foi deslocado do solo para folha, e a realização de uma nova análise de solo para se obter a quantia do macronutriente ainda existente nos coloides do solo, para assim, chega ao quanto de N,P e K foram absorvidos pelas plantas e a quantia que foi adsorvida no solo.

A coleta das folhas para a análise aconteceu quando apareceu a primeira flor aberta em qualquer nó na haste principal (fase de desenvolvimento R1). Foram coletados 35 trifólios por talhão, com pecíolo, sendo esse retirado no processo de secagem das folhas.

Após a colheita, as folhas passaram por processo de secagem, realizado no Laboratório de Física do Solo da Unioeste *Campus* de Cascavel. Os trifólios foram dispostos em pacotes de papel individualizados, conduzido em estufa de esterilização e secagem, com temperatura de 65° C permanecendo por 72 horas, estufa da empresa Nova Ética (Figura 7). As folhas secas foram

submetidas a moagem no moinho da Empresa Marconi, localizada no barracão do IAPAR e armazenadas em pequenos sacos plásticos para posterior tratamento químico (Figuras 8 e 9).



Figura 7. Detalhe das folhas de soja em sacos de papel para secagem.



Figura 8. Folhas de soja secas preparadas para moagem.



Figura 9. Folhas de soja moídas, prontas para submissão a análise química.

As análises foram realizadas no Laboratório Solanálise de Cascavel-PR. Foram analisadas uma folha por vaso, somando 5 folhas por tratamento e 25 folhas num total. Essas folhas moídas foram submetidas à análise de digestão para expor o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Após este processo, foram encaminhadas para a digestão sulfúrica com a utilização de ácido sulfúrico H_2SO_4 , sulfato cobre – $CuSO_4$ e sulfato de potássio - K_2SO_4 . Para determinar nitrogênio, fósforo e potássio outros tipos de ácidos são utilizados (EMBRAPA, 2009).

3.6. Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para a identificação das diferenças entre as médias dos tratamentos, através do software SISVAR (FERREIRA, 2010). Para efeitos significativos, foi realizada a comparação das médias através do teste de Tukey, ao nível de 5% de

probabilidade ($p < 0,05$). E para análise dos dados e geração dos modelos e gráficos, foi utilizado o Microsoft Office Excel (2007).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que para o elemento nitrogênio, as densidades de 1,4 Mg há⁻¹ e 1,5 Mg há⁻¹ foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$), mostrando que a quantidade do nutriente absorvido pelas plantas foi melhor em maior grau de compactação, visando que nos menores graus de 1,1 Mg há⁻¹ à 1,3 Mg há⁻¹ ocorreu uma menor taxa de absorção (Tabela 8).

Para os elementos fósforo e potássio, as análises de variância revelaram que as densidades de 1,3 Mg há⁻¹ e 1,5 Mg há⁻¹ foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$), melhor resultado comprovado em relação a quantia absorvida pelas plantas. Não houve diferença estatística significativa nas densidades de 1,1; 1,2 e 1,4 Mg há⁻¹. Entretanto, a menor densidade com absorção do elemento foi a 1,2 Mg há⁻¹, representado na Tabela 8.

Tabela 8. Médias, coeficiente de variação e valor de P da análise de variância para fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e enxofre para plantas de soja semeadas em diferentes densidades de solo

	Fósforo	Nitrogênio	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
	g kg ⁻¹					
1,1	3,856	62,944	32,070	11,618	5,000	3,140
1,2	3,724	61,754	33,358	10,478	4,334	3,130
1,3	4,318	49,686	38,014	10,950	4,358	3,256
1,4	3,944	63,798	34,910	11,024	4,350	3,272
1,5	4,216	63,322	39,136	10,984	4,228	3,326
CV(%)	7,110	15,000	7,320	8,870	9,680	3,960
Média	4,012	60,301	35,498	11,011	4,454	3,225
P	0,0188	0,1077	0,0014	0,5046	0,0489	0,0982

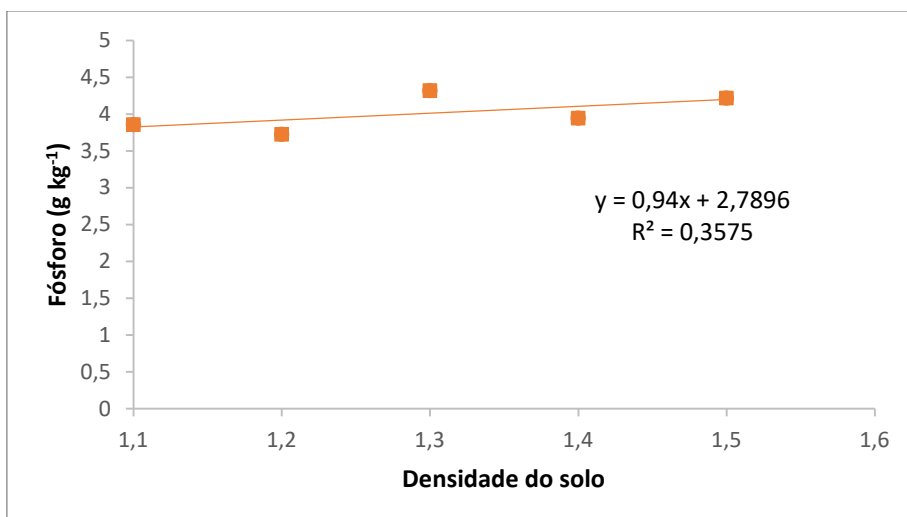


Figura 10. Médias e regressão para fósforo em plantas de soja semeadas em diferentes densidades de solo.

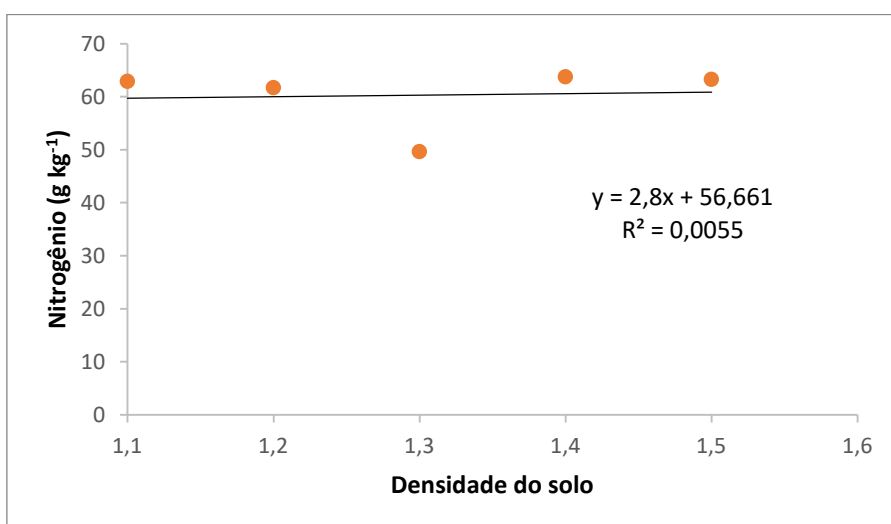


Figura 11. Médias e regressão para nitrogênio em plantas de soja semeadas em diferentes densidades de solo.

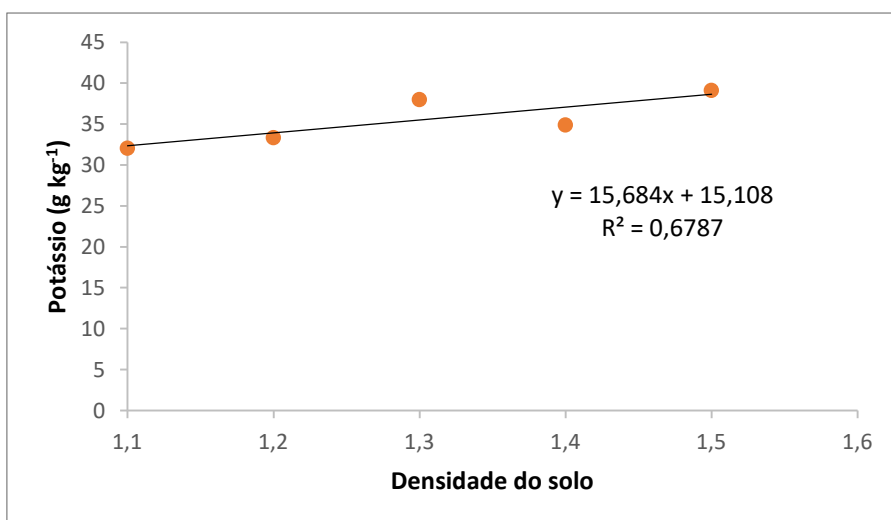


Figura 12. Médias e regressão para potássio em plantas de soja semeadas em diferentes densidades de solo.

Resultado semelhante foi observado por Alves et al. (2003). Em feijoeiro o elemento fósforo sofreu efeito no caso da interação de gruas de compactação. O maior grau obtido no trabalho demonstrou menor quantia de fósforo absorvido pelas plantas, em razão do pequeno crescimento das raízes, em desempenho da menor porosidade e/ou maior adsorção de P nesse solo utilizado.

Medeiros et al. (2005) encontrou resultados diferentes, nos quais verifica-se que os teores de N, P e K foram diminuídos à medida que se elevou os níveis de densidade do solo, involuntariamente do manejo de água, cujos valores se acertam a modelos de regressão linear e decrescente. Deste modo, existi uma associação contrária entre os níveis de compactação e os teores de N, P e K acumulados na parte aérea das plantas. Especificamente para o fósforo, o nível máximo de compactação reduziu os teores do elemento na parte aérea das plantas.

Outro estudo que vai ao desencontro deste, os resultados de Torres & Saraiva (1999), mostrando que no trabalhando com solo de classificação Latossolo Vermelho, a resposta de produtividade da soja sofreu redução a partir das densidades de 1,27 Mg m⁻³ e 1,33 Mg m⁻³ em anos com chuva de distribuição irregular e regular, já que no trabalho presente houve maior absorção do elemento P na densidade de 1,3 Mg há⁻¹.

Entretanto, a partir de Souza et al. (2008), é possível ressaltar que após a análise estatística foi observado que somente a maior densidade de compactação do solo respondeu das demais com desempenho significativo, tendo como influencia a altura das plantas de milho, todavia obteve-se diferença significativa entre as doses de fósforo, influenciando na altura das plantas, sendo que houve deferimento nas duas maiores doses de aplicação de fósforo.

Já Beutler & Centurion (2004) contradizem citando que a ausência da influência da compactação do solo em relação ao acúmulo de biomassa pela planta de milho indica que a compactação não interfere em relação à absorção de nutrientes minerais pelas raízes das plantas de milho, arroz e soja.

No trabalho realizado por Souza et al. (2012), houve dois tipos de cultivos na área de tratamentos prévios com gramíneas (capim-Marandu). Nos dois sistemas de plantios, a elevação da densidade do solo causou uma redução com significância no acúmulo de macronutrientes. Verifica-se que os teores de N, P e K foram reduzidos à medida que se aumentaram os níveis de compactação, independentemente do manejo de água, cujos valores se ajustaram a modelos de regressão linear e decrescente. Portanto, houve uma associação inversa entre os níveis de compactação e os teores de N, P e K acumulados na parte aérea das plantas.

Segundo Silva et al. (2006), existiu resposta diferenciada ao acúmulo dos nutrientes na planta de eucalipto, em consequência de ampla complexidade e influência dos fatores submetidos nos processos de absorção desses nutrientes pelas raízes das plantas e seu transporte no solo, sendo influenciados pela compactação.

Segundo Guimarães et al. (2013), ocorreu redução no tamanho das alturas de cultivares de plantas de milho em 21%, considerando um aumento do menor para o maior nível de densidade do solo, mostrando que, em solos compactados, as plantas não conseguem a absorção adequada dos nutrientes e água, prejudicando o desenvolvimento das novas raízes, levando em conta que nessas ocorre a grande taxa de absorção interferindo na altura dessas plantas. Analisando a área foliar, constatou-se a ocorrência da redução de 56% em média desta parte da planta das cultivares de milho, variando entre a menor e a maior densidade de compactação do solo em virtude da diminuição da redução da aeração e absorção de água em solos compactados.

Existem resultados distintos observados por Guimarães et al. (2002), que conferiram que a área foliar da planta de feijão reduziu de 4000 para 2000 cm², porque a densidade cresceu de 1,0 para 1,6 Mg m⁻³ em um Latossolo Vermelho perférico.

Piffer et al. (2010) averiguaram, nos estudos com a planta milho BN2, que houve a diminuição da altura dessas plantas, com elevada compactação do solo de 73%, variando entre as densidades de 1,21 e 1,51 Mg m⁻³, resultados que batem de frente com os obtidos neste estudo.

5. CONCLUSÃO

Existiu a limitação de absorção da N, P e K pelas raízes das plantas de soja, entre as variações de densidades de solos compactados, mostrando que quanto mais compacto está o solo, mais a planta absorve os nutrientes.

Não havendo interferência nas dosagens de nitrogênio, fósforo e potássio aplicadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES V.G.; ANDRADE N.J.B.; CORREA J.B.D.; MORAES A.R.; SILVA M,V,; **Concentração de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da compactação e classe de solos.** Universidade Federal de Lavra/UFLA. Lavras, MG. 2003.

AMADO, T.J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.H.; VIEGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in Southern Brazil. **Journal Environmental Quality.** Madinson. v.35, n.4, p.1599-1607, 2006.

AMBIENTE BRASIL. Ambiente Energia. **Biomassa.** Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/biomassa/biomassa_-_o_que_%3F.html>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

APROBIO – Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil. Disponível em: < <https://aprobio.com.br/2018/11/21/brasil-tera-45-de-renovaveis-na-matriz-energetica-em-2023/>> Acessado em: 10 de Abril de 2019.

ARAÚJO, A.F.; TEIXEIRA, G.M.; CAMPOS, A.X.; SILVA, F.C.; AMBROSANO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, v.35, p.284-289, 2005.

BAHRY, C. A. et al. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetidas a adubação nitrogenada. **Revista Agrarian.** Dourados, v. 6, n. 21, p. 281-288, 2013.

BARROS, N.J.P.O.; **Análise do Impacto da Integração de Energias Renováveis em Redes Distribuição.** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2011.

BASF. **Bula STANDAK Top.** Disponível em: <http://www.agro.basf.com.br/agr/ms/apbrazil/pt/function/conversions:/publish/content/APBrazil/solutions/fungicidas/Bulas/Bula_STANDAKTOP.pdf> . Acessado em 08 de Maio de 2017.

BENGOUGH, A. G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 189, p. 155-164, 1997.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.581-8, 2004.

BONATO, E. R. (Ed.). Estresses em soja. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2000. 253 p. disponível em: <
<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=820371&biblioteca=vazio&busca=820371&qFacets=820371&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>
 > acessado em 29 de Novembro de 2018.

BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, p.181-195, 1986.

BRAIDA, J.A., **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria.

BRAIDA, J.A; REICHERT, J.M; VEIGA, M.; REINERT, D.J. **Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor**. Tese de Doutorado. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.30 no.4 Viçosa July/Aug. 2006.

CASTRO, C.; de OLIVEIRA, F.A. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R.M.V.B. de C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C.,; (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: **Embrapa Soja**, 2005. P. 317-373.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR. CD-ROM. 2000.

CONAB. **Séries históricas**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acessado em: 15 de Abril de 2019.

COSTA, J.P.V; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.10, n.4, 2006.

COSTA, J. P. V. da. **Fluxo de difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos**. Viçosa: UFV, 1998. 67 p.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAUJO, W. L. **Efeito do nitrato e amônio sobre o crescimento e eficiência de utilização do nitrogênio em mandioca**. Bragantia, Campinas, v. 65, n. 3, p. 467-475, 2006.

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.71, p.29-32, 2002.

DAROUB, S.H.; PIERCE, F.J.; ELLIS, B.G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no-tillage. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n.1, p.170-176, 2000.

DUPONT, F.H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L.; **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. UFSM - Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70 – 81. 2015.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.. **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes**. 2º edição, p.193-198, Brasília, DF. 2009.

EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Embrapa Agrobiologia. Adubação verde. Utilização de leguminosas contribui no fornecimento de nitrogênio para culturas de interesse comercial e protege solo da erosão 2011.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**. Ministério de Minas e Energia. 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. **Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants**. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

FANTE, C. A. et al. **Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios**. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 253-261, 2010.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2005.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2002.

FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.

FIORIN, J.E.; VOGEL, P.T., BORTOLOTTTO, R.P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Pernambuco**, Recife, v.11, n.2, p.92-97, 2016.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 38:947-953, 2003.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura

do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.31, p.627-636, 2007.

FREITAS, G.M., **Biomassa, uma fonte de energia**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016.

GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; SANTOS, D.R. ; BRUNETTO, G.; ANDRADE, J.G.; ZATAMENA, J. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.9, p.1948-1954, set, 2010.

GOOGLE EARTH. **Google Earth** 9.2.63.0 Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-24.81515496,-53.2777135,694.65454258a,1715.17776799d,35y,62.36206259h,0t,0r>> Acessado em: 25 de Julho de 2018.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.63-189, 1980.

GOLDEMBERG, J.; LUCIN, O.; **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados. 2007.

GUIMARÃES, C. V.; ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; Santos, D. C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.11, p.1188-1194. 2013.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.213-218, 2002.

HUTCHISON, C. M. W.; WALWORTH, J. L. **Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification on nitrogen fertilizer availability in soil experimentally contaminated with diesel**. Biodegradation, v. 18, p. 133-144, 2007.

LEITE, G.M.V.; RIBEIRO, G. J. T.; GROSS, M. R.; SCHMIDT, P. A.; CORRÊA, J. B. D.; SILVEIRA, T. **Influência da compactação na germinação e desenvolvimento do arroz em três classes de solo**. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 29., 2003, Ribeirão Preto - SP. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP, 2003.

LIMA, V.C.; LIMA, M.R; MELO, V.f. **Conhecendo os principais solos do Paraná**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná – 2012.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2ed. Piracicaba; Potafos, p.37-46, 1998.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V. **Geração de energia e gaseificação de biomassa**. Biomassa & Energia, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 311-320, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres, 251p. 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba Potafos, 1997, 319p.

MASCARENHAS, H.A.A; ESTEVES, J.A.F.; WUTKE, E.B.; RECO, P.C.; LEÃO, P.C.L.; **Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja**. Nucleos – Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava. 2013

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.P.; GUIMARÃES, R.; **Compactação do solo e manejo da água. L: Efeitos sobre a absorção de N, P, K. massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz**. Ciênc. agrotec. Lavras, v. 29, n. 5, p. 940-947, set./out., 2005.

MENDES, A.M.S. **Introdução a fertilidade do solo**. Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA - BA/SDC/MAPA, 2007.

Microsoft Office Excel 2007. <<https://www.microsoft.com/pt-br/download/details.aspx?id=28534>> Acessado em: 01 de janeiro de 2019.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p.393-403, 1995.

MORETE, A.S.; **Óleo vegetal como combustível para energia elétrica em pequenos aglomerados de Rondônia como forma de geração de renda**. Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR.

MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. A.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.307-312, abr. 2004.

NELSON, K. A.; MOTAVALLI, P. P.; NATHAN, M. Response of No-Till Soybean [(L.) Merr.] to Timing of Preplant and Foliar Potassium Applications in a Claypan Soil. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 03, p. 832–838, 2005.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.; OYA, T. **Estágios de desenvolvimento da cultura da soja**. In: BONATO, E.R. (ed.) Estresses em soja. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. Disponível em: <

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/estudios.neumaier_000g4yai9ub02wx5ok0dkla0sd076il2.pdf> Acessado em 08 de Maio de 2017.

NIDERA SEMENTES, 2015. NA5909RG. Disponível em: <<http://www.niderasementes.com.br/produto/na-5909-rg--sul.aspx>>. Acessado 08 de Maio de 2017.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.

NOVAK, L.R.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito no tráfego do trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um latossolo vermelho-escuro álico, em dois níveis de umidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.27, n.12, p.1587-1595, 1992.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; KLEPER, D.; OLIVEIRA, F.A. Soja. In: PROCHOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. Piracicaba: IPNI – Brasil, v.3, p.1-38, 2010.

OLIVEIRA, A.P.M.; FUGANHOLI, N.S.; CUNHA, P.H.S.; BARELLI, V.A.; BUNEL, M.P.M.; NOVAZZI, L.F.; Análise técnica e econômica de fontes de energia renováveis. **The Journal of Engineering and Exact Sciences** – JCEC, vol.04 nº01, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L.I.; KLEPER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural restivo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p.623-631, 2008.

PAULINO, T.F.; PINTO, M.S.; COSTA, G.V.; BAMBIRRA, M.B.; PAULINO, E.S. Oficinas Educacionais: atividade de extensão como método para a melhor utilização da energia para estudantes do ensino fundamental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**. São Paulo, V. 11, No5:139-151, 2017.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H.; BERTOLINI, E. V.; COMINETTI, F. R.; SILVA, P. R. A. Crescimento radicular de três espécies de cobertura vegetal em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v.1, p.31-43, 2010.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, B.A.C.; Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento das plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.929-938, 2000.

RAIJ, B. van. Fertilidade do Oslo e adubação. Piracicaba: Ceres: Potafos, 1991, 343p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. Tópicos em

ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007.v.5. p.49-134.

RIBEIRO, M.A.V.; NOVAIS, R.F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M.M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J.M. de; VILLANI, E.M. de A.; Resposta da soja de do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 34, n, 4, p.1157-1164, 2010.

RIBEIRO, M. A. V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade**. 1999. 71 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

RODRIGUES NETO, L.L. **Aproveitamento do resíduo da queima de bagaço de cana-de-açúcar: caracterização físico-química e efeitos na germinação e crescimento de plantas**. 2017. 62f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia, área de Ciências dos Materiais) Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Tecnologia. 2017.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994.

SALES V. H. G.; PELUZIO J. M.; AFFÉRI F. S.; JUNIOR W. P. O.; SALES P. V. G., Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. **Revista agroambiente**, Boa Vista, v.10, n.1, p.22-29, 2016.

SANTOS, D.H.; SILVA, M.A.; TIRITAN, C.S.; FOLONI, J.S.S.; ECHER, F.R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.5, p.443–449, 2011.

SANTOS, G.A.; SOUZA, C.A.S.; DIAS JUNIOR, M.S.; FURTINI NETO, A.E.; GUIMARÃES, P.T.G. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 29, p.740-752, 2005.

SANTOS, I. F. S.; BARROS, R.M.; FILHO, G.L.T. (2014) - Emissões de gases de efeito estufa em hidrelétricas: Uma revisão.

SANT'ANA, E. V. O.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 15, n. 5, p. 458–462, 2011.

SERAFIM, M. E.; ONO, F. B.; ZEVIANI, W. M.; NOVELINO, J. O.; SILVA, J. V. Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.

SILVA, A.A.; DELATORRE, C.A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.8, m.2, p.152-163, 2008.

SILVA, R.H; ROSOLEM, C.A.; Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v. 37, n. 6, p. 855-860, jun. 2002.

SILVA, R.S.; BARROS, N.F.; SOUZA, C.M.; Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois latossolos. **Revista CERES**, 2008.

SILVA, S.R. **Crescimento de eucalipto influenciado pela compactação de solos e doses de fósforo e de potássio**. 2000. 97f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa. 2000.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F.; VILAS BOAS, J.E.B.; **Crescimento e nutrição de eucalipto em resposta à compactação de latossolos com diferentes umidades**. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2006.

SILVA, V. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; NOGUEIRA, F. GUIMARÃES, P. T. G. Kinetics of K release from soils of Brazilian coffee regions: effect of organic acids. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 533-540, 2008.

SILVEIRA, L.; Implicações de plantas de cobertura e de doses de nitrogênio no rendimento de grãos de soja. Dissertação. UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/PR. 2018.

SOARES, T.S.; CARNEIRO A.C.O.; GONCALVEZ E.O.; LELLES, J.G.; **Uso da biomassa florestal na geração de energia**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Ano IV, nº8, Agosto de 2006.

SOUZA, R.V.C.C.; ANTUNES, P.D.; MARQUES, M.C.; FREIRE, M.B.G.S.; Influência de diferentes níveis de compactação e doses de fósforo no crescimento e nos teores de P na matéria seca de plantas milho (*Zea mays* L.) em um solo representativo do Estado de Pernambuco. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol.8, nº1. 2008.

SOUZA, M.A.S.; FAQUIN, V.; GUELF, D.R.; OLIVEIRA, G.C.; BASTOS, C.E.A.; Acúmulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo prévio do capim-marandu, correção e compactação do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 611-622, out-dez, 2012 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

SPARKS, D.L. Chemistry of soil potassium in Atlantic Coastal Plain soils: a review. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 11:435- 449, 1980.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego

induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760, 2004.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C.; NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.393-399, 1999.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. **Effect of soil compaction on root development**. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.

TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 5.ed. New York, Macmillan, 1993. 634p

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

VACCARO, S.; BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; KÖNIG, F.G.; ISABEL, S.K.; CECONI, D.E. Comparação entre três diferentes métodos de análise de tecido vegetal. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p.15-28, 2004.

VEIGA, A. D.; VON PINHO, E. V. R.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R.; OLIVEIRA, K. C.; VON PINHO, R. G. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 953-960, 2010.

VIÉGAS, I. J. M. et al. Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) *Revista Acta Amazonica*. v. 43, n. 1 p. 43 – 50, 2013.

YARA BRASIL S.A. Disponível em:
<http://chemmate3.yara.com/SDS/search_advanced.aspx?Location=55755b3fb1011cd70000eDate=26%2f7%2f2018-4%3a21%3a1> Acessado em 25 de Julho de 2018.

APÊNDICE A



Av. Rocha Pombo, 170 * Jd. Gramado
CASCABEL - PR * CEP 85.816-540
Telefone / Fax: (45) 3227 1020
CNPJ 85.473.338/0001-13
E-mail: solanalise@solanalise.com.br
Home Page: www.solanalise.com.br



Cliente: PROTECTOR
Nome: EDSON LUIZ MATTE
Propriedade: SDE
Lote Rural: 15-F-1/15-G-2
Matrícula: 1780/13463
Localidade: CAMPININHA
Município: Corbelia - PR
Amostra: 00-20cm
Área total: 37 HA

Data Entrega: 26/04/2017

Data Coleta: 26/04/2017

Área plantio:

Controle: 61753 / 2017

Resultado de Análise de Solos			INTERPRETAÇÃO		
ELEMENTOS		Cmol _c /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio	Ca	4.23			■■■■
Magnésio	Mg	1.00			■■■■
Potássio	K	0.59			■■■■
Sódio	Na				
Alumínio	Al	0.57		■■■■	
H + Alumínio	H + Al	8.36			■■■■
Soma de bases	S	5.82			■■■■
C T C pH 7.0	T	14.18			■■■■
C T C efetiva	t				
g /dm ³					
Carbono	C	23.50			■■■■
M. Orgânica	MO	40.42			■■■■
%					
Sat. Alumínio	Al	8.92	■■■■		
Sat. Bases	V	41.04	■■■■		
Argila	Arg				
mg/dm ³					
Boro	B	0.36		■■■■	
Enxofre	S	3.06	■■■■		
Ferro	Fe	31.04		■■■■	
Manganês	Mn	26.24			■■■■
Cobre	Cu	12.17			■■■■
Zinco	Zn	11.42			■■■■
pH Água					
pH SMP					
pH CaCl ₂		4.40			

Observação:

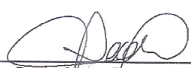
GRANULOMETRIA %	
Areia:	
Silte:	
Argila:	
Classificação do Solo, Tipo:	

FÓSFORO		
	mg/dm ³	
Fósforo	P	55.91
Fósforo Rem.		16.56
Nível Crítico de Fósforo	NCP	10.438
	%	
Fósforo Relativo	PR	535.645

RELAÇÕES Cmol _c /dm ³			
Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	K/(Ca+Mg)
4.23	7.17	1.69	0.26

K%	Ca%	Mg%	H%	Al%
4.16	29.83	7.05	54.94	4.02

Cascavel, 03 de Maio de 2017


Decio Carlos Zocoler
Químico Responsável
CRQ 09100089 - 9ª Região


Daniel Florio Zocoler
Químico Industrial
CRQ 09202405 - 9ª Região

Confira a autenticidade deste laudo em www.solanalise.com.br com a chave MjAxN3w2MTc1Mw==

Extrator Mellich: K - P - Fe - Mn - Cu e Zn, Extrator KCl: Ca - Mg - Al, Extrator HCl 0,05 N: B, Extrator Fosfato de Cálcio: S, Extrator Dicromato de sódio: Carbono
NESTE LAUDO NÃO CONSTA RECOMENDAÇÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS

Figura 10 – Análise de solo realizada antes do plantio da soja.

APÊNDICE B



Av. Rocha Pombo, 170 - Jd. Gramado
 Cascavel - PR CEP 85.816-540
 Telefone / Fax: 45 3227 1020
 CNPJ: 85.473.338/0001-13
 E-mail: solanalise@solanalise.com.br
 Home Page: www.solanalise.com.br



Cliente: MARINA MATTE
 Nome: MARINA MATTE
 Município: Corbélia - PR
 Amostra: 01

Data Entrega: 12/01/2019

Data Coleta: 12/01/2019

Controle: 50388 / 2019

Resultado de Análise de Solos

			INTERPRETAÇÃO		
ELEMENTOS	mg/dm ³	Cmol _c /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio	Ca	5.89			■■■■
Magnésio	Mg	2.45			■■■■
Potássio	K	187.20			■■■■
Alumínio	Al	0.07	■■■■		
H + Alumínio	H + Al	6.69			■■■■
Soma de bases	S	8.82			■■■■
C T C pH 7.0	T	15.51			■■■■
C T C efetiva	t	8.89			■■■■
g /dm ³					
Carbono	C	28.00			■■■■
M. Orgânica	MO	48.16			■■■■
%					
Sat. Alumínio	Al	0.79	■■■■		
Sat. Bases	V	56.87		■■■■	
Argila	Arg				
mg/dm ³					
Boro	B				
Enxofre	S				
Ferro	Fe				
Manganês	Mn				
Cobre	Cu				
Zinco	Zn				
pH Água					
pH SMP					
pH CaCl ₂		4.90			

Observação:

GRANULOMETRIA %

Areia:	17.50
Silte:	16.25
Argila:	66.25
Classificação do Solo, Tipo:	3

FÓSFORO

mg/dm ³	
Fósforo P	15.53
Fósforo Rem.	15.30
Nível Crítico de Fósforo NCP	9.96
%	
Fósforo Relativo PR	155.86

RELAÇÕES Cmol_c/dm³

Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	K/(Ca+Mg)
2.40	12.27	5.10	0.17

K%	Ca%	Mg%	H%	Al%
3.09	37.98	15.80	42.68	0.45

Cascavel, 18 de Janeiro de 2019

Décio Carlos Zocoler
 Químico Responsável
 CRQ 09100089 - 9ª Região

Daniel Fiorio Zocoler
 Químico Industrial
 CRQ 09202405 - 9ª Região

Confira a autenticidade deste laudo em www.solanalise.com.br com a chave MJAXOXw1MDM4OA==

Extrator Mehlich 1: K - P - Fe - Mn - Cu e Zn, Extrator KCl: Ca - Mg - Al, Extrator HCl 0,05 N: B, Extrator Fosfato de Cálcio: S, Extrator Dicromato de sódio: Carbono

NESTE LAUDO NÃO CONSTA RECOMENDAÇÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS

Figura 11 – Análise de solo realizada após a colheita da soja.