

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - *CAMPUS* CASCAVEL/PR

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**USO DE EFLUENTE DE BIODIGESTOR DA SUINOCULTURA NO CULTIVO DE NABO
FORRAGEIRO**

THAISA PEGORARO

CASCAVEL – PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO 2011

THAISA PEGORARO

**USO DE EFLUENTE DE BIODIGESTOR DA SUINOCULTURA NO CULTIVO DE NABO
FORRAGEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientadora: Dr^a. Maria Hermínia Tavares

Co-orientador: Dr. Silvio César Sampaio

CASCADEL – PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO 2011

Ficha catalográfica

Elaborada pela Biblioteca Central do Campus de Cascavel - Unioeste

P423u Pegoraro, Thaisa
Uso de efluente de biodigestor da suinocultura no cultivo de nabo forrageiro / Thaisa Pegoraro — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2011.
80 f.; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria Hermínia Tavares
Co-orientador: Dr. Silvio César Sampaio
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Reuso de água. 2. Poluição difusa. 3. *Raphanus sativus*.
I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 662.6

Bibliotecária: Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

THAISA PEGORARO

USO DE EFLUENTE DE BIODIGESTOR DA SUINOCULTURA NO CULTIVO DE NABO
FORRAGEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Maria Hermínia Ferreira Tavares
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^a. Dr^a. Sílvia Renata Coelho Machado
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof^a. Dr^a. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Julio César Pascale Palhares
Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP

Cascavel, 18 de fevereiro de 2011.

BIOGRAFIA RESUMIDA

Thaisa Pegoraro, nascida em 25 de junho de 1985, é natural de Cascavel, Paraná. Concluiu o Ensino Médio no ano de 2002 e, em seguida, prestou vestibular na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), sendo aprovada no curso de Ciências Biológicas, Licenciatura. Durante a graduação integrou projetos de iniciação científica, desenvolvendo trabalhos acadêmicos e profissionais, atuando principalmente nas áreas de Ensino de Ciências, Educação Ambiental e Geologia. Em 2004, foi aprovada no curso de Letras – Português/ Inglês, na mesma Universidade e em 2005 foi selecionada no concurso público da Companhia de Energia Elétrica do Paraná (COPEL), no cargo de assistente administrativo. Em 2007, concluiu o curso de Ciências Biológicas e iniciou Pós-Graduação *Lato sensu* em Auditoria, Perícia e Gestão Ambiental na Faculdade Assis Gurgacz. Em 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Engenharia Agrícola, no qual desenvolveu o projeto de dissertação na área de Saneamento Ambiental, sob orientação dos professores Maria Hermínia Ferreira Tavares e Silvio César Sampaio.

“O que eu faço é uma gota no meio de um oceano.

Mas, sem ela, o oceano será menor.”

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Os mais de mil e quinhentos quilômetros percorridos até a chácara; as mordidas de pernilongos, formigas ou abelhas, dos quais repelente algum dava conta; a terra por toda e qualquer fresta do corpo, do carro e de tudo; os dias sem fim capinando e tostado sob o sol ou trabalhando também sob a chuva; os sábados ou os domingos irrequietos; o estresse quando algo não dava certo; as ideias impossíveis de concretizar; as infinitas horas em frente ao computador ou atrás das bancadas dos laboratórios; e houve as brigas com a danada da estatística... e também noites sem dormir! Isso e mais formaram aquilo que representou uma das etapas mais importantes da minha vida e, essencialmente, são devidos a anjos especiais, que merecem um carinhoso agradecimento! Vocês ajudaram para que o trabalho ganhasse forma, talvez não a melhor possível, mas a melhor que conseguimos!

Aos professores orientadores Silvio César Sampaio e Maria Hermínia Ferreira Tavares, pelos apontamentos, incentivo, compreensão, amizade e confiança;

Aos professores Silvia Renata Machado Coelho, Márcio Antônio Vilas Boas, Simone Damasceno Gomes, Miguel Angel Uribe Opazo, Luciane Sene, Lúcia Helena Pereira Nóbrega, Luiz Antonio de Mendonça Costa, Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, Fabiana Gisele da Silva Pinto, Erivelto Mercante, Airton Kunz e Julio César Palhares, pelo empréstimo de vossos laboratórios, equipamentos ou sabedorias, através da realização dos créditos ou simplesmente pela boa vontade em sanar as dúvidas, externalizando a bela vocação de ensinar;

Aos professores Décio Lopes Cardoso e Irene Carniatto, pelo apoio quando necessário;

Aos assíduos auxiliares de trabalho que se tornaram indispensáveis amigos, Leocir José Carneiro e Denise Palma, pelas risadas, fundamental contribuição e invejável garra e boa vontade com que conduziram o experimento como se fosse deles!

Marciane, Guerra, Carlão e Liziane, também parceiros de chácara, imprescindíveis!

Aos técnicos Edison e Edevan, ao funcionário do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola, Sr. Círio, e à secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Vera Celita Schmidt, que estiveram sempre presentes e dispostos, absorvendo, com muita paciência, as mais singelas dúvidas;

Às amigas amortecedoras essenciais da longa caminhada, pelos ombros amigos, bons momentos de descontração, conversas fiadas e “algumas” festas: Sara, Luciana, Mariana, Lara, Shaiane, Francielly, Simone, Larissa, Priscila, Juliana, Dinéia e Julie. Em

especial à amiga Cláudia Facini dos Reis, estrela-guia, pela ajuda incondicional em todo e qualquer momento que houvesse;

À melhor família do mundo: meu pai, Célio Pegoraro, pelo exemplo de vida; à minha mãe, Zeila Maria Pegoraro, pela ajuda, carinho e incentivo; aos meus irmãos, Marina e Eduardo Pegoraro, pelo apoio, even so far;

Ao meu perfeito namorado, João Leonardo Pellissari, completo companheiro, pelo amor, abdicação pessoal, compreensão e por tornar a mim uma pessoa melhor!

Às pessoas, que talvez sem perceber, prestaram igualmente tamanha essencialidade: Lucimar da Coopavel, Sr. Mazola, Jian, Dércio, Dácio, Amilcar, Galo, Dilcemara, Wagner, Eliane, Maycon, Fabíola, Natássia e a todos mais que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho e na conclusão do curso de pós-graduação e não foram aqui mencionados;

Por fim, às instituições: à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Cascavel, sobretudo, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola como um todo, pela imensurável injeção de conhecimento e oportunidade concedida; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Muito Obrigada!

USO DE EFLUENTE DE BIODIGESTOR DA SUINOCULTURA NO CULTIVO DE NABO FORRAGEIRO

RESUMO: O efluente proveniente da suinocultura tem sido aplicado no solo com o intuito de promover uma maior disponibilidade de nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), a diversas culturas e como uma saída à disposição final desses efluentes em corpos hídricos. Entretanto, esta prática preocupa com relação à possibilidade de geração de poluição difusa no ambiente. O nabo forrageiro é utilizado como adubo verde de inverno no plantio direto e pode ser promissor para a produção de biodiesel, demandando valores consideráveis de nutrientes para o seu desenvolvimento. Desse modo, objetivou-se nesse trabalho avaliar o efeito da aplicação de efluente oriundo da biodigestão anaeróbia da suinocultura (EBS) no cultivo de nabo forrageiro. O experimento foi instalado em uma área de 0,162 ha no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEAA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, na cidade de Cascavel, PR. Os tratamentos utilizados foram baseados no tipo de irrigação: sequeiro, irrigado e fertigado com EBS, nas doses de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$. Após cada evento de precipitação, foram coletados os materiais de drenagem dos lisímetros previamente instalados na área e analisados quanto à perda dos principais macro e micronutrientes. O solo da área experimental também foi analisado quanto às possíveis alterações das características físicas e químicas. No vegetal, avaliaram-se os índices agronômicos e nutrientes presentes na fitomassa seca. Posteriormente, os grãos foram submetidos aos testes de pós-colheita. Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação de EBS em uma taxa de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, nas condições em que este experimento foi realizado, pouco modificou as características do solo, e que a fertigação e a irrigação possibilitaram maior produtividade dos grãos e maior rendimento agronômico. Além disso, a aplicação de EBS proporcionou perdas de nutrientes no material escoado e percolado, que podem influenciar na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, porém, no geral, não a níveis superiores à legislação.

Palavras-chave: reúso de água, poluição difusa, *Raphanus sativus* L.

USE OF SWINE WASTEWATER IN OIL RADISH CULTIVATION

Abstract: The effluent from pig farming has been applied to the soil in order to promote greater availability of nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), in several cultures and as an alternative for disposing of these effluents in water bodies. However, this practice generates concerns regarding to the possibility of generating diffuse pollution in the environment. The crop of oil radish is used as a green manure in sequential cropping and may be promising for the production of biodiesel, requiring considerable amounts of nutrients for its development. Thus, this study aimed to evaluate the effect of effluent coming from the anaerobic digestion of swine (EBS) in the cultivation of oil radish. The experiment was installed in an area of 0.162 ha in the Experimental Center of Agricultural Engineering (NEAA) of Western University of Paraná – UNIOESTE, in the city of Cascavel, PR. The treatments were based on the type of irrigation: not irrigated, irrigated and fertigated with EBS at doses of 370 m³ ha⁻¹ cycle⁻¹. After each rainfall event, the water materials were collected from drainage lysimeters previously installed in the area and analyzed for macro and micronutrients losses. The soil of the experimental area was also analyzed for possible changes in physical and chemical characteristics. In the plant, agronomic rates and nutrients in dry matter were evaluated. Subsequently, the grains were tested for post-harvest. The results showed that the application of EBS at a rate of 370 m³ ha⁻¹, under the conditions in which this experiment was conducted, did not change the soil characteristics and the fertigation and irrigation allowed higher productivity of grains and agronomical parameters for the crop. Furthermore, the application of EBS provided nutrient losses in runoff and leachate, which could influence the quality of surface water and groundwater, but in general, not to higher levels than the ones accepted by the legislation.

Keywords: reuse of water, diffuse pollution, *Raphanus sativus* L.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Irrigação e reúso da água na agricultura	17
3.1.1 Efluente de biodigestão da suinocultura.....	18
3.2 Nabo forrageiro	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 Local, material e manejo Experimental.....	26
4.2 Determinação da produtividade e de índices agronômicos	32
4.3 Perdas de nutrientes por escoamento superficial e percolação.....	32
4.4 Análise de pós-colheita dos grãos.....	35
4.5 Análise dos dados.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Análise do solo da área experimental	38
5.1.2 Análise química do solo	38
5.1.3 Análise física do solo	43
5.2 Produtividade, índices agronômicos e nutrientes na fitomassa seca	47
5.2.1 Produtividade e índices agronômicos.....	47
5.2.2 Acúmulo de nutrientes na fitomassa seca de nabo forrageiro	51
5.3 Perda de nutrientes via escoamento superficial e percolação	55
5.4 Análise de pós-colheita dos grãos	67
6 CONCLUSÃO	70
7 REFERÊNCIAS	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características químicas de efluentes da suinocultura.....	19
Tabela 2 Características do nabo forrageiro	24
Tabela 3 Características dos óleos de soja, girassol e nabo forrageiro	24
Tabela 4 Parâmetros e metodologias para as análises físicas e químicas do solo	28
Tabela 5 Caracterização do solo da área experimental para os três tratamentos antes do cultivo de nabo forrageiro.....	28
Tabela 6 Parâmetros e metodologias para análises químicas da água e do EBS	30
Tabela 7 Caracterização do efluente aplicado no experimento.....	30
Tabela 8 Quantidade de nutrientes aplicados no tratamento T3 em kg ha ⁻¹	31
Tabela 9 Parâmetros e metodologias utilizadas para as análises químicas do material escoado e percolado.....	34
Tabela 10 Cronograma geral do experimento em campo	35
Tabela 11 Resumo da ANOVA para análise química de solo após o pleno florescimento da cultura de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	38
Tabela 12 Teste de comparação de médias para a análise química de solo após o pleno florescimento da cultura de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	39
Tabela 13 Resumo da ANOVA para os parâmetros físicos do solo no cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	44
Tabela 14 Teste de comparação de médias para os parâmetros físicos do solo no cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	45
Tabela 15 Resumo da ANOVA para a produtividade e os índices agrônômicos do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	48
Tabela 16 Teste de comparação de médias para a produtividade e os índices agrônômicos do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	48
Tabela 17 Resumo da ANOVA para análise dos nutrientes na fitomassa seca do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	52
Tabela 18 Teste de comparação de médias para os nutrientes na fitomassa seca do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	52
Tabela 19 Resumo da ANOVA e teste de comparação de médias para a coleta do material escoado durante o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	55
Tabela 20 Percentual do volume percolado em função do precipitado durante o ciclo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	61
Tabela 21 Resumo da ANOVA para as coletas do material percolado durante o ciclo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	62
Tabela 22 Teste de comparação de médias dos parâmetros avaliados no material percolado	

durante o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos	62
Tabela 23 Resumo da ANOVA e teste de comparação de médias para a análise de sementes de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Cultura de nabo forrageiro	23
Figura 2 Reservatórios e sistema moto-bomba da área experimental	26
Figura 3 Aspensor utilizado no sistema de irrigação do experimento	27
Figura 4 Imagem aérea da área experimental	27
Figura 5 Irrigação do tratamento T2 na área experimental	29
Figura 6 Precipitação mensal ocorrida durante o ciclo do nabo forrageiro	31
Figura 7 Representação de um lisímetro da área experimental para coleta do material escoado e percolado.....	33
Figura 8 Semeadura de nabo forrageiro em incubadora para teste de germinação	36
Figura 9 Primeira contagem do teste de germinação de nabo forrageiro em <i>gerbox</i>	36
Figura 10 Distribuição da massa seca (%) em plantas de nabo forrageiro por ocasião do tratamento	49
Figura 11 Volumes médios percolados durante o ciclo do nabo forrageiro.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de Variância
B	Boro
B100	Biodiesel puro
B2	2% de biodiesel na mistura do diesel
B3	3% de biodiesel na mistura do diesel
C	Carbono
Ca	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
Cfa	Clima subtropical úmido mesotérmico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
Cu	Cobre
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
Cv	Cavalo (unidade de medida)
CV	Coeficiente de Variação
DAS	Dias após a semeadura
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Ds	Densidade do Solo
EBS	Efluente de Biodigestão da Suinocultura
EBS 1	1ª Carga de EBS aplicada da 1ª a 3ª irrigação
EBS 2	2ª Carga de EBS aplicada na 4ª e na 5ª irrigação
Fe	Ferro
H+Al	Acidez trocável
ha	Hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
M	Saturação por Alumínio
MAP	Macroporosidade
Mg	Magnésio
MIP	Microporosidade
MJ	Mega Joule
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica

MS	Massa Seca
MSA	Massa Seca da parte aérea
MSR	Massa seca do sistema radicular
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NEEA	Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola
NH ₃	Amônia
NH ₄	Amônio
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
NTK	Nitrogênio Total Kjeldalh
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Porosidade Total
RAS	Regra de Análise de Sementes
S	Enxofre
SB	Soma de bases
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
ST	Sólidos Totais
T1	Tratamento Sequeiro
T2	Tratamento Irrigado com água
T3	Tratamento Fertigado com EBS
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
V	Saturação por bases
Zn	Zinco

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de dejetos e efluentes oriundos da atividade pecuária em solos agrícolas pode ser uma eficiente forma de ciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), o que possibilita ao produtor rural minimizar custos com o uso de fertilizantes convencionais, e uma alternativa para descarte dos resíduos gerados pela extensiva produção avícola, bovina e suína, de modo a utilizar o solo como um meio filtrante para tal.

O excesso de nutrientes disponíveis no solo e na água, por sua vez, vem se revelando um grande problema em várias regiões do Brasil, inclusive no Oeste do Paraná, uma vez que a região é geradora de uma grande quantidade de resíduos líquidos e sólidos, sobretudo oriundos da atividade suinícola. O estado produziu 507.886 toneladas de carne suína em 2007 (PARANÁ, 2007) e abateu, no trimestre de setembro a dezembro de 2010, 1.385.338 cabeças (IBGE, 2010), sendo considerada uma região pólo nesse setor. Desse modo, tanto nos criatórios quanto nos abatedouros, geram-se quantidades elevadas de resíduos, os quais, quando lançados no ambiente, podem trazer sérios problemas, principalmente decorrente do acúmulo de nutrientes. No sentido de evitar ou de reduzir a contaminação dos corpos de água através da eliminação de resíduos, várias atividades têm sido desenvolvidas pelos produtores rurais, dentre as quais se destaca a irrigação com efluentes agrícolas.

Trabalhos têm reportado a aplicação de efluentes da suinocultura nas mais diversas condições do solo: em culturas como milho (OLIVEIRA et al., 2004; BERENQUER et al., 2008; FREITAS et al., 2005), soja (DAL BOSCO et al., 2008), maracujá (CRUZ et al., 2008), feijão (DOBLINSKI et al., 2009) e alface (JUCHEN, 2000; BAUMGARTNER et al., 2007); em condições de pastagem natural (DURIGON et al., 2002; GATIBONI et al., 2008); com gramíneas forrageiras (QUEIROZ et al., 2004; SMITH et al., 2007); em sistema de plantio direto (BASSO et al., 2005; BERWANGER et al., 2008; BERTOL et al., 2005; CERETTA et al., 2005; BAKHSH et al., 2005); dentre outros. Em alguns desses estudos, objetiva-se avaliar a influência do efluente de suinocultura sobre o rendimento agrônômico da planta e, em outros casos, analisar os impactos ambientais causados pelo excesso de nutrientes liberados no meio ambiente, sobretudo no solo, no material lixiviado e oriundo de escoamento superficial.

Estudos analisando o uso de efluentes agrícolas na cultura de nabo forrageiro são ainda incipientes, mas merecem uma relevante atenção: trata-se de uma cultura muito vigorosa e com tratamentos culturais simplificados e que apresenta um rápido crescimento, competindo com as plantas daninhas desde o início, diminuindo os gastos com herbicidas ou capinas, o que facilita a instalação da cultura seguinte (CALEGARI, 1990). Além disso, o teor de óleo na planta representa de 30 a 35% do peso da semente, podendo ser extraído

visando à produção de biodiesel. No Brasil, esta oleaginosa vem sendo utilizada há algum tempo como adubo verde de inverno, pois, além de produzir grande volume de palha para a prática do plantio direto, possui elevada capacidade de reciclar nutrientes, principalmente N e P, sendo excelente para cobertura do solo na transição entre as culturas de milho e trigo (COSTA, 1993). Trabalhos de Ceretta *et al.* (2005) e Basso *et al.* (2005) observaram ser o nabo forrageiro uma cultura com menor potencial de poluição difusa via percolação e escoamento superficial de N e P, juntamente com a aveia. A cultura do milho propiciou, em ambos os estudos, perdas de duas a três vezes maiores que o nabo forrageiro quando se aplicou dejetos suíno nas doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹.

Por esses motivos, acredita-se que estudos sobre o uso de efluentes agrícolas em culturas para a produção de biodiesel são promissores, em virtude da quantidade de óleo produzido estar associado ao aumento da produtividade e ao bom desenvolvimento da planta, que depende das condições de solo, como matéria orgânica e nutrientes, presentes em altas concentrações em efluentes suínos. Além disso, o nabo forrageiro pode vir a atender uma preocupação ambiental, que é a redução da poluição devido à aplicação de dejetos líquidos de suínos na agricultura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar o efeito da aplicação de efluente de biodigestor da suinocultura (EBS) no cultivo de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

2.2 Objetivos Específicos

Compreendem os objetivos específicos deste trabalho:

- Avaliar os efeitos da aplicação de EBS no cultivo de nabo forrageiro nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Distroférrico típico;
- Verificar qual o tipo de tratamento propiciará maior produção de grãos e melhores rendimentos agrônômicos: sequeiro, irrigado e fertigado com EBS;
- Avaliar o potencial do nabo forrageiro como adubo verde de inverno nas condições de sequeiro, irrigado e fertigado com EBS na região Oeste do Paraná;
- Observar o potencial de perdas de nutrientes através do escoamento superficial e percolação, quando da aplicação de EBS no cultivo nabo forrageiro;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Irrigação e reúso de água na agricultura

A utilização da irrigação na agricultura, há um tempo atrás, era vista apenas como uma forma de lutar contra a seca. Hoje, no entanto, sabe-se que se trata de uma estratégia para o aumento da produção e da rentabilidade do produtor (MANTOVANI et al., 2007). Ao setor agrícola, por esse motivo, concerne a responsabilidade por cerca de 70% do consumo de água doce do mundo (HESPANHOL, 2008; HIRAGASHI et al., 2008).

Com o intuito de minimizar os gastos com água potável, vários países são adeptos à irrigação de culturas por meio da reutilização de águas residuárias, provenientes de diversas fontes, como de dejetos brutos e urinas, da água desperdiçada dos bebedouros, do volume utilizado na higienização das instalações de animais, bem como do tratamento de efluentes oriundos de processos agrícolas (esterqueiras, biodigestores, reatores, lagoas, etc.), industriais (indústrias alimentares, de bebidas, de destilação de álcool, indústria têxtil) e urbanos (esgotos domésticos).

Se monitorada, a opção de aplicar efluentes agrícolas no solo cultivado é uma alternativa que pode ser considerada efetiva no controle da poluição, já que, na maioria das vezes, os resíduos têm como destino o simples descarte no solo ou em corpos hídricos, sem algum controle. O ganho econômico para o produtor, neste caso, é também considerável, pois além de não haver necessidade de implantação de técnicas apuradas para o tratamento dos dejetos, reduz custos com a aquisição de fertilizantes inorgânicos comerciais. Concomitantemente, reutilizar águas residuárias da agricultura como fonte de nutrientes para as plantas em contraposição à irrigação convencional não deixa de ser uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica de certas regiões, principalmente áridas e semi-áridas (SANDRI et al., 2009).

Do ponto de vista ambiental e sanitário, Hespanhol (2003) também cita benefícios do reúso de água da agricultura. Para o autor, se o sistema de reúso é adequadamente planejado e administrado, pode proporcionar a preservação dos recursos subterrâneos, a conservação do solo devido à acumulação de húmus, o que aumenta a resistência à erosão e o aumento da concentração de matéria orgânica, possibilitando maior retenção de água. Além disso, pode aumentar a produção de alimentos, elevando os níveis de saúde e a qualidade de vida da população.

Em contrapartida, o reúso de água da agricultura requer o acompanhamento dos nutrientes aplicados no solo, principalmente o sódio, que é encontrado em elevadas concentrações, restringindo a solubilidade de outros nutrientes (SANDRI et al., 2009). Freitas *et al.* (2005) destacam que aplicações sucessivas de efluentes podem favorecer o

processo de salinização do solo e que o estresse salino, por sua vez, é limitante ao crescimento e produção das culturas, induzindo modificações morfológicas e metabólicas nas plantas superiores. Além disso, Dal Bosco (2007) complementa que a aplicação de efluentes da agricultura no solo, quando realizada de maneira descontrolada, gera disseminação de ervas daninhas e patógenos, ocasiona toxicidade pela amônia (NH_3) e compromete os teores de magnésio e a estabilidade física do solo.

Dal Bosco *et al.* (2008) acrescentam que a quantidade e a frequência da aplicação de efluentes no solo devem ser seguidas de uma análise da natureza e da composição do resíduo, das condições climáticas, do tipo e características químicas do solo da região e, principalmente, do quanto a cultura em questão necessita. Sabe-se, porém, que tais variáveis, na maioria das vezes, não são levadas em consideração quando da aplicação de efluentes no solo e acabam por gerar contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas, além de atuar como contaminante do ar e afetar, indiretamente, a saúde do homem (SEGANFREDO, 1999).

3.1.1 Efluente da Suinocultura

No Brasil, anualmente, a carne suína movimenta cerca de 1,56 bilhões de dólares, gerando emprego e renda para cerca de dois milhões de propriedades rurais. Trata-se de uma atividade que é praticada em quase 50% das propriedades rurais do país, sendo importante fonte de renda e de estabilidade social (DAL BOSCO *et al.*, 2008). Em 2007, o país possuía um plantel de 37.500 milhões de suínos, ocupando a quarta colocação dentre os países que mais produzem carne suína no mundo (MIRANDA, 2007).

A Região Sul do Brasil destaca-se por apresentar cerca de 58% da produção nacional, sendo que o estado do Paraná possui, atualmente, cerca de 135 mil propriedades suinícolas e um rebanho estimado em 4,5 milhões de animais (MIRANDA, 2007). Nos últimos 30 anos, a produção de carnes de suíno aumentou 251% e, nesta mesma escala, aumentou a sua carga poluidora, devido à alta capacidade de geração de resíduos que a atividade apresenta: são, em média, 10 L de dejetos gerados por suíno ao dia (NOGUEIRA; SILVA, 2006), o que acumula 0,27 m³ de dejetos líquidos por mês (ASSIS, 2004). Estima-se que um suíno produza em resíduos o equivalente a 3,5 homens (MATTIAS, 2006).

Regiões de elevada concentração de suínos, normalmente, apresentam sérios problemas ambientais, devido à exigência de grande volume de água para a higienização das instalações, à dessedentação dos animais, à água desperdiçada nos bebedouros e, sobretudo, devido à geração de elevadas quantidades de efluentes impactantes, rico em coliformes e elementos químicos (HIRAGASHI *et al.*, 2008). Acarreta-se que a poluição do ambiente é uma das grandes ameaças à sobrevivência e expansão da suinocultura nos grandes centros produtores, a exemplo da região Sul do Brasil (ASSIS, 2004).

No Brasil, assim como em outros países, a atividade de suinocultura é típica de pequenas propriedades, não restando áreas para valoração do efluente pelos proprietários, pois a capacidade de suporte do solo é superada (BASSO, 2003; VIVAN et al., 2010). Por este motivo, a grande quantidade de resíduos gerados, que excedem a área disponível para descarte, gera alto impacto ambiental e alternativas de tratamento precisam ser adotadas.

Os dejetos suínos, por apresentarem uma série de componentes prontamente disponíveis à planta, têm sido largamente utilizados na lavoura, em substituição aos fertilizantes inorgânicos. Porém, este biofertilizante não possui uma composição definida, dificultando a recomendação de doses padronizadas (BASSO, 2003). Os principais nutrientes encontrados nestes efluentes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e outros metais pesados. A concentração destes nutrientes nos efluentes, por sua vez, está atrelada a uma série de fatores. Conforme Basso (2003), o alto desperdício de água oriundo da lavagem das instalações, a alimentação fornecida e a idade do animal, bem como a forma que os resíduos são armazenados e manuseados apresentam uma grande variação na concentração dos componentes.

A Tabela 1 apresenta o conteúdo médio de nutrientes de alguns tipos de efluentes da agricultura, conforme a caracterização realizada por cinco autores e de acordo com o sistema de tratamento utilizado.

Tabela 1 Características químicas de efluentes da suinocultura

Parâmetros	Referência				
	Cruz <i>et al.</i> (2008) ¹	Baumgartner <i>et al.</i> (2003) ²	Anami (2003) ³	Dal Bosco (2008) ⁴	Oliveira <i>et al.</i> (2004) ⁵
pH	6,87	8,13	7,77	7,73	7,40
N	27,50	1942,00	147,95	801,67	-
P	1,16	22,50	30,80	92,19	67,40
K	15,8	565,0	450,0	543,3	696,0
Ca	-	-	-	50,97	548,5
Mg	-	-	-	23,77	63,00
Zn	-	-	-	1,17	19,18
Cu	-	-	-	0,20	1,57
Na	-	170,00	315,00	18,2	112,3
DQO	-	3208	2062	1444	1300
DBO	-	987	594	671	1111

Dados expressos em mg.L⁻¹, exceto para o parâmetro pH.

DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda bioquímica de oxigênio. ¹efluente de suinocultura após tratamento por sistema anaeróbio UASB; ²efluente de lagoa de estabilização de dejetos suínos; ³efluente de lagoa de produção de algas, alimentada com resíduo de biodigestor de dejetos suínos; ⁴efluente de suíno após passagem pelo biodigestor e 1ª Lagoa Facultativa; ⁵dejetos de suíno bruto, sem tratamento.

De acordo com a Tabela 1, enfatiza-se que o efluente da suinocultura apresenta grandes variações em seus componentes, dependendo, principalmente, do sistema de manejo adotado no tratamento. Os nutrientes presentes nos dejetos suínos, no contexto

agrícola, são importantes para a nutrição das culturas, pois promovem um aumento da produtividade e melhor rendimento agrônômico.

Em estudos de Freitas *et al.* (2005), a aplicação de dejetos de suíno aumentou significativamente os valores da altura de milho e a altura e peso das espigas. Os autores observaram que as alturas de plantas foram, em média, 20,5% superiores à testemunha e as alturas das espigas foram da ordem de 25% superior à testemunha. Cruz *et al.* (2008), avaliando mudas de maracujazeiro, encontraram incrementos em todos os atributos agrônômicos analisados, inclusive para a altura das mudas, comprimento da raiz e área foliar nos tratamentos que foram submetidos à fertilização orgânica com efluente da suinocultura. Ceretta *et al.* (2005), da mesma forma, porém trabalhando com a cultura de milho, encontraram máxima produtividade de grãos com a aplicação de EBS em uma dose de $85 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de efluente.

Freitas *et al.* (2005) obtiveram médias de produtividade de massa seca para o milho com aplicação de efluente da suinocultura de 13 t ha^{-1} , cerca de 58% superior à testemunha. Ceretta *et al.* (2005) utilizaram dejetos líquidos de suínos no ciclo de rotação aveia preta, milho e nabo forrageiro, nas concentrações de 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e constataram um incremento na produção de MS de 128, 223 e 331%, respectivamente, se somadas todas as espécies.

Quanto aos impactos ambientais proporcionados pelo excesso de nutrientes dos efluentes agrícolas, o N e P, em especial, merecem considerável atenção, pois preocupam quanto ao risco de contaminação das águas, já que estimulam o crescimento de plantas aquáticas, conduzindo ao processo conhecido como eutrofização. O N é um nutriente que se apresenta no ambiente sob diversas formas: no solo, grande parte está na forma orgânica, isto é, de baixa disponibilidade para as plantas, e uma pequena fração encontra-se na forma mineral, prontamente acessível para a absorção das culturas. A mineralização, processo realizado por organismos heterotróficos do solo, é definida como a transformação do N orgânico em formas inorgânicas, como amônio (NH_4^+), amônia (NH_3), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). A imobilização, por sua vez, é a transformação do N inorgânico para as formas orgânicas (ROSSATO, 2004). O N orgânico presente nos efluentes da suinocultura é essencialmente mineralizado depois de sua aplicação no solo. Ao atingi-lo, parte do efluente pode infiltrar, parte pode ficar armazenada nas depressões do terreno e outra parte pode escoar pela superfície. O NH_3 , geralmente, não sofre lixiviação até a zona da raiz, mas pode volatilizar como NO_3^- , que é altamente solúvel e pode mover-se facilmente com a água de forma a contaminar o solo, os cursos d'água ou as águas subsuperficiais (BAKHSH *et al.*, 2005).

Conforme afirma Rossato (2004), a lixiviação do N mineral, na forma de NO_3^- , é um fenômeno físico, favorecido pela sua alta solubilidade em água e pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo. Assim, o movimento de NO_3^- no solo funciona do mesmo modo que o movimento da água, ou seja, acompanha os movimentos

descendentes durante grandes precipitações e ascendentes durante a evaporação e evapotranspiração (COSTA et al., 1999). Devido a esta alta mobilidade no perfil do solo, vários autores têm dirigido a atenção em estudos relacionados ao potencial poluidor do NO_3^- nas águas de percolação.

Comparativamente ao NO_3^- , a mobilidade do P no solo é muito pequena e por isso as perdas por lixiviação em solos agricultáveis são consideradas insignificantes (HEATHWAITE et al., 2000). Todavia, em estudos de Bertol *et al.* (2005), os solos que receberam dejetos de suínos tiveram uma maior suscetibilidade para perda de P em relação a solos que recebem N-P-K formulados. Isso significa que a transferência de P para o solo por meio de dejetos suíno apresenta também grandes riscos de danos ambientais, principalmente ao longo do tempo.

Para Quinton *et al.* (2001), o risco de contaminação do solo por P fica mais evidenciado em períodos de chuvas, o que também pode ser agravado se o evento pluviométrico ocorrer logo após a aplicação do dejetos no solo. Doblinski *et al.* (2010), a fim de verificarem o impacto ambiental do EBS na cultura do feijoeiro através do escoamento superficial, utilizaram quatro taxas de aplicação de água residuária (0, 50, 100, 150 e 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Os resultados indicaram que as perdas dos nutrientes N, P e K são exponenciais. Além disso, constataram que o P apresenta potencial poluidor sete vezes maior que o K e três vezes maior que o N.

Além do N e P, outro problema acarretado pela aplicação de dejetos de suíno no solo é a presença de micronutrientes, principalmente Cu e Zn, que são adicionados na alimentação de suínos a fim de melhorar a digestão e prevenir doenças nos animais (BARROS et al., 2003; KUNZ et al., 2005), podendo poluir o meio ambiente e provocar danos à biota e ao ecossistema como um todo (FERNANDES et al., 2007). No solo, os metais pesados tendem a ligar-se fortemente às argilas e outras partículas, concentrando-se e acumulando-se nas camadas superiores. Alguns metais são nutrientes essenciais às plantas, como é o caso do Zn e Cu. Contudo, o emprego de fungicidas, fertilizantes, esterco de animais, lixo urbano, lodo de esgoto no solo e a deposição de poeiras industriais são as principais causas que levam ao aumento das concentrações desses metais até níveis tóxicos (MARSOLA et al., 2005).

O solo, naturalmente, apresenta características de retenção dos metais, porém, se essa capacidade for ultrapassada, eles tanto podem entrar na cadeia alimentar dos organismos vivos, como ser lixiviados. A retenção dos micronutrientes no solo sofre elevada interferência do pH do solo: se o pH estiver acima de 7, os elementos são retidos pela maioria dos solos, já com valores de pH abaixo de 7,0, ocorre a lixiviação dos metais para o subsolo (BARROS et al., 2003). Santos (2005) complementa ainda que a distribuição dos metais depende das seguintes propriedades do solo: pH, potencial redox, textura,

composição mineral, características do perfil, quantidade e tipo de componentes orgânicos, CTC, temperatura, umidade e presença de outros metais.

Berenguer *et al.* (2008) monitoraram durante seis anos uma área com cultura de milho irrigada com dejetos de suínos. As concentrações de Cu e Zn durante os seis anos totalizaram de 6,6 a 11,9 kg.ha⁻¹ e 12,8 a 22,5 kg.ha⁻¹, respectivamente. Ao fim do experimento, os autores constataram um aumento de concentrações de 32% de Cu e 11% de Zn no solo.

Dal Bosco *et al.* (2008) avaliaram, no Paraná, a poluição difusa através do material escoado no solo, para Cu e Zn, quando aplicado efluente de suíno (240 kg.ha⁻¹) no cultivo de soja. Ao término do ciclo da cultura, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Os autores observaram que houve perda de Cu e Zn via escoamento superficial e que as maiores concentrações de Cu foram encontradas nas amostras de maior profundidade do solo. Para o Zn, as maiores concentrações foram encontradas na primeira camada de coleta do solo (0-20 cm), aumentando nas demais profundidades ao final do experimento. Oliveira *et al.* (2004) constataram que, não só os de Cu e Zn, como os níveis de P, K, Na, Ca e Mg no solo, com cultivo de milho, aumentaram consideravelmente com a aplicação de dejetos de suínos bruto e peneirado, em taxas de até 5.000 m³.ha⁻¹ do efluente. Queiroz *et al.* (2004) constataram acúmulo dos nutrientes P, K, Na e Zn, aumento das taxas de SB, CTC e acidez e redução das concentrações de Mg e Cu na camada de 0-30 cm em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, com uma taxa de aplicação de esterco líquido de suíno de 800 kg DBO ha⁻¹ d⁻¹.

Cria-se, desse modo, um contra-senso à medida que a prática de reutilizar a EBS em solos agricultáveis pode ser considerada ora uma solução, quando utilizada em doses corretas como fertilizante orgânico, ora um agravante para entraves ambientais, agrícolas e sociais, quando a atividade não é monitorada (SEGANFREDO, 1999).

3.3 Nabo forrageiro

O nabo forrageiro, cujo nome científico é *Raphanus sativus* L., pertence à família das crucíferas (Figura 1) e é usualmente utilizado para adubação verde no inverno, rotação de culturas e cobertura de solo. Trata-se de uma planta bastante resistente a doenças e pragas e não requer muito preparo do solo, podendo ser cultivada em climas temperado, continental e tropical, sendo também resistente à geada (DERPSCH, 1997; ZANELLA, 2005; ROSSATO, 2004).



Figura 1 Cultura de nabo forrageiro

O nabo forrageiro apresenta crescimento inicial extremamente rápido, sendo que aos 60 dias promove a cobertura de 70% do solo e apresenta elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente N e P, nutrientes essenciais para o seu desenvolvimento (COSTA, 1993; ROSSATO, 2004; OHLAND *et al.*, 2005; MELLO *et al.*, 2008). Rossato (2004) evidenciou em seus estudos a importância da utilização do nabo forrageiro ao invés de pousio no interstício de tempo entre as culturas do milho e trigo, para a ciclagem de N e P e adição de C. Além disso, segundo Ohland *et al.* (2004), as raízes do nabo forrageiro apresentam importantes efeitos físicos no solo, descompactando e promovendo um preparo biológico no terreno.

O nabo forrageiro também pode ser utilizado na alimentação de bovinos de leite e de corte, em pastejo direto ou cortado e distribuído em cochos (MELO *et al.*, 2008; ABDALLA *et al.*, 2008). Em estudos de Melo *et al.* (2008), o resíduo de nabo forrageiro, presente em 7,5 e 15% no ingrediente do suplemento animal, mostrou-se de boa qualidade como fonte alternativa de proteína. Além disso, os autores evidenciaram que a degradabilidade ruminal da matéria seca e da proteína bruta do resíduo de nabo forrageiro são muito elevadas e de rápida ação pelos microrganismos.

Por ser uma espécie oleaginosa, o óleo presente nas sementes de nabo forrageiro pode ser extraído e utilizado como fonte de energia renovável. O teor de óleo extraído de nabo forrageiro registra, em média, 30 a 35% em relação ao peso da semente, acima do rendimento de óleo da soja e abaixo de espécies como o coco (55%), babaçu (66%) e o girassol (38 a 48%) (SILVA; FREITAS, 2009). A Tabela 3 apresenta, resumidamente, algumas características do cultivo do nabo forrageiro associado com a sua produção de óleo.

Tabela 2 Características do nabo forrageiro

Extração de óleo	35%
Ciclo de produção	Curto, o que facilita associação com a soja
Clima de cultivo indicado	Frio e úmido
Altura	Média, o que facilita a mecanização
Viscosidade do óleo	Baixa, o que melhora o desempenho do motor
Rendimento de biodiesel	284 L ha ⁻¹
Desvantagem	Baixa produtividade de óleo (volume colhido por hectare)

Fonte: Zanella (2005).

O Biodiesel é um combustível biodegradável proveniente de fontes renováveis, isto é, pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais (biomassa energética agrícola). Trata-se de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos que pode ser utilizada como combustível puro ou misturada ao óleo diesel em motores de ciclo diesel (DAMBISKI, 2007), obtida no Brasil, geralmente, através da reação de transesterificação (SUAREZ, 2009). Quando se mistura 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2, 3% é denominado B3 e assim consecutivamente, até o biodiesel puro, chamado B100 (BRASIL, 2005b; GOLDEMBERG, 2009). Embora o teor de óleo extraído de nabo forrageiro registre uma média inferior ao de outras culturas, como girassol, dendê, babaçu, esse óleo pode ser uma alternativa ao óleo vegetal de soja, a qual é considerada uma *commodity*¹ da indústria alimentícia (DAMBISKI, 2007). Outras vantagens do óleo extraído do nabo forrageiro são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 Características dos óleos de soja, girassol e nabo forrageiro

Parâmetros	Óleo de soja	Óleo de Girassol	Óleo de nabo forrageiro	Óleo diesel
Ponto de fulgor (°C)	254,0	274,0	288,0	38
Viscosidade cinemática a 40 °C (mm ² /s)	32,6	37,1	38,1	2,5-5,5
Massa específica a 20 °C (kg m ⁻³)	919,0	918,0	918,0	820-865
Estabilidade à oxidação à 110°C (h)	5,5	4,5	5,2	-
Poder calorífico superior (MJ kg ⁻¹)	39,5	39,4	39,9	-
Índice de iodo	129,2	130,0	104,0	-

Fonte: Dambiski (2007); Lima (2004).

O valor do índice de iodo representa a quantidade de insaturações das cadeias carbônicas dos triglicerídeos, sendo mais baixo para o óleo de nabo forrageiro em comparação com os outros óleos. Outra vantagem apresentada é o ponto de fulgor mais alto em comparação com os óleos de soja e girassol, o que indica que esse óleo se torna

¹ *Commodities* segundo Negrão e Urban (2004) significa “mercadoria”. No mercado financeiro, é um tipo de produto, geralmente agrícola ou mineral, que é amplamente negociado entre importadores e exportadores, assim, ganha grande importância econômica internacional. O petróleo, a soja e o café são grandes exemplos de *commodities*.

inflamável sob uma temperatura mais elevada e, portanto, é mais seguro no transporte, armazenamento e manuseio (DAMBISKI, 2007).

Na procura de alternativas viáveis para a produção e o processamento de óleos e gorduras, provavelmente não haverá uma solução única para suprir o mercado energético, sendo necessária a exploração de uma grande variedade de processos. Souza *et al.* (2009) enfatizam a necessidade de se buscar novas espécies, sobretudo vegetais que produzam óleos não-comestíveis. Neste contexto, para os autores, culturas como o crambe, o pinhão-manso e o nabo forrageiro despontam como alternativas interessantes para a produção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local, material e manejo experimental

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, localizado na Rodovia BR 467, km 101, no município de Cascavel, Paraná. O local está situado na latitude 24°53'S, longitude 53°23'W, altitude de 682 m e o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (EMBRAPA, 1999). O clima do município de Cascavel é classificado como Cfa, segundo Köppen, isto é, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, sem estação seca definida, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. A precipitação anual média da região é de 1.800 a 2.000 mm, temperatura média de 20 °C e umidade relativa do ar entre 75 a 80% (IAPAR, 2000).

Para irrigação com água e EBS, foram utilizados dois reservatórios independentes, ambos com capacidade de 15 m³ (Figura 2). O efluente e a água foram conduzidos até a área experimental por sistema de irrigação por aspersão, com espaçamento de 6 x 12 m. O sistema é composto por conjunto moto-bomba com potência de 6 CV (Figura 2), tubulação de 2' e 16 aspersores de plástico, marca Kadox, modelo IR-1612F, de círculo cheio, com 1 bocal e vazão próxima de 1.200 L.h⁻¹ (Figura 3).



Figura 2 Reservatórios e sistema moto-bomba da área experimental



Figura 3 Aspensor utilizado no sistema de irrigação do experimento
Fonte: Kadox irrigação (2009)

A área experimental possuía 0,162 ha, sendo dividida em três tratamentos, com 540 m² cada, definidos com base no tipo de irrigação (Figura 4): sem irrigação (T1), com irrigação (T2) e fertigado com efluente de biodigestão da suinocultura (EBS) (T3). Cada tratamento possui três parcelas, representando três repetições, que mediam 12 m por 15 m, totalizando uma área de 180 m² cada.



1 – Tratamento Sequeiro (T1); 2 – Tratamento irrigado (T2); 3 – Tratamento fertigado (T3)
Figura 4 Imagem aérea da área experimental – Fonte: Google Earth, 2010.

Antes do plantio do nabo forrageiro, foi avaliada a uniformidade de distribuição de água da irrigação, determinados em 67,0 e 69,3% para os tratamentos T2 e T3, respectivamente. O cálculo foi realizado através da fórmula do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), utilizado por Mantovani *et al.* (2007) por meio da equação (1).

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

Em que,

x_i = precipitação obtida no coletor de ordem i (ml);

\bar{x} = precipitação média dos coletores (ml); e

n = número de amostras coletadas.

Para a caracterização do solo da área antes da implantação da cultura, com o auxílio de trado, foram retiradas três amostras compostas em abril de 2009, uma para cada

tratamento, na profundidade de 0-30 cm. O solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com malha de 2 mm e submetido às análises físicas e químicas. Após o pleno florescimento da cultura, nova amostragem foi realizada em agosto de 2009, com três coletas de amostras compostas por tratamento, a fim de avaliar o efeito da aplicação de EBS nas características do solo com o cultivo de nabo forrageiro. As análises de solo foram realizadas conforme metodologia da EMBRAPA (1997), descritas na Tabela 4. Para determinação de nitrogênio e suas formas foi utilizado a metodologia de Raij (2001) e para determinação de fósforo foi utilizado a metodologia adaptada de Olsen e Sommers (1982). A caracterização inicial do solo é apresentada na Tabela 5.

Tabela 4 Parâmetros e metodologias para as análises físicas e químicas do solo

Parâmetro	Método	Parâmetro	Método
pH	Potenciométrico (água)	Fe	Espectometria (Mehlich)
CE	Potenciométrico	Zn	Espectometria (Mehlich)
P	Colorimetria (Mehlich)	B	Micro-ondas (BaCl)
S	Turbidimetria (Fosfato de Ca)	Areia	Método da pipeta
H+Al	Extração com acetato de Ca	Argila	Método da pipeta
Al	Espectometria (KCl)	Silte	Método da pipeta
Ca	Espectometria (KCl)	MO	Walkley-Black
Mg	Espectometria (KCl)	Ntotal	Kjeldahl
K	Espectometria (Mehlich)	NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	Kjeldahl
Na	Espectometria (Mehlich)	N-NH ₃	Kjeldahl
SB	Soma de cátions	N inorg	Kjeldahl
CTC	Soma de cátions	N org	Kjeldahl
Mn	Espectometria (Mehlich)	P org	Ácido Ascórbico
Cu	Espectometria (Mehlich)	P total	Ácido Ascórbico
		C org total	Walkley-Black

CE: condutividade elétrica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por Al; MO: matéria orgânica; org: orgânico; inorg: inorgânico.

Tabela 5 Caracterização do solo da área experimental para os três tratamentos antes do cultivo de nabo forrageiro

T	Parâmetros											
	pH CaCl ₂	CE dS m ⁻¹	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	H + Al	Al	Ca	Mg	K	Na	SB	CTC
	----- mmol _c dm ⁻³ -----											
T1	6,43	0,040	5,3	6,4	35,9	0,4	46	14	1,7	0,5	62,4	98
T2	6,07	0,031	6,7	17,1	46,2	0,4	44	14	1,2	0,6	59,6	106
T3	5,96	0,049	2,9	7,9	48,2	0,4	45	14	2,1	0,7	61,2	109

T	Parâmetros										
	V ----- % -----	m -----	Mn	Cu	Fe	Zn	B	Areia	Argila	Silte	MO g.dm ⁻³
	----- mg dm ⁻³ -----										
T1	63	2,0	63	7,2	39	9,6	0,30	46	785	169	28
T2	56	2,7	42	6,9	21	6,5	0,30	49	758	192	31
T3	56	2,0	61	6,9	53	33,0	0,29	56	758	186	31

T	Parâmetros							
	N total	NO ₃ +NO ₂	N-NH ₃	N inorg	Norg	P org	P total	C org.total
	----- mg dm ⁻³ -----							
T1	966,0	3,7	2,6	6,3	959,7	276,0	437,0	16,17
T2	938,0	4,6	2,9	7,5	930,5	417,0	456,0	17,83
T3	945,1	7,9	3,0	10,9	934,2	358,0	485,0	17,93

T: tratamentos; T1: tratamento Sequeiro; T2: tratamento irrigado; T3: tratamento fertigado; CE: condutividade elétrica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por Al; MO: matéria orgânica.

Conforme se observa na Tabela 5, o solo da área experimental antes da implantação do experimento foi classificado como de alta fertilidade, por possuir saturação por bases (V%) acima de 50%, para todos os tratamentos. Trata-se também de um solo com textura muito argilosa, por apresentar teor de argila superior a 600 g dm^{-3} (TOMÉ JUNIOR, 1997)

Além das análises apresentadas na Tabela 5, foram realizadas análises físicas do solo de macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), porosidade total (PT), pelo método da mesa de tensão e densidade do solo (D_s) pelo método do anel volumétrico, antes (1ª coleta, em abril de 2009) e após a implantação do experimento (2ª coleta, em dezembro de 2009), conforme metodologia da Embrapa (1997). Foram retiradas três amostras indeformadas de solo por tratamento, em triplicata, nas profundidades: de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, totalizando 81 amostras para cada coleta.

O EBS utilizado no experimento foi obtido em uma cooperativa local, em uma lagoa de estabilização do efluente, posta na saída de um biodigestor, visto ser este um sistema de tratamento bastante utilizado e em expansão na região Oeste do Paraná, em função de créditos de carbono obtidos e também pela geração de energia elétrica, quando da queima do biogás. A água e o EBS foram aplicados na área experimental a uma taxa de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ durante todo o ciclo da cultura. A taxa fixa aplicada foi dividida em cinco irrigações, com frequência quinzenal, sendo calculada com base na precipitação média provável para a região, segundo recomendação de Longo *et al.* (2006). As irrigações ocorreram aos 34, 49, 72, 87 e 101 dias após a semeadura (DAS). A Figura 5 mostra a cultura do nabo forrageiro sendo irrigado (T2) aos 72 DAS.



Figura 5 Irrigação no tratamento T2 na área experimental

Um dos reservatórios da área experimental (Figura 3) foi preenchido duas vezes com EBS para contemplar a dosagem de aplicação no tratamento T3. Portanto, a caracterização de EBS foi realizada em dois momentos: para a 1ª carga de efluente (EBS1) em 07 de julho de 2009 e para a 2ª carga de efluente (EBS2) em 14 de agosto de 2009. O EBS1 foi aplicado da 1ª a 3ª irrigação, enquanto a EBS2, na 4ª e na 5ª irrigação. A água utilizada para as irrigações do tratamento T2 foi oriunda de um poço nas proximidades do Núcleo Experimental. Os parâmetros determinados para a água e a EBS foram analisados em triplicata, exceto NO_3^- , pH e CE, e seguiram os padrões propostos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 Parâmetros e metodologias para as análises químicas da água e do EBS

Parâmetro	Método
Condutividade elétrica	Potenciométrico
pH	Potenciométrico
Nitrato (NO_3^-)	Hach – Nitraver 5
Nitrogênio Total Kjeldahl	Semi-micro-Kjeldahl
Fósforo Total (Ptotal)	Ácido Ascórbico
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Colorimétrico
Sólidos Totais (ST)	Gravimetria
Ca	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Mg	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Na	Espectrofotometria de Absorção Atômica
K	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Cu	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Zn	Espectrofotometria de Absorção Atômica

A água aplicada no tratamento T1 possuía as seguintes características: pH de 6,77; CE de 0,100 dS cm^{-1} , 1,90 mg L^{-1} de NTK, 0,067 mg L^{-1} de NO_3^- , 0,34 mg L^{-1} de Cu, 0,11 mg L^{-1} de Zn, 3,64 mg L^{-1} de K, 3,00 mg L^{-1} de Mg, 0,05 mg L^{-1} de Mn, 6,61 mg L^{-1} de Na e 34,53 mg L^{-1} de Ca.

Tabela 7 Caracterização do efluente aplicado no experimento

	Parâmetro						
	pH CaCl ₂	CE dS m^{-1}	DQO ----- g L^{-1} -----	NTK -----	NO_3^- mg L^{-1}	P total ----- mg L^{-1} -----	ST -----
EBS1	8,00	2,93	1,20	10,41	42,13	1,07	3,08
EBS2	7,90	5,94	1,13	10,01	22,13	1,31	2,47
	Parâmetro						
	Cu ----- mg L^{-1} -----	Zn	K	Mg	Mn	Na	Ca
EBS1	0,73	3,33	428,28	14,09	1,53	11,85	55,22
EBS2	0,34	1,92	397,83	13,76	1,45	11,61	60,26

EBS 1 – 1ª Carga de EBS aplicada da 1ª a 3ª irrigação; EBS 2 – 2ª Carga de EBS aplicada na 4ª e na 5ª irrigação. CE – Condutividade elétrica; NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl; DQO – Demanda Química de Oxigênio; ST – Sólidos Totais.

Na Tabela 8 são apresentadas a quantidade total aplicada, em kg ha^{-1} , de N total, NO_3^- , P total e dos micronutrientes Cu, Zn, K, Mg, Mn, Na e Ca para o tratamento T3,

durante todo o ciclo do nabo forrageiro, de acordo com as concentrações médias do EBS apresentadas na Tabela 7.

Tabela 8 Quantidades de nutrientes aplicadas no tratamento T3 em kg ha⁻¹

	Parâmetros									
	NTK	NO ₃ ⁻	P total	Cu	Zn	K	Mg	Mn	Na	Ca
EBS1	3852	15,59	0,396	0,270	1,23	158,47	5,21	0,566	4,38	20,43
EBS2	3704	8,188	0,485	0,126	0,710	147,20	5,09	0,536	4,30	22,30

NTK = Nitrogênio Total Kjeldahl

Para a semeadura da cultura, preparou-se a área efetuando-se a limpeza superficial de restos vegetais persistentes de culturas antecessoras. A cultivar de nabo forrageiro, CATI AL 1000, foi semeada ao longo da área experimental no dia 19 de maio de 2009, a lanço e com densidade de sementes de 27 kg ha⁻¹. Adubações de semeadura e de cobertura não foram necessárias, assim como os tratos culturais e controle de pragas e doenças. O ciclo da cultura durou 125 dias, aproximadamente, começando a secar próximo do dia 21 de setembro de 2009.

A colheita foi realizada manualmente, com auxílio de foice, retirando-se toda a palhada superficial contida na área interna útil das parcelas. No campo, os resíduos vegetais, foram secos ao ar e após a debulha das síliquas, a separação dos grãos foi realizada com abano manual. Destaca-se que a semeadura de nabo forrageiro foi realizada na entre linha do pinhão-manso (*Jatropha curcas*), cujo plantio foi em linhas com espaçamento de 3 x 3 m, no início de 2008.

A precipitação registrada pelo órgão meteorológico regional até o dia 30 de agosto foi de 402 mm e a precipitação média diária durante o ciclo do nabo forrageiro foi de 4,22 mm. O mês mais chuvoso foi o de julho de 2009, com um total de 168 mm, seguido pelos meses de junho e setembro, cujos registros foram de 149,2 e 109,2 mm, respectivamente (Figura 6), e as precipitações mais intensas ocorreram nos dias 23 de junho, 05 e 10 de julho. Vale ressaltar que os dados de precipitação podem estar superestimados ou subestimados com relação aos reais, visto que se referem à estação situada em Cascavel, PR e não propriamente no Núcleo Experimental.

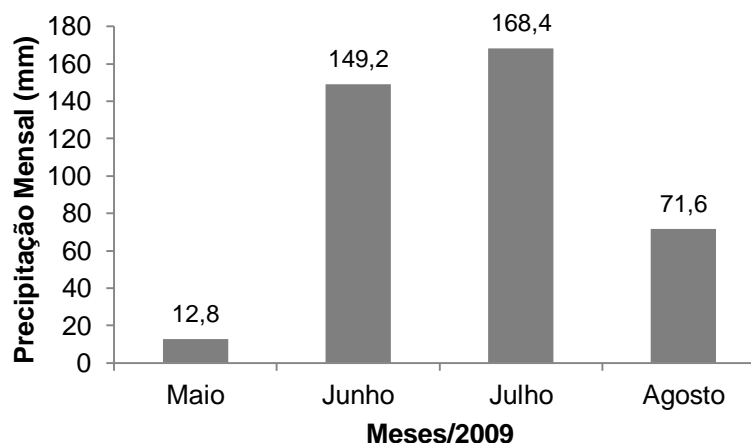


Figura 6 Precipitação mensal ocorrida durante o ciclo do nabo forrageiro

4.2 Determinação da produtividade e índices agrônômicos

Após o pleno florescimento do nabo forrageiro, com o lançamento ao acaso de um quadrado amostral de $0,16 \text{ m}^2$, foram coletadas três subamostras do material vegetal em cada parcela, resultando em 9 repetições por tratamento, para a avaliação dos parâmetros: altura do dossel e do sistema radicular, diâmetro basal e número de plantas por área. Para a determinação da altura do dossel, foi medida a parte aérea das plantas, entre o coleto até o ápice e o comprimento da raiz foi obtido medindo-se a distância entre o coleto e a extremidade da raiz. A leitura do diâmetro basal foi realizada no intervalo entre o coleto e o 1º nó visível, com o auxílio de um paquímetro e o número de plantas por área foi determinado por contagem dentro do quadrado amostral de $0,16 \text{ m}^2$.

Após as análises em campo, o material vegetal foi encaminhado para o Laboratório de Biosistemas Agrícolas da UNIOESTE, onde foram determinados o volume da raiz e a área foliar. O volume da raiz foi determinado pelo método de deslocamento de líquidos, imergindo o sistema radicular em uma proveta contendo 70% de água e 30% de álcool. A área foliar foi determinada pelo método gravimétrico, por meio de comparação da massa dos moldes das folhas com a massa da área conhecida das mesmas folhas (BENINCASSA, 2003). As três subamostras de $0,16 \text{ m}^2$ coletadas em campo foram reunidas em uma amostra única e procedeu-se à avaliação da matéria seca da parte aérea (MSA) e da massa seca do sistema radicular (MSR). Para tanto, foram separadas as estruturas do vegetal (raiz, folhas, pecíolo e caule, siliqua e flores) e após lavagem e secagem em estufa de circulação forçada de ar a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, por 72 horas, aproximadamente, até atingir massa constante, procedeu-se à pesagem em balança analítica. As amostras do material seco da parte aérea foram submetidas à moagem em moinho tipo Willye, marca Tecnal, modelo TE-860 e

passadas em peneira de 10 mesh para a determinação dos teores de nutrientes do tecido vegetal, conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997).

A produtividade dos grãos foi avaliada após a debulha das síliquas colhidas nas três parcelas de 180 m² por tratamento, corrigindo-se o grau de umidade para 13%, sendo os valores extrapolados para kg ha⁻¹.

4.3 Perdas de nutrientes por escoamento superficial e percolação

A área experimental conta com nove lisímetros de drenagem em caixas de fibra, distribuídos nas três parcelas principais, de modo a haver três repetições por tratamento, sendo que cada lisímetro representa uma repetição. Os lisímetros possuem capacidade de 1 m³, profundidade de 1,10 m, diâmetro de 1,43 m e área de 1,60 m² e são sustentados por uma placa de concreto de 10 cm de espessura. Ao fundo de cada caixa existe uma camada de brita e de “bidin” constituindo um filtro, com uma torneira para saída do material percolado (Figura 9). Além disso, cada lisímetro possui uma borda de 10 cm acima do solo para coleta do material escoado, associada a uma torneira e um recipiente de 5 L, permitindo avaliar as perdas por escoamento superficial (Figura 7).

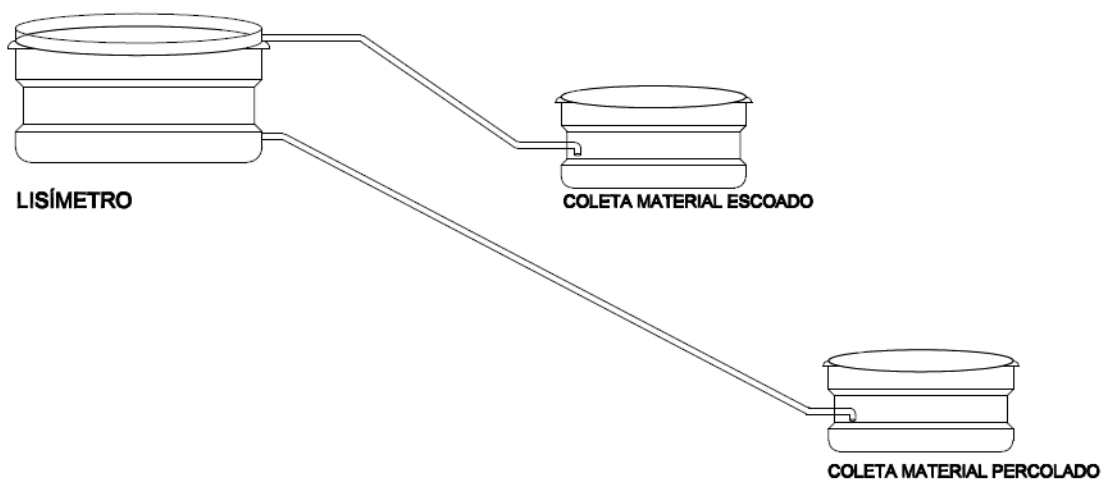


Figura 7 Representação de um lisímetro da área experimental para coleta do material escoado e percolado

Os lisímetros instalados na área experimental foram preenchidos com solo do local e destaca-se que já havia ocorrido a acomodação e estruturação do mesmo, visto que o cultivo do nabo forrageiro ocorreu no segundo ano de uso da área. As coletas do material escoado e percolado foram realizadas após os eventos pluviométricos e o volume total do material drenado foi quantificado a cada coleta. Uma amostra composta de 500 mL do material coletado de cada lisímetro foi acondicionada em isopor, com preservação da

temperatura a 4 °C e encaminhada ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UNIOESTE, para realização de análises físico-químicas. A cada coleta do material drenado, foram analisados os parâmetros pH e condutividade elétrica (CE). Para determinação do pH foi utilizado pHmetro da marca Tecnal, modelo Tec-3MP e para a determinação da CE, o equipamento condutivímetro da Tecnal, modelo Tec-4MP. De todas as coletas, foram selecionadas três, no início, no meio e ao término do ciclo da cultura de nabo forrageiro, para realização de análise dos seguintes parâmetros: NTK, NO_3^- , P total, K, Mg, Ca, Cu, Zn e Na. A análise de NTK foi realizada em destilador de nitrogênio, marca Tecnal, modelo TE-0363 e para análise de NO_3^- e P Total foi utilizado Espectrofotômetro da marca HACH, modelo DR/2010.

Todos os parâmetros foram analisados em triplicata, exceto NO_3^- , pH e CE, e seguiram os padrões propostos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) e metodologias da HACH, conforme Tabela 9.

Tabela 9 Parâmetros e metodologias utilizadas para as análises de material escoado e percolado

Parâmetro	Método
pH	Potenciométrico
CE	Potenciométrico
NO_3^-	Kit Hach Nitraver 5
Ca	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Mg	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Na	Espectrofotometria de Absorção Atômica
K	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Cu	Espectrofotometria de Absorção Atômica
Zn	Espectrofotometria de Absorção Atômica
P Total	Ácido Ascórbico
NTK	micro Kjeldahl

CE – Condutividade elétrica; NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl.

Houve cinco eventos pluviométricos os quais duraram 3, 6, 2 e 7 dias respectivamente, sendo o período do último evento não possível de ser identificado pelo órgão meteorológico. Desse modo, houve cinco coletas de material percolado (aos 55, 67, 72, 98 e 118 DAS), uma após cada evento pluviométrico. Destas coletas, em apenas três foi realizada análise completa (55, 98 e 118 DAS). Para o material escoado houve apenas uma coleta, aos 55 DAS, tendo em vista que as precipitações posteriores a primeira foram de pouca intensidade e não foram suficientes para geração de enxurrada. A Tabela 10 a seguir apresenta o cronograma geral do experimento em campo.

Tabela 10 Cronograma geral do experimento em campo

Data/ 2009	DAS	Irrigação	Precipitação	Coleta	Observações
22/04	-				Coleta de solo
19/05	-				Plantio do nabo forrageiro
22/06	34	1 ^a			1 ^a Carga de EBS (EBS1)
07/07	49	2 ^a			
08 a 11/07	50 a 53		X		Precipitação de 118,2 mm
13/07	55			1 ^a	
17 a 23/07	59 a 65		X		Precipitação de 28,8 mm
25/07	67			2 ^a	
26 a 28/07	68 a 70		X		Precipitação de 21,4 mm
30/07	72			3 ^a	
30/07	72	3 ^a			
14/08	87	4 ^a			2 ^a Carga de EBS (EBS2)
17 a 24/08	90 a 97		X		Precipitação de 71,6 mm
25/08	98			4 ^a	
28/08	101	5 ^a			Coleta da Fitomassa e do Solo
*	*		X		*
14/07	118			5 ^a	
21/09	125				Secagem dos Grãos
Outubro					Colheita dos Grãos

* Dados de precipitação não fornecidos pelo órgão meteorológico. DAS = dias após a semeadura. EBS 1 – 1^a Carga de EBS aplicada da 1^a a 3^a irrigação; EBS 2 – 2^a Carga de EBS aplicada na 4^a e na 5^a irrigação.

4.4 Análises de pós-colheita do grão

Ao término do ciclo da cultura de nabo forrageiro, do total de síliquas, foram contadas 100 unidades por repetição para determinação do número de grãos por síliqua.

Para o teste de pureza, foram separadas três amostras de 25 gramas por tratamento e, com o auxílio de uma pinça, todo o material da amostra foi identificado e classificado em semente pura, fragmentos de outras espécies e fragmentos inertes não-identificados.

Do total das sementes puras identificadas, três amostras de cinco gramas por tratamento foram levadas à estufa de circulação, a 105° C, por 24 horas, para determinação do grau de umidade, sendo os resultados expressos em porcentagem de peso úmido. Do total de sementes puras de nabo forrageiro, pesou-se, em balança analítica, a quantia de 100 sementes por parcela, para determinação da massa de 100 sementes. Sabe-se que esse parâmetro fornece a idéia do tamanho das sementes, bem como o seu estado de maturidade e de sanidade (BRASIL, 2009a).

O teste de germinação foi realizado em quadruplicata, através de semeadura sobre substrato papel mata-borrão em caixas acrílicas do tipo *gerbox*, umedecido com água destilada em quantidade equivalente a 2,0 vezes o peso do substrato seco. As caixas de *gerbox* com 25 sementes cada foram mantidas em incubadora, regulada na temperatura de 20° C, com fotoperíodo de 12 horas (Figura 8). A 1^a contagem das plântulas germinadas

(Figura 9) foi realizada no 4º DAS e a contagem final no 10º DAS. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, anormais, duras e mortas.

Os testes de pós-colheita do grão foram realizados no Laboratório de Avaliação de Sementes e Plantas, da UNIOESTE, conforme as Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009a) recomendam para o gênero *Raphanus*.



Figura 8 Semeadura de nabo forrageiro em incubadora para teste de germinação



Figura 9 Primeira contagem do teste de germinação de nabo forrageiro em gerbox

4.5 Análise dos dados

O delineamento utilizado para análise dos dados foi o inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. Os dados foram previamente submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade das variâncias, através do programa Minitab 15.1 (MINITAB, 2007) e foram transformados em Box-Cox quando necessário, com determinação de λ ótimo, isto é, de -5 a 5. As análises de variância dos dados (ANOVA) foram realizadas e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott, recomendado por Borges e Ferreira (2002), a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do solo da área experimental

5.1.1 Análise química do solo

A Tabela 11 apresenta o resumo da ANOVA para a análise química do solo amostrado durante a implantação do experimento, após o pleno florescimento da cultura de nabo forrageiro, no final do mês de agosto de 2009, aos 101 DAS.

Tabela 11 Resumo da ANOVA para análise química de solo após o pleno florescimento da cultura de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	Parâmetro						
	pH	CE	MO	P	S	H+Al	Al**
Tratamento	0,0630 ^{n.s}	0,0980 ^{n.s}	0,477 ^{n.s}	0,977 ^{n.s}	0,0970 ^{n.s}	0,122 ^{n.s}	0,284 ^{n.s}
C.V (%)	10,2	21,8	9,70	46,7	49,3	51,5	63,1
Fonte de Variação	Parâmetro						
	SB	CTC	V%	m%**	Ca	Mg	Mn
Tratamento	0,217 ^{n.s}	0,341 ^{n.s}	0,166 ^{n.s}	0,425	0,249 ^{n.s}	0,168 ^{n.s}	0,0510 ^{n.s}
C.V (%)	38,4	12,8	38,8	38,4	47,0	25,0	17,0
Fonte de Variação	Parâmetro						
	Na	K	Cu	Zn	Fe	B	N total
Tratamento	0,467 ^{n.s}	0,823 ^{n.s}	0,479 ^{n.s}	0,225 ^{n.s}	0,660 ^{n.s}	0,659 ^{n.s}	0,374 ^{n.s}
C.V (%)	78,3	49,9	9,33	39,5	13,3	49,0	7,18
Fonte de Variação	Parâmetro						
	NO ₃ +NO ₂	N-NH ₃	N inorg	N org	P org	P total	C org
Tratamento	0,151 ^{n.s}	0,0940 ^{n.s}	0,142 ^{n.s}	0,381 ^{n.s}	0,835 ^{n.s}	0,431 ^{n.s}	0,489 ^{n.s}
C.V (%)	51,4	30,8	49,5	7,19	6,60	15,8	9,56

"n.s" indica que o valor de F não é significativo, ao nível de 5% de significância; C.V = Coeficiente de Variação.

**Utilizou-se transformação por Box Cox. CE – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; V% - saturação por bases; m% - saturação por Al.

Observa-se que não houve efeito dos tratamentos para todas as características avaliadas e que, em geral, houve alta variação dos dados, visto que para a maioria dos parâmetros analisados, o coeficiente de variação foi maior do que 20%. O coeficiente de variação dos parâmetros MO, Cu, N total, N orgânico, P orgânico e C orgânico indicaram homogeneidade dos dados e foram classificados como baixos, uma vez que foram menores que 10%. Os coeficientes de variação para os parâmetros pH, CTC, P total, Mn e F foram classificados como médios, visto que estiveram compreendidos no intervalo de 10 a 20%.

A Tabela 12 apresenta o teste de comparação de médias para a análise química do solo realizada após o pleno florescimento do nabo forrageiro. A interpretação da análise de solo foi realizada com base em Tomé Jr. (1997), Malavolta *et al.* (2002), Lana *et al.* (2010) e na Resolução do CONAMA nº 420, de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas (BRASIL, 2009b).

Tabela 12 Teste de comparação de médias para a análise química de solo após o pleno florescimento da cultura de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

T	Parâmetro						
	pH CaCl ₂	CE dS m ⁻¹	MO g dm ⁻³	P ----- mg dm ⁻³ -----	S -----	H+Al ----- mmol _c dm ⁻³ -----	Al** -----
T1	6,11 a	0,103 a	29,33 a	5,33 a	2,77 a	28,37 a	0,76 a
T2	4,84 a	0,090 a	26,67 a	5,17 a	9,13 a	87,43 a	12,19 a
T3	5,08 a	0,141 a	29,00 a	5,60 a	5,97 a	55,13 a	3,86 a

T	Parâmetro						
	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----	CTC -----	K -----	Ca -----	Na -----	Mg -----	V ----- % ----
T1	63,67 a	101,67 a	2,70 a	46,53 a	0,43 a	14,07 a	62,67 a
T2	33,07 a	120,33 a	2,27 a	21,47 a	0,37 a	8,97 a	29,67 a
T3	56,03 a	111,00 a	2,13 a	40,00 a	0,78 a	13,17 a	50,00 a

T	Parâmetro						
	m** ---- % ----	Mn -----	Cu -----	Zn ----- mg dm ⁻³ -----	Fe -----	B -----	N total mg dm ⁻³
T1	2,47 a	45,67 a	7,17 a	2,67 a	22,67 a	0,21 a	1703,33 a
T2	9,87 a	29,00 a	6,93 a	1,37 a	24,00 a	0,18 a	1773,33 a
T3	5,37 a	39,67 a	7,63 a	2,20 a	21,67 a	0,26 a	1862,00 a

T	Parâmetro						
	NO ₃ +NO ₂ -----	N-NH ₃ -----	N inorg -----	N org ----- mg dm ⁻³ -----	P org -----	P total -----	C org g dm ⁻³
1	15,87 a	1,87 a	17,73 a	1685,67 a	256,70 a	397,57 a	17,05 a
2	24,03 a	1,67 a	25,70 a	1836,33 a	261,93 a	463,37 a	15,56 a
3	41,43 a	3,03 a	44,47 a	1729,00 a	253,57 a	469,47 a	16,89 a

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. **Utilizou-se transformação de Box Cox. T = tratamentos; T1 = tratamento Sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado;. CE – Condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; V% - saturação por bases; m% - saturação por Al.

Observa-se que, para o parâmetro pH, o solo é caracterizado com baixa acidez para o tratamento T1 e com alta acidez para os tratamentos T2 e T3 (TOMÉ JUNIOR, 1997). Para Lana *et al.* (2010), o tratamento T1, cujo pH varia de 5,7 a 6,1, é classificado como média acidez. Estes valores, entretanto, estão adequados para o crescimento da cultura, uma vez que, conforme Tomé Jr. (1997), valores de pH entre 4,5 a 7,5 indicam condições favoráveis para o desenvolvimento de plantas. Já segundo Malavolta *et al.* (2002), os valores de pH obtidos nos tratamentos T2 e T3 não se enquadram na faixa ideal para o solo, tida pelos autores como 6,0, de forma que as irrigações realizadas no decorrer do cultivo de nabo forrageiro aumentaram a acidez do solo, pois o pH se encontrava em 6,07 e 5,96 para estes tratamentos, respectivamente, quando da caracterização inicial (Tabela 5). A redução do pH do solo pode ser explicada pela liberação de íons hidrogênio que acidificam o meio no processo de nitrificação, isto é, na conversão do íon amônio a nitrato durante o ciclo da cultura de nabo forrageiro.

Os teores de MO não aumentaram devido à aplicação do efluente no solo, pelo contrário, houve redução de 31,00 g dm⁻³ para 26,67 e 29,00 g dm⁻³ para os tratamentos T2 e T3, respectivamente. Para Tomé Jr. (1997), os teores de MO tendem a se estabilizarem em solos agricultáveis, em uma concentração em torno de 25 a 30,00 g dm⁻³, o que pode explicar em parte o fato da aplicação de EBS não aumentar o aporte de MO no solo. Além

disso, Pedrotti e Mello Jr. (2009) explicam que em condições tropicais ou subtropicais, devido às taxas de oxidação serem muito elevadas, resultando em um incremento das trocas gasosas, ocorre um rápido declínio do teor de MO no solo. Dal Bosco (2008) observou que a MO variou em função da profundidade do solo, entretanto, não diferiu em função da aplicação de efluente em taxas de até $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Mesmo não apresentando alteração, de acordo com a classificação quantitativa no Estado do Paraná, os teores de MO e de C orgânico da área experimental são considerados altos, pois em todos os tratamentos estes parâmetros encontram-se em concentrações acima de 25 e de 14 g dm^{-3} , respectivamente (TOMÉ JR, 1997; LANA et al., 2010).

Observa-se que, em relação ao parâmetro CE, houve redução dos valores no solo da área experimental, se comparado quando da caracterização do solo (Tabela 5): de $4,0 \times 10^{-2}$, $3,1 \times 10^{-2}$ e $4,9 \times 10^{-2} \text{ dS m}^{-1}$ para $10,3 \times 10^{-4}$, $9,0 \times 10^{-4}$ e $14,1 \times 10^{-4} \text{ dS m}^{-1}$ para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Para nenhuma das coletas de solo (caracterização e pós-desenvolvimento do nabo forrageiro) os valores de CE apresentam riscos ao rendimento de qualquer cultura, por estar dentro da faixa de 0 a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Para algumas culturas forrageiras, como trevo e milho forrageiro, os efeitos da salinidade só começam a afetar a produtividade quando a CE no solo se encontra acima de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ (TOMÉ JR, 1997).

Para o parâmetro P disponível, a classificação no estado do Paraná refere-se às culturas de soja, milho, algodão, feijão e trigo (TOME JR, 1997; LANA et al., 2010). Se for levado em consideração o solo da área experimental para tais culturas, considera-se como médio a alto os níveis de P disponível, pois os valores se situam, em geral, entre 5,0 a $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Na Tabela 5, entretanto, para o tratamento T3, os índices de P disponível estavam mais baixos com média de $2,9 \text{ mg dm}^{-3}$. Verifica-se, portanto, que a aplicação de EBS aumentou os teores de P disponível na camada de 0-30 cm do solo para este tratamento. Os níveis de P orgânico e C orgânico não sofreram alterações devido à aplicação de EBS no solo da área experimental. Observa-se que para o teor de P total no tratamento T3 acresceu 18% no solo com a aplicação do efluente, se comparado com o tratamento T1, embora não tenha apresentado alterações significativas, ao nível de 5% de erro.

Quanto ao parâmetro acidez trocável, representado pelo íon Al^{+3} , o ideal é que seus teores no solo fossem praticamente nulos por tratar-se de um íon tóxico para a planta, de uma forma geral. A classificação para o solo no Paraná indica que teores de até $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são ainda considerados como baixos, de 5 a $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ como médios e acima de $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ como altos teores de Al^{+3} (TOMÉ JR, 1997; LANA et al., 2010). Desse modo, os teores de Al^{+3} no solo da área experimental, conforme Tabela 12, podem ser caracterizados com baixos, com exceção para o tratamento T1, que após o florescimento do nabo forrageiro, apresentou valor de $12,19 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ou seja, com médio teor de Al^{+3} no solo. O teor de Al trocável, todavia, não é suficiente para caracterizar a sua toxidez para as

plantas, dependendo também dos valores de saturação por alumínio (m%), que representa a proporção que o Al ocupa na CTC efetiva do solo. Assim, na área experimental, nos tratamentos T2 e T3, o Al ocupa uma maior proporção da CTC efetiva, sendo maior a probabilidade de sua absorção pelas plantas em comparação aos demais tratamentos, embora ainda não sejam valores prejudiciais a diversas culturas, pois não ultrapassou o limite de 15% (TOMÉ JR, 1997). Para Lana *et al.* (2010), este limite se enquadra na faixa acima de 10%, quando se caracteriza por apresentar-se levemente prejudicial às plantas.

Os teores de K trocável, com base na Tabela 12, podem ser considerados como concentrações médias no solo da área experimental, por estarem inclusos na faixa de concentração entre 1,1 a 3,0 mmol_c dm⁻³ (TOMÉ JR., 1997; LANA *et al.*, 2010). A porcentagem de saturação de K trocáveis na CTC apresentou valores médios de 2,94, 1,89 e 1,93% para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, isto é, abaixo da exigência nutricional da maioria das culturas, que é de 3 a 5%, conforme Tomé Jr. (1997). Comparando-se as Tabelas 5 e 12, verifica-se que a implantação da cultura de nabo forrageiro acresceu os valores de K trocáveis na CTC do solo.

O Na, embora não seja um elemento essencial às plantas, está geralmente presente no solo em quantidades significativas. Pode ter efeitos adversos sobre a produtividade das culturas, ora dificultando a absorção de água e cátions pela planta, ora pelo seu efeito dispersante sobre as argilas, causando desestruturação do solo e prejudicando a infiltração de água, oxigênio e crescimento das raízes (TOMÉ JR, 1997). De acordo com a Tabela 12, os teores de Na no solo da área experimental mantiveram-se dentro dos valores indicados, ou seja, inferiores à concentração de 1 mmol_c dm⁻³. A saturação por Na na CTC apresentou valores de 0,47, 0,31 e 0,71%, para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, sendo possível classificá-los como solos não-salinos, pois os valores se situaram abaixo de 1% (TOMÉ JR, 1997).

Já os parâmetros Ca e Mg trocáveis na área experimental, estes podem ser considerados como teores altos no solo, por apresentarem concentrações superiores do que 40 para o Ca, nos tratamentos T1 e T3, e 8,0 mmol_c dm⁻³ para o Mg. Conforme Tomé Jr. (1997), os teores de Ca e Mg são estritamente relacionados ao nível de acidez do solo, de forma que teores altos destes nutrientes indicam que o solo não está com problemas de excesso de acidez e toxidez por Al⁺³. Um solo fértil, com boas condições nutricionais para as culturas, apresenta, normalmente, as saturações em CTC de 50 a 70% de Ca e de 10 a 15% de Mg. O solo da área experimental, conforme a Tabela 12, apresentou valores médios de 50,8, 17,9 e de 36,2% do nutriente Ca, para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, isto é, em não-conformidade com a exigência da cultura, exceto para o tratamento T1. Quanto à saturação de Mg na CTC, esta também apresentou-se abaixo da classificação para solos férteis para o tratamento T2, cujo valor foi de 7,5%. Para os tratamentos T1 e T3, os valores apresentaram-se em conformidade, de 15,3, e 11,9%,

respectivamente (TOMÉ JUNIOR, 1997). Entretanto, a deficiência de Ca e Mg não deve ser atribuída à implantação do experimento na área, uma vez que estes valores pouco se alteraram desde as condições iniciais do solo (Tabela 5).

Muito embora tenha sido verificado que as saturações em CTC pelos íons Ca^{+2} e K^{+} estejam abaixo da recomendação para a maioria das culturas, o parâmetro saturação por bases (V%), que fornece a ideia de qual a proporção de cargas negativas existentes no solo é ocupada por cátions úteis, demonstra boa fertilidade do solo da área experimental, classificando-o como eutrófico (V% > 50). A boa fertilidade do solo é verificada principalmente para o solo do tratamento T1, que não recebeu qualquer forma de irrigação, cujo valor de V% foi de 62,67. Essa classificação, entretanto, não se refere ao tratamento que recebeu irrigação com água (T2), cujo valor de V% foi de 29,65%, classificando-o como uma região pouco fértil (< 50%). O menor teor de V% pode estar relacionado com os altos valores de H+Al (87,43 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) encontrados neste tratamento (T2), indicando que boa parte das cargas negativas do solo esteja ocupada pelo H, ao invés de cátions úteis. A irrigação com água, entretanto, não justifica a baixa fertilidade do solo para este tratamento, uma vez que o solo da Região Oeste do Paraná já é tido como um solo distroférico, isto é, pouco fértil, conforme classificação da EMBRAPA (1999).

Para o micronutriente Cu, os valores amostrados para os três tratamentos foram semelhantes entre si, com média de 7,1 mg dm^{-3} , antes e após o cultivo de nabo forrageiro. Já as concentrações do nutriente Zn diminuíram consideravelmente no solo, visto que na caracterização inicial os teores eram de 9,6, 6,5 e 33,0 mg dm^{-3} para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, e após o desenvolvimento da cultura na área, estes valores caíram para 2,67, 1,37 e 2,20 mg dm^{-3} . Conforme a resolução do CONAMA n° 420, para todos os tratamentos, os teores dos micronutrientes Cu e Zn estão abaixo dos valores orientadores para solos, que determina índices para prevenção de até 60 e 300 mg kg^{-1} , respectivamente (BRASIL, 2009b). Lana *et al.* (2010) classificam que teores acima de 30,0 mg dm^{-3} para o Zn são tidos como excessivos para o solo, indicando que o cultivo de nabo forrageiro foi positivo considerando a redução de Zn de 33,0 para 2,20 mg dm^{-3} no tratamento T3.

Dal Bosco *et al.* (2008) analisaram a camada superficial de um solo Latossolo Vermelho Distroférico típico após a aplicação de taxas de efluente de até 200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ no cultivo de soja e encontraram valores de 3,47 mg dm^{-3} para o elemento Cu, abaixo das concentrações do presente trabalho. Entretanto, para o Zn, a concentração no solo foi de 4,40 mg dm^{-3} , o que indica que, possivelmente, para o presente trabalho, a cultura de nabo forrageiro tenha absorvido o Zn do solo durante o seu desenvolvimento.

Se considerarmos a classificação destinada aos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os teores de S do solo da área experimental, conforme a Tabela 12, são tidos como suficientes (maiores do que 5 mg dm^{-3}), exceto para o tratamento T1, que apresentou valor médio de 2,77 mg dm^{-3} e configura na classificação média. Já para as

condições do Estado de São Paulo, os valores adentrariam em outra classificação, tida como baixo nível de S para o tratamento T1 ($< 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e médio nível para o tratamento T2 e T3 ($5,0 \text{ a } 10 \text{ mg dm}^{-3}$). Para o Estado do Paraná, entretanto, não foram encontrados valores limitantes para este nutriente. Já para o nutriente B, o cultivo de nabo forrageiro, no geral, diminuiu o aporte no solo, de 0,3, 0,3 e $0,29 \text{ mg dm}^{-3}$, considerados como teores médios, para 0,21, 0,18 e $0,26 \text{ mg dm}^{-3}$, considerados como teores baixos, para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente (LANA et al., 2010).

Verifica-se, ao comparar a Tabela 5 com a Tabela 12, que os valores de N total, N mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), N inorgânico e N orgânico aumentaram consideravelmente no solo, para todos os tratamentos, após a implantação do experimento na área. Não foram relatados na literatura de consulta, trabalhos que apontassem o nabo forrageiro como uma espécie capaz de fixar o N no solo, função de uma leguminosa, ou ciclar e disponibilizar nutrientes antes mesmo do seu manejo. Vale destacar que a 1ª coleta de solo foi realizada quando ainda havia capinas frescas e erva-daninhas sobre a área experimental. Nesse sentido, os nutrientes liberados da fitomassa ali presente, após o manejo da área para o plantio de nabo forrageiro e posteriormente à 1ª coleta de solo, combinados com o baixo metabolismo da microbiota devido à intensa precipitação pluvial, podem ter contribuído para manter o N no solo até durante a realização da 2ª coleta de solo, em agosto de 2009. Basso *et al.* (2004) explicam que as condições de clima quente e úmido favorecem o processo de nitrificação do N orgânico, aumentando os teores de N no solo.

Pode-se considerar de uma forma geral, portanto, que a aplicação de EBS em Latossolo Vermelho Distroférico típico, em uma taxa de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, não modificou as características químicas do solo, ao nível de 5% de significância. Entretanto, houve alterações consideráveis quanto aos níveis de acidez (pH), acidez trocável (H+Al), Al, K, Mg, m%, N_{total} , $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ e N inorgânico no solo, se comparado à época antes e após a realização do experimento. A alteração dos teores dos elementos nos três tratamentos, dentro da mesma coleta, pode ser atribuída a vários fatores, como as diferenças em relação ao desenvolvimento das plantas que levou a demandas distintas de absorção desses nutrientes (CRUZ et al., 2008).

5.1.2 Análise física do solo

Para Primavesi (1990), a deficiência das características físicas do solo afeta a nutrição vegetal da mesma forma que a deficiência química. Isto ocorre porque, no primeiro caso os nutrientes não existem em quantidades suficientes ou até inexistem e, no segundo, embora existentes, não podem ser absorvidos e metabolizados de maneira suficiente pelas plantas.

A macroporosidade (MAP) é definida como a porosidade referente aos poros do solo com diâmetro maior do que 0,05 mm (QUIRIJN, 2010). Curi *et al.* (1993) complementam ser os poros que se apresentam vazios em uma amostra, que, após ser saturada, é submetida a uma tensão equivalente a 60 cm de coluna de água. A microporosidade (MIP), por sua vez, é formada pelos pequenos poros, com diâmetro inferior a 0,05 mm. Diferente dos macroporos, os microporos são capazes de reter água por capilaridade e permanecem com água em uma amostra que, após saturação, foi submetida a uma tensão equivalente a 60 cm de coluna de água. A soma de ambas define a porosidade total (PT), que é definida como a percentagem do volume do solo que não é ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e pela água (CURI *et al.*, 1993; QUIRIJN, 2010). A densidade do solo (Ds) corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, isto é, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos (CURI *et al.*, 1993). De forma geral, estas propriedades (MAP, MIP, PT e Ds), funcionam como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas. Segundo Tomé Jr. (1997), os solos classificados como Latossolos argilosos têm como características físicas, possuem elevados valores de PT e MIP, sendo menos suscetíveis à erosão, com drenagem acentuada e com densidade muito próxima a 1 g cm^{-3} , nas regiões não-compactadas.

A Tabela 13 apresenta o resumo da ANOVA para a análise física do solo, cujas amostras foram coletadas antes e após a implantação do experimento na área. A 1ª coleta foi realizada em abril de 2009 e a 2ª coleta em dezembro de 2009.

Tabela 13 Resumo da ANOVA para os parâmetros físicos do solo no cultivo de nabo forrageiro par os diferentes tratamentos

Parâmetros				
1ª Camada - 0-10 cm				
Fonte de Variação	PT	MIP	MAP	Ds
Tratamento	0,109 ^{n.s.}	0,392 ^{n.s.}	0,496 ^{n.s.}	0,254 ^{n.s.}
Coleta	0,305 ^{n.s.}	0,123 ^{n.s.}	0,733 ^{n.s.}	0,191 ^{n.s.}
Tratamento x Coleta	0,242 ^{n.s.}	0,064 ^{n.s.}	0,774 ^{n.s.}	0,895 ^{n.s.}
C.V (%)	4,61	6,54	11,5	4,27
2ª Camada - 10-20 cm				
Fonte de Variação	PT	MIP	MAP	Ds
Tratamento	0,464 ^{n.s.}	0,408 ^{n.s.}	0,749 ^{n.s.}	0,282 ^{n.s.}
Coleta	0,582 ^{n.s.}	0,477 ^{n.s.}	0,805 ^{n.s.}	0,826 ^{n.s.}
Tratamento x Coleta	0,229 ^{n.s.}	0,665 ^{n.s.}	0,226 ^{n.s.}	0,128 ^{n.s.}
C.V (%)	6,95	5,97	22,2	5,33
3ª Camada - 10-20 cm				
Fonte de Variação	PT	MIP	MAP	Ds
Tratamento	0,102 ^{n.s.}	0,157 ^{n.s.}	0,306 ^{n.s.}	0,055 ^{n.s.}
Coleta	0,990 ^{n.s.}	0,392 ^{n.s.}	0,699 ^{n.s.}	0,174 ^{n.s.}
Tratamento x Coleta	0,609 ^{n.s.}	0,081 ^{n.s.}	0,160 ^{n.s.}	0,481 ^{n.s.}
C.V (%)	3,69	6,25	23,5	3,90

"n.s" indica que o valor de F é não significativo, ao nível de 5% de significância; C.V = Coeficiente de Variação; PT = porosidade total; MIP = microporosidade; MAP = macroporosidade; Ds = densidade do solo.

Conforme se observa na Tabela 13, não houve efeito das coletas para todos os parâmetros avaliados, de modo que o cultivo de nabo forrageiro não afetou as

características de MAP, MIP, PT e Ds. Em geral, os dados apresentaram-se homogêneos, por apresentaram coeficiente de variação abaixo de 20%, exceto para o parâmetro MAP nas camadas de 10-20 e de 20-30 cm do solo, que apresentaram maiores variações, com coeficiente de variação de 22,16 e 23,50%.

Na Tabela 14 encontra-se o teste de comparação de médias para os parâmetros físicos do solo.

Tabela 14 Médias dos parâmetros físicos do solo após o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

	PT (%)								
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}
T1	63,17	62,77	62,97	54,17	59,13	56,65	60,13	58,94	59,54
T2	63,99	63,87	63,93	61,24	57,78	59,51	58,52	58,35	58,44
T3	57,78	62,66	60,22	56,54	58,25	57,39	55,99	57,30	56,64
\bar{x}	61,65	63,10		57,32 A	58,39		58,21	58,20	
	MIP (%)								
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}
T1	39,03	37,48 aA	38,25	37,97	38,96	38,46	45,84	41,45	43,65
T2	37,19	38,60 aA	37,90	39,36	41,32	40,34	39,02	42,10	40,56
T3	33,41	39,30 aA	36,36	39,52	39,01	39,27	43,77	41,77	42,77
\bar{x}	36,54	38,46		38,95	39,76		42,88	41,77	
	MAP (%)								
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}
T1	24,45	25,29	24,87	16,20	20,16	18,18	14,29	17,44	15,86
T2	26,80	25,26	26,03	21,87	17,45	19,66	19,50	15,10	17,30
T3	24,37	23,65	24,00	17,02	18,95	17,98	12,21	15,53	13,87
\bar{x}	25,21	24,73		18,36	18,85		15,33	16,02	
	Ds (g cm ⁻³)								
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}	Mai/09	Dez/09	\bar{x}
T1	1,08	1,12	1,10	1,19	1,13	1,16	1,12	1,17	1,14
T2	1,05	1,09	1,07	1,06	1,15	1,10	1,09	1,14	1,12
T3	1,11	1,13	1,12	1,14	1,12	1,13	1,19	1,18	1,19
\bar{x}	1,08	1,11		1,13	1,13		1,13	1,15	

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. T = tratamentos; T1 = tratamento Sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado; PT = porosidade total; MIP = microporosidade; MAP = macroporosidade; Ds = densidade do solo; \bar{x} = média.

Os valores de MIP, MAP e PT não diferiram estatisticamente entre si durante o desenvolvimento do experimento, não apresentando evidências de terem sido afetadas pelos sistemas de irrigação em relação ao sequeiro e pela implantação da cultura de nabo forrageiro.

De uma forma geral, conforme se verifica na Tabela 14, a PT e a MAP foram maiores para a camada superficial de solo (0-10 cm) em todos os tratamentos, independente do momento da coleta. A PT do solo variou de 54,17% na camada de 10-20 cm no tratamento T1 a 63,99% na camada de 0-10 cm no tratamento T2 e a MAP variou de 12,21% na camada de 20-30 cm a 26,80% na camada de 0-10 cm. A MIP, ao contrário do que verificado para a MAP e para a PT, apresentou-se menor nas camadas superficiais e

aumentou à medida que as camadas do solo se aprofundaram. Seus valores variaram de 33,41% na camada de 0-10 cm do tratamento T3 até 45,84% na camada mais profunda, de 20-30 cm, no tratamento T1.

Conforme mostra a Tabela 14, a MAP aumentou no tratamento T3 nas camadas subsuperficiais (nas profundidades 10-20 e 20-30 cm), da 1ª coleta para a 2ª coleta de solo indeformado, isto é, antes e depois da implantação da cultura de nabo forrageiro no local. Este resultado pode estar associado ao melhor suprimento de nutrientes via EBS pela planta e ao conseqüente aumento do comprimento e ao volume da raiz da cultura para este tratamento, como será verificado no tópico 5.2.1. O maior crescimento das raízes estimula a formação de poros pela intensificação dos ciclos de umedecimento e secamento, liberação de exsudatos radiculares, formação de agregados pela ação direta das raízes e sua posterior decomposição após a morte das plantas, o que estimula a fauna como um importante agente decompositor e formador de poros no solo (REINERT *et al.*, 2008). O tratamento T2, no entanto, que também recebeu irrigação, não apresentou o mesmo comportamento para os parâmetros de qualidade física do solo. Observa-se que para este tratamento, a MAP diminuiu com a aplicação de água em todas as profundidades, da coleta realizada em maio para a de dezembro. Já a MIP, por outro lado, aumentou em todas as camadas para o tratamento T2, considerando antes e depois do cultivo de nabo forrageiro.

Quanto à Ds, o menor valor foi observado na camada de 0-10 cm (1,08 e 1,11 g cm⁻³) e as maiores densidades ocorreram nas camadas subsuperficiais (1,13 e 1,15 g cm⁻³), independentemente das coletas realizadas, isto é, independentemente da implantação da cultura de nabo forrageiro no local. Menor densidade na camada superficial também foi observada por Genro Jr *et al.* (2004) em Latossolo Vermelho Distroférico típico e pode estar associada à maior densidade de raízes e ao maior teor de matéria orgânica no solo em superfície.

Comparando-se os valores médios de Ds antes e após a realização do experimento, verifica-se que, no geral, os valores apresentam-se menores em maio (1ª coleta) do que em dezembro de 2009 (2ª coleta). Estes menores valores de Ds podem ser atribuídos ao intenso revolvimento do solo e à incorporação dos resíduos culturais antes da semeadura do nabo forrageiro na área experimental.

Segundo Tormena *et al.* (2002), a relação entre MAP e Ds é inversamente proporcional, isto é, a MAP é drasticamente reduzida com a compactação do solo. Esta relação é identificada no presente estudo, em que, de uma forma geral, à medida que a MAP aumenta entre a 1ª e a 2ª coleta de solo, a Ds diminui e vice-versa. Reinert *et al.* (2008), avaliando o crescimento radicular de espécies de cobertura em um Argissolo Vermelho, verificaram que o crescimento das raízes de nabo forrageiro teve maior restrição, apresentando desvios de crescimento, de ramificações e engrossamento, em solo com densidade acima de 1,75 g cm⁻³. A densidade limitante para o crescimento de raízes em

solos argilosos indicada por Veihmeier e Hendricksn (1948) e citado por Reichert *et al* (2003) é de $1,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Se considerarmos tanto este valor limitante quanto o valor encontrado por Reinert *et al.* (2008), os valores observados na área experimental, de acordo com a Tabela 14, estariam em conformidade para o pleno desenvolvimento do nabo forrageiro, visto que a máxima densidade alcançada foi de $1,19 \text{ g cm}^{-3}$ na camada de 10-20 cm no tratamento T1 e na camada de 20-30 cm no tratamento T3, ambas em coletas de maio de 2009. Pedrotti e Melo Jr. (2009), entretanto, enfatizam que as condições físicas limitantes ao crescimento das raízes indicadas pela literatura na tentativa de auxiliar na tomada de decisão sobre quando intervir são estritamente empíricos. Isso se deve ao fato de que há extrema dificuldade em se isolar fatores experimentais para definir o efeito de um ou mais parâmetros físicos no crescimento radicular ou aéreo das plantas.

Em estudos de Muller *et al.* (2001), o nabo forrageiro se destacou como um bom material para melhorar as características de um solo Latossolo Vermelho-Escuro álico que já apresentava problemas com compactação, pois acarretou vigor no crescimento de raiz dentro e abaixo da camada compactada do solo. Pedrotti e Mello Jr. (2009) também comentam sobre a importância da sementeira de plantas de cobertura do solo, que, por possuírem sistema radicular abundante e vigoroso, trazem benefícios adicionais ao solo por, dentre outras características, melhorarem a estabilidade dos agregados, conferindo ao solo maior porosidade e resistência mecânica. No presente estudo, entretanto, o nabo forrageiro não foi efetivo na redução da densidade do solo e nem no aumento das porosidades do solo, conforme dados apresentados na Tabela 14. É importante considerar que, durante os anos anteriores, a área foi cultivada com milho, feijão e pinhão-manso, que podem ter sido efetivas na promoção da melhoria da qualidade do solo na área experimental antes da realização do experimento.

5.2 Produtividade, índices agronômicos e nutrientes na fitomassa

5.2.1 Produtividade e índices agronômicos

Na Tabela 15 encontra-se o resumo da ANOVA para a produtividade de grãos e para os índices agronômicos avaliados do nabo forrageiro. O valor de P revelou efeito significativo para os parâmetros produtividade de grãos, número de grãos por siliqua, volume da raiz e diâmetro basal.

Tabela 15 Resumo da ANOVA para a produtividade e os índices agrônômicos do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	Parâmetro				
	Produtividade	MSA	MSR	Área Foliar	Grãos/ Siliqua
Tratamento	0,031*	0,071 ^{n.s.}	0,076 ^{n.s.}	0,50 ^{n.s.}	0,044*
C.V.(%)	19,0	24,4	17,6	21,8	2,19

Fonte de Variação	Parâmetro				
	Volume da Raiz	Comprimento da Raiz	Diâmetro Basal	Altura da Planta	Número de Planta/ m ²
Tratamento	0,0030*	0,41 ^{n.s.}	0,041*	0,27 ^{n.s.}	0,32 ^{n.s.}
C.V.(%)	16,6	25,9	18,7	8,99	27,6

* indica que o valor de F é significativo e "n.s" que é não significativo, ao nível de 5% de significância; C.V = Coeficiente de Variação; MSA = Massa Seca parte aérea; MSR = Massa Seca da Raiz.

Os dados obtidos nos parâmetros produtividade, massa seca da raiz (MSR), número de grãos por siliqua, volume da raiz, diâmetro basal e altura da planta são considerados homogêneos, por apresentarem coeficiente de variação abaixo de 20%. Para os demais parâmetros, o coeficiente de variação acima de 20% revelou dados não-homogêneos.

A Tabela 16 apresenta os testes de comparação de médias para a produtividade e para os índices agrônômicos analisados.

Tabela 16 Teste de comparação de médias para a produtividade e os índices agrônômicos do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

T	Parâmetros				
	Produtividade	MSA	MSR	Área Foliar	Grãos/ Siliqua
	----- kg.ha ⁻¹ -----	----- kg.ha ⁻¹ -----	----- kg.ha ⁻¹ -----	----- cm ² -----	----- unid. -----
T1	66,270 a	3.197 a	467,27 a	103,15 a	5,34 a
T2	112,24 b	4.076 a	674,56 a	82,830 a	5,45 a
T3	115,59 b	5.670 a	693,81 a	90,840 a	5,66 b
Média	98,067	4.314	611,88	92,27	5,48

T	Parâmetros				
	Volume da Raiz	Comprimento da Raiz	Diâmetro Basal	Altura da Planta	Número de Plantas/ m ²
	----- cm ³ -----	----- cm -----	----- cm -----	----- m -----	----- unid. -----
T1	4,95 a	13,38 a	0,950 a	1,52 a	35,4 a
T2	6,32 b	14,71 a	1,01 a	1,47 a	42,4 a
T3	6,62 b	15,89 a	1,19 b	1,58 a	42,4 a
Média	5,96	14,66	1,05	1,52	40,1

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância; T = tratamentos; T1 = tratamento Sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado; MSA = Massa seca da parte aérea; MSR = Massa seca da raiz.

A análise da Tabela 16 mostra que a aplicação de EBS aumentou os valores de todos os componentes de produção da cultura de nabo forrageiro, comparativamente ao sequeiro, exceto para o parâmetro área foliar. Para os parâmetros produtividade e volume da raiz, os tratamentos T2 e T3 se mostraram iguais entre si e superiores ao tratamento T1, ao nível de 5% de significância. Para os parâmetros grãos/ siliqua e diâmetro basal, apenas o tratamento T3 apresentou-se superior, se diferenciando estatisticamente dos demais.

A produção de sementes do nabo forrageiro foi menor do que o esperado, uma vez que, conforme Derpsch (1992), a produtividade pode variar entre 300 e 450 kg ha⁻¹. A menor

produção de grãos pode ser justificada pelo acamamento da cultura na ocasião das intensas chuvas e da geada ocorridas no mês de setembro, antes da colheita. Mesmo com valores inferiores aos apresentados por outros autores (DERPSCH, 1992; COSTA, 1993; BRASI et al., 2008), observa-se na Tabela 16 que a irrigação beneficiou a produtividade de grãos, visto ter aumentado em 74,4 e 69,4% nos tratamentos com EBS e água, respectivamente, em relação ao sequeiro. Esses resultados corroboram com os obtidos por outros autores, que também relatam aumentos de produção com a aplicação de EBS, nas mais diversas culturas (FREITAS et al., 2004; CERETTA et al., 2005; CRUZ et al., 2008; HUSSAR et al., 2005; COSTA, 2007).

Em relação à produtividade da MSA, a maior produção foi encontrada no tratamento que recebeu EBS, de 5.670 kg ha⁻¹, o que correspondeu a um aumento de 77,3% em relação ao sequeiro. No tratamento irrigado com água, este aumento foi de 27,5% em relação ao sequeiro (T1). Para a MSR, houve acréscimo de 48,5 e 44,4% nas plantas cultivadas com EBS e água, respectivamente, em relação às plantas ao sequeiro. A distribuição de MS, entre raiz e parte aérea, nos três tratamentos, é mostrada na Figura 10.

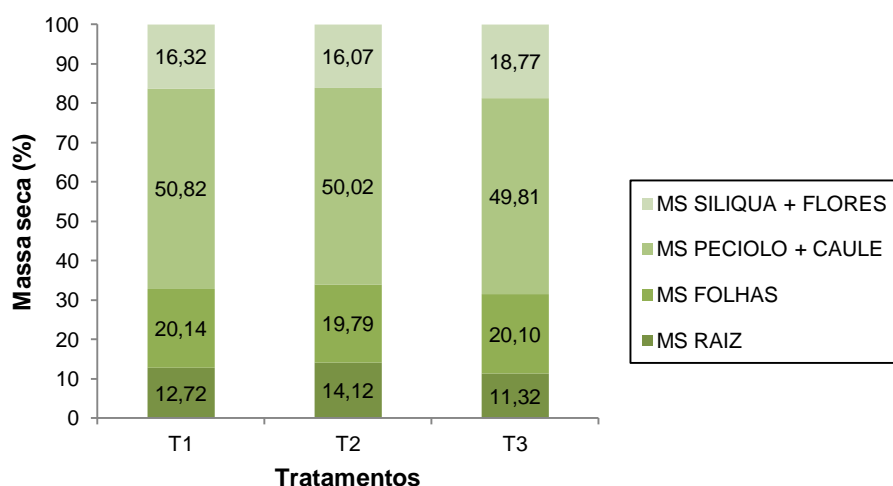


Figura 10 Distribuição da massa seca (%) em plantas de nabo forrageiro para os tratamentos

A Figura 10 mostra que, para todos os tratamentos, houve um maior investimento de raízes para o tratamento T2 e de siliqua e flores, para o tratamento T3. No geral, entretanto, a MS do nabo forrageiro teve distribuição uniforme e muito semelhante para os três tratamentos.

Brasi *et al.* (2008) relatam que o nabo forrageiro pode chegar a produzir de 5 a 10 toneladas de MSA por hectare. Para Derpsch (1992), esse valor, em áreas sem adubação, pode oscilar entre 2.000 a 6.000 kg ha⁻¹, sendo estes valores condizentes com os detectados no presente experimento. O máximo valor de MSA para o nabo forrageiro encontrado na literatura foi de 10.700 kg ha⁻¹, relatado por Kubota (2005). Giacomini *et al.*

(2004) avaliaram a produção de biomassa em plantas de cobertura de solo de 1999 a 2001 e observaram produção de MS do nabo forrageiro de 5.530 kg ha^{-1} , quando plantado em sucessão à soja, com adição de adubação nitrogenada na concentração de 30 kg ha^{-1} . Nos demais anos de cultivo, em sucessão ao milho, no entanto, a produção de MS do nabo forrageiro constatada pelos autores caiu para $3,58$ e $3,86 \text{ t ha}^{-1}$, evidenciando que o desempenho responde diretamente com o antecedente cultural e que, provavelmente, a maior produtividade de MS após a soja ocorreu devido à maior disponibilidade de N no solo resultante da fixação de N pela leguminosa.

Crusciol *et al.* (2005) verificaram produção em estágio de pré-florescimento de 2.938 kg ha^{-1} de MSA da cultura (cv. Siletina), quando a semeadura foi realizado sobre palhada de feijão, numa área mantida em plantio direto durante quatro anos, com precipitação pluvial de $251,4 \text{ mm}$ durante o ciclo da cultura e com densidade de semeadura de 20 kg ha^{-1} em Latossolo Vermelho Eutroférrico nitossólico. Lima *et al.* (2007) observaram produção de 5.480 kg ha^{-1} de MSA, cultivada em uma densidade de 30 kg ha^{-1} , quando a precipitação pluvial foi de apenas $143,5 \text{ mm}$. Já no presente trabalho, a precipitação pluvial foi superior a 400 mm , indicando que o nabo forrageiro mantém seu potencial agrônômico, independente do regime pluviométrico.

Ceretta *et al.* (2005) afirma que em solos ricos em matéria orgânica, como é o caso, por exemplo, do solo da área experimental (Tabela 5), o potencial de produção de MS do nabo forrageiro pode aumentar consideravelmente. Esse aumento, entretanto, não foi encontrado no presente estudo, visto que a MS não variou demasiadamente dos valores encontrados pela literatura aqui comentada. De uma forma geral, os resultados aqui obtidos para o parâmetro MS e produtividade dos grãos confirmam o fato de que o plantio de nabo forrageiro não necessita de adubação, mas que os resultados são positivos se esta for realizada, com produções superiores de MS e de grãos, conforme cita Derpsch (1992).

Em relação ao desenvolvimento do sistema radicular, observa-se, através da Tabela 16, que, para ambos os parâmetros comprimento e volume da raiz, os valores foram superiores no T3, seguidos pelo T2 e T1, o que está diretamente relacionado com a maior produção de MSR nestes tratamentos. Cruz *et al.* (2008) observaram um aumento no crescimento radicular de ordem de $24,3\%$ nos maracujazeiros que receberam EBS como fonte de nutrientes, resultados semelhantes ao nabo forrageiro, que apresentou um aumento de 19% no comprimento da raiz, no tratamento T3, em relação ao T1.

As alturas médias da planta de nabo forrageiro, conforme a Tabela 16, foram de $1,47$, $1,52$ e $1,58 \text{ m}$ para os tratamentos T2, T1 e T3, respectivamente, sendo a maior altura encontrada de $1,9 \text{ m}$ e a menor altura de $1,3 \text{ m}$, ambas no tratamento T3. Esse resultado coincide com Derpsch (1992), que alega que o vegetal pode atingir de 100 a 180 cm de altura. Mesmo que o T3 tenha apresentado altura superior que os demais tratamentos, não houve diferença significativa entre eles, ao nível de 5% .

Juchen (2000), trabalhando com diferentes águas residuárias, assim como Baumgartner *et al.* (2007), que trabalharam com efluentes de tilápia e suínos, também não encontraram diferença significativa nas alturas de hortaliças. Cruz *et al.* (2008), avaliando mudas de maracujazeiro, encontraram incrementos em todos os atributos agrônômicos analisados, inclusive para a altura das mudas, comprimento da raiz e área foliar nos tratamentos que foram submetidos à fertilização orgânica com EBS. Lima *et al.* (2007) observaram uma altura média de 0,88 m para o nabo forrageiro, não submetido à qualquer tipo de irrigação, valor este abaixo do encontrado neste estudo. Em contrapartida, os mesmos autores observaram a área foliar média de 309,2 cm² para a cultura, muito acima do que a maior média para o parâmetro observada no presente estudo, de 103,5 cm² para o tratamento T1. Essas variações ocorrem uma vez que se deve levar em consideração diversas atenuantes nas respostas dos atributos dos vegetais, como as diferentes características do solo, a composição específica dos dejetos aplicados, as condições de clima, as diferentes cultivares utilizadas, dentre outros.

Ainda analisando a Tabela 16, verifica-se que o número de grãos por siliqua foi maior para o tratamento T3, ao nível de 5% de significância, apresentando uma média de 5,66 unidades. Para esse para os demais tratamentos, os resultados estão em conformidade com o que cita Derpsch (1992) sobre a siliqua indeiscente do nabo forrageiro conter, em média, de 2 a 10 sementes. As médias entre os tratamentos sofreram pequena variação, de 5,34, 5,45 e 5,66 unidades de grãos por siliqua, em T1, T2 e T3, respectivamente, sendo que, em campo, o número de grãos por siliqua variou de 0 a 12 unidades.

A EBS, desse modo, fonte de diversos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas, aplicada ao nabo forrageiro em uma dose de 370 m³ ha⁻¹, não apresentou fitotoxicidade capaz de afetar negativamente os componentes de produção da cultura. Pelo contrário, cresceu o rendimento de todos os atributos agrônômicos, exceto para a área foliar. Além disso, a irrigação com água também se mostrou satisfatória para com os atributos morfológicos do nabo forrageiro, exceto para a área foliar e altura da planta. Esse fato está relacionado com o que explica Tomé Jr. (1997), mostrando que a água no solo disponibiliza maior concentração de nutrientes às plantas, visto que só serão absorvidos pelas culturas quando estiverem presentes na solução do solo.

5.2.2 Acúmulo de nutrientes na fitomassa seca de nabo forrageiro

As plantas de cobertura de solo constituem um importante componente em sistemas agrícolas, de forma que, além de outras funções, facilitam a ciclagem de nutrientes servindo como adubação verde através da disponibilização de nutrientes na fitomassa para as culturas subsequentes (GIACOMINI *et al.*, 2003).

A Tabela 17 apresenta o resumo da ANOVA para a análise de nutrientes na fitomassa do nabo forrageiro.

Tabela 17 Resumo da ANOVA para análise dos nutrientes na fitomassa seca do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	Parâmetros					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Tratamento	0,0420*	0,548 ^{n.s.}	0,978 ^{n.s.}	0,911 ^{n.s.}	0,175 ^{n.s.}	0,167 ^{n.s.}
C.V (%)	15,2	23,0	15,6	20,9	8,47	16,3

Fonte de Variação	Fe**	Mn	Zn**	Cu	B
Tratamento	0,242 ^{n.s.}	0,320 ^{n.s.}	0,0290*	0,411 ^{n.s.}	0,928 ^{n.s.}
C.V (%)	22,4	38,8	14,4	59,2	21,8

* indica que o valor de F é significativo e "n.s" que é não significativo, ao nível de 5% de significância; **Utilizou-se transformação de Box Cox. C.V = Coeficiente de Variação

Houve diferença significativa no acúmulo de nutrientes na parte aérea do nabo forrageiro em função do tratamento utilizado apenas para os teores de N e de Zn, conforme apresenta a Tabela 17. Os dados mostraram-se homogêneos para os parâmetros N, K, Mg, S e Zn, com coeficiente de variação abaixo de 20%. Para o P, Ca, B, Fe, Mn e Cu, os dados foram classificados como não-homogêneos, por apresentarem coeficiente de variação acima de 20%.

Na Tabela 18 encontra-se o teste de comparação de médias para os nutrientes no tecido vegetal de nabo forrageiro, para os três tratamentos. A aplicação de EBS influenciou significativamente nos teores de N no vegetal, ao nível de 5%, uma vez que o tratamento T3 apresentou um aporte de N de 41% a mais que os demais tratamentos. Já para o Zn, diferente do que se esperava, houve acúmulo do micronutriente no tratamento sequeiro (T1), diferindo significativamente dos tratamentos T2 e T3.

Tabela 18 Teste de comparação de médias para os nutrientes na fitomassa seca do nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Tratamento	Parâmetros					
	N	P	K	Ca	Mg	S
T1	24,60 b	2,56 a	23,19 a	21,13 a	6,12 a	4,40 a
T2	24,60 b	2,54 a	22,70 a	20,03 a	6,08 a	4,55 a
T3	34,68 a	3,06 a	22,67 a	19,69 a	5,23 a	5,73 a
Média	27,96	2,72	24,52	20,28	5,81	4,89

Tratamento	Parâmetros				
	Fe**	Mn	Zn**	Cu	B
T1	424,00 a	46,33 a	84,33 a	4,33 a	31,13 a
T2	975,67 a	79,83 a	31,00 b	8,00 a	33,31 a
T3	405,00 a	70,50 a	36,00 b	4,83 a	32,64 a
Média	601,56	65,55	50,44	5,72	32,36

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância; T = tratamentos; T1 = tratamento sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado.

**Utilizou-se transformação de Box Cox

Os dados apresentados na Tabela 18 coincidem com os resultados de Baumgartner *et al.* (2007), que também não obtiveram diferença significativa na concentração de nutrientes em hortalíça, utilizando tratamentos irrigados com fertilizantes orgânicos, dentre eles a EBS, e com água.

Desse modo, as concentrações semelhantes para todos os tratamentos indicam que o efluente de suíno, no T3, adiciona ao sistema quantidades de nutrientes acima das necessidades da cultura (DURIGON *et al.*, 2002), exceto para o nutriente N, que se acumulou no tecido das plantas. Esse teor superior de N encontrado em T3, por outro lado, ressalta a característica desta cultura em, além de produzir MS, ciclar o N, disponibilizando-o para outras culturas como adubo verde de inverno.

Em contraposição à Baumgartner *et al.* (2007), diversos autores observaram que o uso de dejetos suíno aumenta o aporte de alguns nutrientes, senão de todos, na fitomassa (OLIVEIRA *et al.*, 2004; CERETTA *et al.*, 2005), de modo a divergir também, em parte, com os resultados obtidos no presente estudo. Mesmo assim, é válido considerar o potencial da cultura como recicladora de nutrientes, independente da fertigação, isso porque, em geral, os valores dispostos na Tabela 18 são semelhantes ou ainda superiores aos encontrados por outros autores, tanto para outras cultivares de nabo forrageiro como para outras espécies de plantas de cobertura.

A quantidade de N acumulado pelo nabo forrageiro atingiu 196,63, 100,27 e 78,65 kg ha⁻¹ de MSA para os tratamentos T3, T2 e T1, respectivamente. Giacomini *et al.* (2003) encontraram valores máximos de N na MSA da ervilhaca em torno de 113,91 kg ha⁻¹ e de 101,67 kg ha⁻¹ para o nabo forrageiro, valores inferiores ao constatado no tratamento que recebeu efluente no presente estudo (T3). Para os mesmos autores, o nabo forrageiro se destacou da aveia preta e da ervilhaca comum quanto à quantidade de P acumulado na fitomassa, cuja média foi de 4,1 kg mg⁻¹. No presente trabalho, as concentrações de P na MS se sobressaíram mais uma vez, atingindo médias de 8,18, 10,35 e 17,35 kg de P Mg⁻¹.

Menezes e Leandro (2004) encontraram teores de N, P, K, Ca e Mg em crotalária juncea na ordem de 30,7, 1,7, 34,1, 42,8 e 4,2 g kg⁻¹ e em aveia preta na ordem de 17,5, 1,3, 18,7, 34,5 e 3,9 g kg⁻¹. Observa-se, frente a estas espécies, que o nabo forrageiro apresentou teores mais elevados de P e Mg, para todos os tratamentos, e maior teor de N, se comparado ao T3. Crusciol *et al.* (2005) constataram teores superiores de P e K (5,2 e 29,2 g kg⁻¹ respectivamente) no tecido vegetal de nabo forrageiro (cv siletina) e teores inferiores de N, Ca, Mg e B (19,6, 12,6, 4,2 e 4,8 g kg⁻¹, respectivamente), se comparados com os encontrados no presente estudo. Entretanto, para esses autores, a análise de nutriente na fitomassa foi realizada após 30 dias da semeadura. Lima *et al.* (2007) encontraram na MS de nabo forrageiro (cv oleiferus) concentrações de 25,4, 1,8, 31,4, 14,2 e 10,5 g kg⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. As concentrações de P e Ca

detectadas pelos autores foram menores do que os amostrados na Tabela 18 e os teores de K e Mg, por sua vez, foram maiores.

Analisando a literatura citada, verifica-se que, de uma forma geral, a média dos nutrientes encontrados na MS de nabo forrageiro no presente estudo apresentou deficiência em K. Esse fato pode estar associado à baixa concentração do nutriente no solo (média de $2,37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de saturação média na CTC de 2,2%) quando da caracterização inicial da área experimental (Tabela 5), visto que os valores indicados para a maioria das culturas, no Paraná, são superiores a $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de 3 a 5% de saturação em CTC (TOMÉ JR., 1997). As diferenças observadas entre alguns estudos citados utilizando nabo forrageiro, também estão relacionadas às variedades utilizadas, densidade de semeadura, tipo e qualidade do solo, época de plantio e adubação utilizada antes da semeadura. Além disso, a época em que é realizada a coleta da MS também influencia na concentração de nutrientes, pois, segundo Derpsch (1992), a plena floração ocorre aos 120 dias e este é o período em que se encontraria a maior concentração de nutrientes da planta.

Em relação às concentrações de Mn, B, Fe, Cu e Zn, não foram encontrados trabalhos que apresentassem teores desses elementos em nabo forrageiro, para servir de comparação aos resultados obtidos. Para Cu e Zn, entretanto, é importante destacar os trabalhos de Berenguer *et al.* (2008), que avaliaram por seis anos os efeitos da aplicação de EBS em solos ricos em cálcio na Europa, em taxas de aplicação próximas de 30 e $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (limites máximos aplicáveis em solos vulneráveis da região), em milho. Os autores observaram teores máximos de $19,4 \text{ mg kg}^{-3}$ de Cu e $91,6 \text{ mg kg}^{-3}$ de Zn, na fitomassa, na maior taxa de aplicação de EBS, e $19,3 \text{ mg kg}^{-3}$ de Cu e $89,7 \text{ mg kg}^{-3}$ de Zn na menor taxa de aplicação. É importante considerar, entretanto, que tamanha distinção entre os teores constados na MS de milho para Berenguer *et al.* (2008) e os teores apresentados na Tabela 18 para o nabo forrageiro estejam também relacionados ao Cu e Zn constituintes das EBS aplicadas em ambos os estudos, dentre outras variáveis. Com base no trabalho destes autores, destaca-se, sobretudo, a relevância em se desenvolver estudos de médio a longo prazo, cujos resultados se aproximariam estritamente da realidade das propriedades rurais.

Boaretto *et al.* (2007) apresentam faixas e teores considerados adequados de macro e micronutrientes no tecido vegetal das principais plantas cultivadas no Brasil, para o estado de São Paulo. O nabo forrageiro não é considerado pelos autores, contudo, para oleaginosas como o amendoim, orienta-se que haja concentrações de nutrientes dentro dos níveis que seguem: 30 a 45 g kg^{-1} de N; 2,0 a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P; 17 a 30 g kg^{-1} de K; 12 a 20 g kg^{-1} de Ca; 3,0 a $8,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg; 2,0 a $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ de S; 25 a 60 mg kg^{-1} de B; 5 a 20 mg kg^{-1} de Cu; 50 a 300 mg kg^{-1} de Fe; 20 a 350 mg kg^{-1} de Mn e 20 a 60 mg kg^{-1} de Zn. Apenas a título de comparação, observando essas faixas de valores com os obtidos na Tabela 18, verifica-se que para os tratamentos do nabo forrageiro, T1, T2 e T3 estão com excesso de S e Fe; T1 e T2 estão com excesso de Cu e Zn, respectivamente; e T1 e T2 estão com

deficiência de N. Para os demais nutrientes, a fitomassa de todos os tratamentos possui concentrações dentro dos níveis adequados. Os autores salientam, entretanto, que como esses valores foram obtidos em condições experimentais ou importados da literatura internacional, deve-se ter cautela ao utilizá-los como padrões orientadores.

Por fim, os resultados obtidos demonstram que nas condições em que o estudo foi realizado, o nabo forrageiro apresenta atributos desejáveis para suas utilizações como adubo verde de inverno, sobretudo quando irrigado com EBS devido ao maior aporte de N na MSA.

5.3 Perda de nutrientes via escoamento superficial e percolação

O escoamento e a percolação, etapas importantes do ciclo hidrológico, são dois caminhos preferenciais que a água percorre quando atinge o solo. Conforme Dal Bosco (2007), o escoamento superficial é o processo de desprendimento e arraste da água e partículas do solo. A percolação, por sua vez, consiste no movimento vertical da água ao longo do perfil do solo. Ambos os processos promovem a lixiviação de nutrientes (minerais solúveis), como N, P, K, Ca, Mg e outros.

A Tabela 19 refere-se ao resumo da ANOVA e ao teste de comparação de média, ao nível de 5% de significância, dos parâmetros avaliados para a única coleta de material escoado realizada, sucedendo a 2ª irrigação da área experimental que aconteceu aos 49 DAS. Salienta-se que houve precipitação de 118,2 mm dos 50 aos 53 DAS do nabo forrageiro, isto é, a partir do primeiro dia após a irrigação. A coleta do material, por conseguinte, foi realizada aos 55 DAS (Tabela 10).

Tabela 19 Resumo da ANOVA e teste de comparação de médias para a coleta do material escoado durante o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	Parâmetro					
	pH	CE	NO ₃ ⁻	NTK	Ptotal	K
Tratamento	0,13	0,025	0,017*	0,079 ^{n.s}	0,0030*	0,018*
C.V (%)	3,37	47,0	57,4	59,6	27,8	21,3
Fonte de Variação	Parâmetro					
	Ca	Mg	Cu	Zn**	Mn**	Na**
Tratamento	0,19 ^{n.s}	0,26 ^{n.s}	--	0,12 ^{n.s}	0,013*	0,19 ^{n.s}
C.V (%)	19,1	22,2	--	2,33	7,58	7,01
Tratamento	Parâmetros					
	pH CaCl ₂	CE dS m ⁻¹	NO ₃ ⁻	NTK	P total	K
T1	6,93 a	0,021 b	1,067 b	2,805 a	0,016 b	4,045 b
T2	7,21 a	0,0074 b	2,567 b	2,302 a	0,017 b	3,054 b
T3	7,40 a	0,041 a	8,633 a	7,560 a	0,049 a	6,154 a
Média	7,18	23,34	4,090	4,222	0,027	4,418

continuação da Tabela 19

Tratamento	Parâmetros					
	Ca	Mg	Cu	Zn**	Mn**	Na**
T1	4,973 a	1,708 a	0,00	0,027 a	0,00 b	14,542 a
T2	4,524 a	1,248 a	0,00	0,056 a	0,026 b	13,845 a
T3	6,190 a	1,688 a	0,00	0,13 a	0,56 a	19,411 a
Média	5,229	1,548	0,00	0,071	0,194	15,933

* indica que o valor de F é significativo e "n.s" que é não significativo, ao nível de 5% de significância; **Utilizou-se transformação de Box Cox.

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância; C.V = Coeficiente de Variação; T = tratamentos; T1 = tratamento sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado; CE = condutividade elétrica; NTK = nitrogênio total kjeldahl.

Na Tabela 19, observa-se que o valor de F foi significativo para os nutrientes NO_3^- , P total, K e Mn, mostrando que, para estes parâmetros, o material escoado variou em função dos diferentes tratamentos aplicados para a cultura de nabo forrageiro. Para os parâmetros pH, CE, NTK, Ca, Mg, Zn e Na não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, muito embora tenham apresentado valores superiores para o tratamento que recebeu EBS (T3), exceto para os parâmetros Mg e Zn, que foram maiores para o tratamento T2. Os maiores coeficientes de variação, dentre todos os parâmetros, ocorreram para CE, NO_3^- e NTK, cujos valores foram de 46,97, 57,41 e 64,10%, respectivamente. Apenas para os parâmetros pH, Ca, Mn e Na os dados mostraram-se homogêneos, cujos coeficientes de variação apresentaram-se dentro do limite de 20%.

De acordo com Ayers e Westcot (1991) e observando os dados da Tabela 5, o pH médio de EBS utilizada para irrigação no tratamento T3 (7,95) e o pH da água para o tratamento T2 (6,77) são considerados adequados para as culturas, pois se encaixam na faixa entre 6,5 a 8,5. Conforme a Tabela 19, a aplicação de água e EBS no T2 e T3, respectivamente, proporcionaram o aumento do pH nas águas de escoamento superficial destes tratamentos se comparado ao T1. Mesmo assim, para todos os tratamentos, o pH se enquadra na faixa estabelecida por Ayers e Westcot (1991) e pela resolução nº 357 do CONAMA, de 2005, que estabelece pH de 5,0 a 9,0 para o lançamento de efluentes em corpos receptores. Considerando que o material de escoamento superficial terá como destino final o corpo receptor, observa-se que o pH do material escoado não apresenta risco ambiental para os corpos d'água em nenhum dos tratamentos avaliados.

Em relação ao parâmetro CE, que indica o grau de salinização da água, Ayers e Westcot (1991) determinam três graus de restrições da água para o uso, em função das concentrações de sais para as culturas: nenhuma restrição, cuja CE se encontra abaixo de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$; ligeira a moderada, com CE entre $0,7$ e 3 dS m^{-1} , e com severa restrições de uso, com CE acima de 3 dS m^{-1} . Para esta classificação, o material escoado, conforme mostra a Tabela 19, não apresenta restrição de uso, uma vez que se encontra entre $0,0074$ e $0,041 \text{ dS m}^{-1}$. Mantovani *et al.* (2007) apresenta outra classificação, cujas águas são divididas em quatro classes: C1, C2, C3 e C4, ou salinidade baixa, média, alta e muito alta,

respectivamente. De acordo com esses autores, as águas provenientes do escoamento dos lisímetros, em todos os tratamentos, são enquadradas na classe C1, pois se apresentam entre 0 e 0,25 dS m⁻¹, intervalo limitante para a classe. Desse modo, verifica-se que mesmo com uma água fertirrigada de alta salinidade (CE médio para a EBS de 4,43 dS m⁻¹ conforme Tabela 5), o material escoado do tratamento T3 não apresentou riscos em termos de concentração de sais. No tratamento T2, por outro lado, a lâmina de água aplicada na cultura de nabo forrageiro pode ter acarretado na diminuição dos valores de CE no material escoado (0,0074 dS m⁻¹), de modo a diminuir o potencial osmótico do solo e aumentar a disponibilidade de água no tratamento (MANTOVANI et al., 2007).

Observa-se, na Tabela 19, que, pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância, o tratamento T3 apresentou a maior concentração de NO₃⁻ na água escoada, de 8,63 mg L⁻¹, e diferiu dos demais tratamentos. Conforme a caracterização das EBS aplicadas no tratamento T3, disposta na Tabela 7, a concentração de NO₃⁻ que contemplou a coleta de material escoado foi de 42,13 mg L⁻¹. Conforme Ayers e Westcot (1991), este valor está acima do estabelecido para água de irrigação, que é de 10 mg L⁻¹. Com base na alta concentração na EBS, podia-se esperar que os valores de NO₃⁻ encontrados no material escoado do tratamento T3, decorrente de um intenso evento de precipitação que ocorreu um dia após a fertirrigação, fosse realmente superior em comparação com os demais tratamentos, corroborando com os resultados de BASSO *et al.* (2004). Para esses autores, as maiores concentrações de NO₃⁻ no escoamento superficial no solo que recebeu dejetos suíno estão associadas às condições de clima quente e úmido, o que favorecem o processo de nitrificação do N orgânico.

Smith *et al.* (2007), contudo, avaliando as águas de escoamento superficial, concluíram que a concentração de NO₃⁻ logo após a aplicação de fertilizantes no solo foi inicialmente baixa e aumentou com o passar dos dias. Assim, se demais coletas tivessem sido realizadas no presente estudo com um período maior entre a fertirrigação e o evento de precipitação, os teores de NO₃⁻ no material escoado poderiam aumentar, semelhante ao observado por Smith *et al.* (2007).

Embora tenha sido detectado maiores teores de NO₃⁻ no material escoado do T3, verifica-se que todos os tratamentos se enquadraram nos padrões de qualidade da água para rios de classe 1 e 2, determinado pelo CONAMA através da resolução n° 357, que é de 10 mg L⁻¹ (BRASIL, 2005a). Destaca-se, entretanto, que o efeito destas concentrações para a qualidade da água depende da vazão do curso d'água (HAN et al., 2010) e da concentração de NO₃⁻ ali já existente. Além disso, uma atenção especial deve ser conferida ao poder contaminante do NO₃⁻ via escoamento superficial, já que em um dos lisímetros do tratamento T3 a sua concentração no material escoado chegou a 13,2 mg L⁻¹, isto é, acima do valor limitante pelo CONAMA.

Com relação aos teores de N total no material escoado (Tabela 17), não houve diferença entre os tratamentos, ao nível de 5%, muito embora a concentração média encontrada para o tratamento T3 (7,560 mg L⁻¹) tenha sido quase 3 vezes superior com relação aos tratamentos T1 e T2 (2,805 e 2,302 mg L⁻¹, respectivamente). Mesmo assim, a perda de N total via escoamento superficial do tratamento T3 em relação à quantidade aplicada, excluída a contribuição do solo, foi menor do que 1%, resultado semelhante ao valor de 1,08% encontrado por Bertol *et al.* (2005). Segundo Durigon *et al.* (2008), mais de 50% do N presente no dejetos suíno pode volatilizar, já que está presente na forma de N mineral e, em períodos quentes, Basso *et al.* (2004) relatam que a volatilização pode chegar a 72%. Desse modo, a perda do nutriente N na forma de NH₄-NH₃ por volatilização, pode ter contribuído para a redução do nutriente disponível no solo para o transporte via escoamento superficial

Bertol *et al.* (2005) avaliaram o escoamento superficial de N nos tratamentos adubados com dejetos suíno (coletado em esterqueira na dosagem de 60 m³ ha⁻¹), adubação mineral (200 kg ha⁻¹ do formulado 2-20-20 de N-P-K) e sem adubo, em condições de semeadura direta em Latossolo Vermelho eutrófico. Como resultado, foi verificado que o dejetos suíno propiciou uma maior concentração de N nas enxurradas, exceto para a chuva simulada de menor intensidade. Isso demonstra que, além da concentração de N total no material escoado estar associada com a intensidade dos eventos de precipitação, possivelmente, se as chuvas posteriores ocorridas na área experimental tivessem gerado material de escoamento, as concentrações de N total nelas teriam sido menores do que as encontradas na única coleta realizada aos 55 DAS, visto que esta foi oriunda da chuva mais intensa ocorrida durante os períodos de irrigação.

Cabe considerar que de acordo com o CONAMA, a concentração de N total para os rios de classe 1 e 2 é de, no máximo, 1,27 mg L⁻¹ para ambientes lênticos e 2,18 mg L⁻¹ para ambientes lóticos, valores estes abaixo do constatado em todos os tratamentos (BRASIL, 2005a).

Para o nutriente P, que possui menor mobilidade no solo se comparado com o N e o NO₃⁻, verifica-se, na Tabela 19, que o tratamento que apresentou maior perda via água de escoamento superficial foi mais uma vez o T3 e este, diferiu-se dos tratamentos T1 e T2, ao nível de 5% de significância. A perda de P via escoamento superficial, através do tratamento T3, foi cerca de 206% maior que a perda nos demais tratamentos e equivalem a 4,5% da quantidade aplicada no solo.

Dal Bosco (2007) trabalhou com doses de efluente tratado em biodigestor de 0 a 200 m³ ha⁻¹ em condições de clima e solo semelhantes ao do presente estudo e constatou perdas de P via escoamento superficial, através de chuvas simuladas, que representaram no máximo 1,32% da quantidade de P aplicado. Bertol (2005) aplicou doses inferiores de efluente da suinocultura (60 m³ ha⁻¹) coletada em lagoa de estabilização e, através de chuva

simulada, encontrou perdas de P que equivaleram a 13,4% da quantidade aplicada no solo. Vale ressaltar que essa distinção entre os teores de P no material escoado citado pelos autores acima e os encontrados no presente estudo ocorrem devido às diferenças na característica do efluente, na intensidade de chuva e principalmente, do tempo transcorrido entre a aplicação de efluente e do evento de precipitação. Smith *et al.* (2007) também compararam os impactos de fertilizantes inorgânicos, dejetos de aves e de suíno, em uma concentração de 35 kg P ha^{-1} (muito acima da utilizada no presente estudo) na qualidade da água de escoamento. A duração entre a aplicação e o primeiro evento de escoamento (precipitação) variou entre 1 e 29 dias, sendo que o maior risco de poluição das águas foi constatada com o dejetos de suíno um dia após a aplicação do mesmo no solo, atingindo teores de $8,4 \text{ mg.P L}^{-1}$.

De acordo com a resolução do CONAMA, nº 357, a concentração de P em um corpo d'água na classe 1 não deve ultrapassar o limite de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ em ambientes lóticos e de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ para ambiente lênticos. Comparando o valor médio de P encontrado no tratamento T3 ($0,049 \text{ mg L}^{-1}$), verifica-se que a água de escoamento apresentou uma concentração 2 vezes menor do que o permitido para ambientes lóticos e de 2,45 vezes maior do que o permitido para ambientes lênticos (BRASIL, 2005a). Nesse sentido, vale destacar o potencial poluidor dos nutrientes N e P total, via escoamento superficial, com a aplicação de EBS no solo em cultivo com nabo forrageiro, principalmente no que tange a eutrofização dos corpos d'água.

Quanto ao elemento K, observa-se, na Tabela 19, que houve influência dos diferentes tratamentos sobre a concentração do nutriente nas águas de escoamento, cujas médias foram de 4,045, 3,054 e $6,154 \text{ mg L}^{-1}$ para os tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Quanto ao aspecto ambiental, poucos autores estudaram o efeito deste nutriente sobre as águas superficiais, uma vez que, conforme explica Durigon *et al.* (2002), trata-se de um elemento que se encontra na forma solúvel nos dejetos e se torna disponível às plantas logo após a sua aplicação, com efeito residual muito curto. Da mesma forma, estão os nutrientes Na, Mg, Mn e Ca, pouco estudados do ponto de vista ambiental, visto o baixo potencial poluidor dos mesmos no meio ambiente. O CONAMA, através da resolução nº 357, não estabelece condições de lançamento de efluentes para estes nutrientes, bem como não cita concentrações limites dos mesmos nos corpos hídricos (BRASIL, 2005a). Ayers e Westcot (1991) apresentam faixas de concentração que classificam a qualidade de água na agricultura, com base nos nutrientes K, Ca, Mg e Na. Conforme esta classificação, o Ca, Mg e Na não apresentaram riscos às águas e estão dentro da faixa de concentração que usualmente é utilizado para irrigação. Para o nutriente K, no entanto, os autores apresentam teores normais para a qualidade de água para a irrigação e, conseqüentemente, para a qualidade da cultura, de 0 a 2 mg L^{-1} , abaixo do que foi verificado no material escoado para todos os tratamentos.

Para o Cu e o Zn, por fim, não houve diferença significativa nos teores destes micronutrientes entre os diferentes tratamentos. O elemento Cu não foi detectado nas amostras de escoamento e o Zn, em contrapartida, apresentou evidência de poluição em função da aplicação de EBS. No tratamento T3, foi encontrada uma concentração de Zn que equivale a 381 vezes mais que a concentração encontrada no T1. Ainda que não se encontre em níveis poluentes, que é de $0,18 \text{ mg L}^{-1}$ para os rios de água doce de classe 1, conforme o CONAMA, salienta-se a necessidade de monitorar o potencial poluidor do EBS quanto a esse nutriente.

Bertol *et al.* (2005) explica que a concentração dos diversos nutrientes na superfície do solo pode se tornar mais acentuada quando os fertilizantes são aplicados sem incorporação. As maiores perdas de nutrientes via escoamento superficial no presente estudo podem estar atreladas ao fato de que a EBS foi aspergida na área experimental, não sendo incorporada ao solo. Além disso, os resíduos vegetais, oriundos de culturas que antecederam o nabo forrageiro, não foram mantidos na superfície do solo, o que poderiam ter protegido o terreno contra o efeito desagregador das gotas de chuva, diminuindo o potencial poluidor dos nutrientes carregados pela enxurrada.

No que concerne à perda de material via percolação, os volumes médios coletados dos lisímetros durante as irrigações realizadas, dos 34 aos 101 DAS do nabo forrageiro, estão representados na Figura 11.

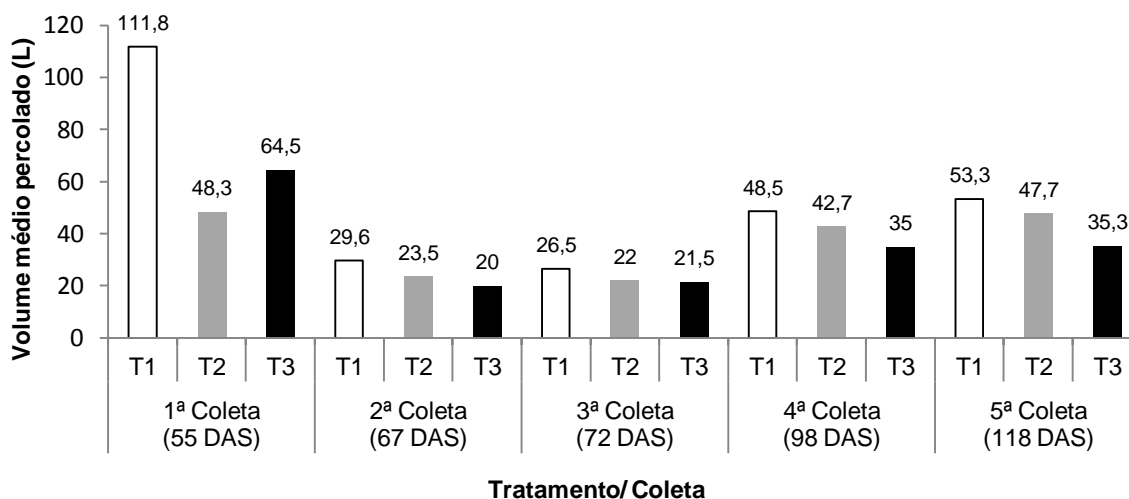


Figura 11 Volumes médios percolados durante o ciclo de nabo forrageiro

No período em que se iniciou a coleta do material de drenagem nos lisímetros, o SIMEPAR registrou os seguintes dados de precipitação: até a 1ª coleta, em 13 de julho, a precipitação total foi de 118,2 mm; da 1ª coleta até a 2ª coleta foi de 28,8 mm; da 2ª coleta até a 3ª coleta, de 21,4 mm; e da 3ª até a 4ª coleta, de 71,6 mm. No período entre a 4ª e a 5ª coleta não houve registros de precipitação pelo órgão meteorológico, devido a falhas associadas à manutenção de algum instrumento da estação, conforme justificativa fornecida

pelo próprio órgão. Desse modo, desconsiderando a 5ª coleta de material percolado, verifica-se que os maiores volumes coletados ocorreram justamente quando as precipitações foram mais intensas, isto é, na 1ª e na 4ª coleta.

Nota-se que para todas as coletas, os maiores volumes percolados ocorreram para o tratamento T1, seguido do T2 e do T3, com exceção para a 1ª coleta, ocorrida em 13 de julho aos 55 DAS, quando o tratamento T3 apresentou volume superior ao T2. O menor volume percolado no tratamento T3, em geral, pode estar associado com o fato de que a EBS tenha promovido o selamento superficial do solo, obstruindo a abertura dos macro e microporos, de modo a reduzir as taxas de infiltração e aumentar as de escoamento superficial da água quando esta atinge o solo. O formação do selo superficial foi explicado por Dal Bosco (2007), Bertol *et al.* (2005) e Mori *et al.* (2009), cuja ênfase dos autores foi direcionada ao comportamento do material escoado, ao simularem chuva, quando do uso de dejetos no solo. Outra hipótese para explicar a menor taxa de percolação de água no solo é o efeito hidrofóbico do dejetos que tende a promover a repelência da água, como cita Mori *et al.* (2009). Além disso, foi observado, na Tabela 16, que o desenvolvimento agrônômico do nabo forrageiro foi superior para o tratamento T3, seguido dos tratamentos T2 e T1. Isto é, uma maior densidade superficial de plantas, bem como uma maior produção de massa seca e de grãos, além do desenvolvimento de raízes mais robustas e diâmetro basal mais acentuado, traduz-se em maiores taxas de evapotranspiração e absorção de água pela planta, o que, conseqüentemente, diminui o volume de material percolado no solo.

Na Tabela 20 é apresentado o percentual que o volume percolado representa em função do volume precipitado, para todos os tratamentos.

Tabela 20 Percentual do volume percolado em função do precipitado durante o ciclo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Tratamento	Relação entre volume percolado e precipitado (%)				
	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta
T1	59	57	77	42	*
T2	25	51	64	37	*
T3	34	43	63	30	*

* dados de precipitação não fornecidos pelo órgão meteorológico. T = tratamentos; T1 = tratamento sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = Tratamento fertigado

Através da Tabela 20, pode-se observar que são consideravelmente altas as perdas de água via percolação em relação à quantidade precipitada. Na 1ª coleta, por exemplo, no tratamento T1, houve percolação de 59% do volume total precipitado, 25% do total precipitado no T2 e 34% no T3. Esses percentuais fornecem uma noção sobre o impacto da poluição difusa via percolação em uma escala maior. Em um hectare ou em uma bacia hidrográfica, por exemplo, o volume de água percolado seria superior ao dos lisímetros e atrelado a todo esse volume, existem os problemas relacionados à lixiviação de nutrientes que se acumulariam no lençol freático.

Na Tabela 21, apresenta-se o resumo da ANOVA para o material percolado, cujos dados foram obtidos em cinco diferentes coletas para os parâmetros pH e CE e em três coletas para os demais parâmetros, sempre após um evento de precipitação.

Tabela 21 Resumo da ANOVA para as coletas do material percolado durante o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fator de Variação	Parâmetro					
	pH	CE	NO ₃ ⁻ **	NTK**	Ptotal	K**
Tratamento	0,016*	0,0020*	0,0050*	0,0080*	0,0060 ^{n.s}	0,0070*
Coleta	0,70 ^{n.s}	0,66 ^{n.s}	0,24 ^{n.s}	0,027*	0,000 ^{n.s}	0,000*
Tratamento x Coleta	0,99 ^{n.s}	0,96 ^{n.s}	0,52 ^{n.s}	0,28 ^{n.s}	0,50 ^{n.s}	0,15 ^{n.s}
C.V (%)	2,44	23,3	30,7	19,7	5,62	8,21

Fator de Variação	Parâmetro				
	Mg	Cu**	Zn**	Mn**	Na
Tratamento	0,081 ^{n.s}	0,016*	0,36 ^{n.s}	0,44 ^{n.s}	0,00*
Coleta	0,30 ^{n.s}	0,38 ^{n.s}	0,000*	0,00*	0,00*
Tratamento x Coleta	0,80 ^{n.s}	0,21 ^{n.s}	0,0030*	0,00*	0,18 ^{n.s}
C.V (%)	22,3	4,31	3,44	1,82	8,50

*indica que o valor de F é significativo e "n.s" que é não significativo, ao nível de 5% de significância; C.V = Coeficiente de Variação. **Utilizou-se transformação de Box Cox.

Conforme os dados da ANOVA na Tabela 21, observa-se efeito significativo com o tratamento aplicado, ao nível de 5% de significância, para os parâmetros CE, NO₃⁻ e Cu. Quanto os parâmetros NTK, K e Na, os valores de F foram significativos, ao nível de 5%, para o efeito coleta e para o efeito da interação tratamento e coleta. Já para os nutrientes Zn e Mn, verifica-se que além de variarem de acordo com a interação tratamento *versus* coleta, houve variação, inclusive, em função das diferentes coletas realizadas. Já os parâmetros pH e Mg não apresentaram diferença significativa em função de nenhuma fonte de variação.

Quanto ao coeficiente de variação, os dados de pH, Cu, Mn e Na apresentaram-se com baixa variação, uma vez que estão abaixo de 20%. Os demais parâmetros não se mostraram homogêneos, por apresentarem coeficiente de variação acima dos 20%.

Na Tabela 22, a seguir, observa-se o teste de comparação de médias para a análise do material percolado, em função dos diferentes tratamentos e das diferentes coletas.

Tabela 22 Teste de comparação de médias dos parâmetros avaliados no material percolado durante o cultivo de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Tratamento	pH (CaCl ₂)					Média
	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	
T1	6,65 aA	6,71 aA	6,66 aA	6,67 aA	6,74 aA	6,68 b
T2	6,60 aA	6,79 aA	6,74 aA	6,71 aA	6,69 aA	6,70 b
T3	6,82 aA	6,88 aA	6,82 aA	6,89 aA	6,87 aA	6,86 a
Média	6,69 A	6,80 A	6,74 A	6,76 A	6,76 A	

Tratamento	CE (dS m ⁻¹)					Média
	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	
T1	0,104 aA	0,116 aA	0,0994 aA	0,105 aA	0,0972 bA	0,104 a
T2	0,0804 aA	0,0993 aA	0,0853 aA	0,0869 aA	0,0783 bA	0,0860 b
T3	0,126 Aa	0,126 aA	0,105 aA	0,116 aA	0,132 aA	0,121 a
Média	0,103 A	0,114 A	0,0964 A	0,103 A	0,102 A	

continuação da Tabela 22

NTK (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	1,932 bA	1,867 aA	2,720 aA	2,173 b
T2	4,284 aA	0,777 aB	1,870 aB	2,310 b
T3	6,300 aA	3,267 aA	4,357 aA	4,641 a
Média	4,172 A	1,970 B	2,982 A	
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	0,500 aA	0,100 Aa	0,170 bA	0,255 b
T2	0,830 aA	0,100 aA	0,270 bA	0,400 b
T3	2,500 aA	0,870 aA	4,330 aA	2,570 a
Média	1,28 A	0,35 A	1,59 A	
P total (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	0,0169 aA	0,0054 aB	0,0055 aB	0,0092 a
T2	0,0162 aA	0,0054 aB	0,0055 aB	0,0090 a
T3	0,0170 aA	0,0062 aB	0,0066 aB	0,0099 a
Média	0,0167 A	0,0056 B	0,0059 B	
K (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	6,667 bA	3,068 bB	3,909 aB	4,548 b
T2	9,848 aA	5,399 aB	3,689 aC	6,312 a
T3	9,138 aA	4,853 aB	4,103 aB	6,031 a
Média	8,551 B	4,440 A	3,900 A	
Mg (mg L ⁻¹)				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	5,519 aA	4,674 aA	4,102 aA	4,765 a
T2	4,337 aA	3,975 aA	3,757 aA	4,023 a
T3	5,465 aA	4,738 aA	5,348 aA	5,183 a
Média	5,107 A	4,462 A	4,402 A	
Cu (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	0,000 aA	0,000 bA	0,010 aA	0,003 b
T2	0,000 aA	0,000 bA	0,020 aA	0,007 b
T3	0,140 aA	0,241 aA	0,010 aB	0,131 a
Média	0,047 A	0,080 A	0,014 A	
Zn (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	1,951 aA	0,045 aB	0,052 aB	0,680 a
T2	1,649 bA	0,071 aB	0,080 aB	0,600 a
T3	1,399 bA	0,154 aB	0,116 aB	0,550 a
Média	1,666 A	0,089 B	0,083 B	
Mn (mg L ⁻¹)**				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	0,904 bA	0,0170 aB	0,00 aC	0,360 a
T2	1,03 aA	0,0230 aB	0,00 aB	0,351 a
T3	1,10 aA	0,0470 aB	0,00 aB	0,385 a
Média	1,014 A	0,0820 B	0,000 C	
Na (mg L ⁻¹)				
Tratamento	1ª Coleta/ 55 DAS	4ª Coleta/ 98 DAS	5ª Coleta/ 118 DAS	Média
T1	4,002 bA	3,283 aB	3,040 bB	3,442 b
T2	4,355 bA	3,655 aB	3,267 bB	3,759 b
T3	4,789 aA	4,054 aB	4,500 aA	4,448 a
Média	4,382 A	3,664 B	3,602 B	

Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. **Utilizou-se transformação de Box Cox.

T = tratamentos; T1 = tratamento sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = Tratamento fertigado; CE = condutividade elétrica; NTK = nitrogênio total kjeldahl.

Observando a Tabela 22, nota-se que o parâmetro pH sofreu mínima variação entre as diferentes coletas, situando-se entre 6,60 e 6,89. Vale observar que, mesmo não diferindo estatisticamente, ao nível de 5% de significância, o tratamento T3 apresentou pH maiores, isto é, mais alcalinos, se comparado com os tratamentos T1 e T2, para todas as coletas, semelhante ao ocorrido para o material escoado (Tabela 19).

A CE, assumindo um comportamento semelhante ao do pH, não apresentou diferença significativa entre as diferentes coletas, ao nível de 5%, entretanto, foi superior para o tratamento T3, em todas as coletas. Além disso, houve diferença significativa entre os tratamentos na 5ª coleta, demonstrando um acúmulo de sais lixiviados no final do experimento. Nesta coleta, os tratamentos T1 e T2 mostraram-se iguais entre si e inferiores ao T3, cujo CE foi de $0,132 \text{ dS.m}^{-1}$.

Para o N total, de acordo com a Tabela 22, é possível observar que, ao nível de 5%, houve diferença significativa entre os tratamentos na 1ª coleta, de modo que o T2 e T3 foram iguais entre si e superiores ao T1. Comparando-se as concentrações de N total entre as diferentes coletas, apenas o tratamento T2 apresentou diferença significativa, de modo que a 1ª coleta apresentou valores superiores às demais. Nota-se que na 4ª e na 5ª coleta, os tratamentos T1 e T2 apresentaram concentrações semelhantes, provavelmente devido à dose de nitrogênio aplicada na água de irrigação ser praticamente insignificante. Além disso, havia presente uma quantidade elevada de nitrogênio no solo em condições naturais, quando da caracterização do experimento (Tabela 5), o que também pode explicar a concentração média de $4,28 \text{ mg L}^{-1}$ no tratamento T2, na 1ª coleta, que não se diferiu estatisticamente do T3. Esse resultado mostra que não houve relação entre o nitrogênio aplicado no tratamento fertigado (T3) e o nitrogênio aplicado no tratamento irrigado (T2) com a concentração de nitrogênio no material percolado, pelo menos para a 1ª coleta, uma vez que nesta, mesmo que baixos teores de nitrogênio tenham sido aplicados no solo no T2, alto teor foi encontrado no material percolado. Esse fato demonstra que a precipitação de maior intensidade, isto é, que antecedeu a 1ª coleta, gerou maiores concentrações desse nutriente no material percolado.

Comparando-se a Tabela 22, de perdas por percolação, e a Tabela 19, de perdas por escoamento superficial, com relação ao N total, observa-se que a perda por percolação foi na ordem de 3,4% menor que as observadas via escoamento superficial, descontando para ambos o valor das perdas do sequeiro. BASSO *et al.* (2005) também encontraram resultados semelhantes, em que observaram perdas por percolação de 4,0, 3,7 e 1,5 vezes menores que as observadas no escoamento, com o uso de 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de EBS, respectivamente.

Quanto à concentração de NO_3^- no material percolado, não houve diferença significativa, ao nível de 5% de erro, para as diferentes coletas realizadas nem para os diferentes tratamentos na 1ª e na 4ª coleta. Na 5ª coleta, entretanto, o tratamento T1 e T2

foram iguais entre si e inferiores ao T3, que apresentou média de $4,33 \text{ mg L}^{-1}$. Basso *et al.* (2004), trabalhando com nabo forrageiro, encontraram concentrações de NO_3^- na água percolada de até 17 mg L^{-1} , após 16 dias de aplicação do dejetos suíno no solo, demonstrando mais uma vez a alta mobilidade do NO_3^- e a sua capacidade em absorção pelas plantas. Diferente dos teores encontrados por estes autores, o pico de NO_3^- observado no presente estudo foi de $8,6 \text{ mg L}^{-1}$ no tratamento T3, na 5ª coleta, após, aproximadamente, 12 dias da aplicação do EBS no solo. Deve-se levar em consideração, entretanto, dentre outras atenuantes, que enquanto este trabalho é realizado em Latossolo Vermelho distroférico típico, aquele é em Argissolo Vermelho distrófico arênico, cujo teor de areia pode ser de até 530 g kg^{-1} . Desse modo, a aplicação de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, nas condições de realização deste estudo, não apresentou risco de contaminação das águas subterrâneas, visto que o teor limitante para o NO_3^- , estipulado pelo CONAMA, através da resolução nº 396 de 2008, é de 10 mg L^{-1} (BRASIL, 2008).

Conforme a Tabela 22, o P total no material percolado, para todas as coletas, não apresentou diferença significativa entre os três tratamentos. Comparando-se as três coletas realizadas, a 4ª e a 5ª coletas foram iguais entre si e inferiores à 1ª coleta, ao nível de 5%. Esse resultado demonstra que o risco de contaminação de P fica mais evidenciado em períodos com maior intensidade de chuvas (1ª coleta), independente da aplicação de EBS no solo, coincidindo com o que afirma Quinton *et al.* (2001). Os teores de P encontrados no material percolado estão abaixo dos teores de $0,2$ a $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, que foram citadas por Basso *et al.* (2005) como ideais, na água de percolação, para um bom crescimento das plantas. O CONAMA, por sua vez, não cita o P como de grande probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, portanto, não dispõe valores máximos permitidos para esse nutriente.

Os nutrientes K, Mg, Mn, Na e Ca pouco são tratados na literatura acerca de geração de poluição difusa pela agricultura, visto que se apresentam em teores relativamente baixos tanto no material escoado como no material percolado. A resolução nº 396 do CONAMA estabelece valores máximos permitidos para o consumo humano dos nutrientes Mn e Na de $0,1$ e 200 mg.L^{-1} , respectivamente (BRASIL, 2008). Considerando que o destino da água de percolação é atingir um lençol subterrâneo, os valores detectados no presente estudo não apresentam risco para o consumo humano, exceto para o nutriente Mn, na 1ª coleta. Contudo, a aplicação de EBS não acumulou Mn no material percolado, o que evidencia, mais uma vez, que o maior arraste de nutrientes ocorreu devido à maior intensidade da chuva que antecedeu a 1ª coleta.

A resolução nº 396 do CONAMA estabelece concentrações máximas de 2 e 5 mg.L^{-1} para os micronutrientes Cu e Zn, respectivamente, em águas subterrâneas (BRASIL, 2008). Não houve, em nenhum momento do experimento, material percolado com concentrações de Cu e Zn acima desses limites.

Por fim, nota-se, de um modo geral, que os nutrientes N total, P K, Zn, Mn e Na, foram lixiviados em uma maior concentração na 1ª coleta (aos 55 DAS) em comparação com a 4ª (98 DAS) e com a 5ª coleta (118 DAS). Esse fato evidencia a menor capacidade da chuva em remover e transportar os elementos, devido à sua menor intensidade, já que a 4ª e a 5ª coleta de material são decorrentes de uma precipitação menos intensa, se comparadas com a 1ª coleta. Além disso, enfatiza-se que para a 1ª coleta, o evento de precipitação ocorreu um dia após a fertigação, o que também pode ter contribuído para o aporte dos teores de NTK, K, Mn e Na no material percolado desta coleta e no tratamento T3. Bertol *et al.* (2005) explicam que um maior tempo transcorrido entre a fertigação e os eventos de chuva possibilita que a EBS penetre no solo, ficando menos sujeita à remoção e ao transporte. Além disso, o que pode ainda ter ocorrido é a maior absorção dos nutrientes por parte da cultura de nabo forrageiro durante a fase de florescimento, que acontece próximo aos 120 DAS (DERPSCH, 1992). Esse fato pode justificar a menor lixiviação dos nutrientes na 4ª e 5ª coleta (98 e 118 DAS) em relação à 1ª coleta (55 DAS).

Os dados de perdas de nutrientes aqui apresentados permitem evidenciar que a aplicação da taxa de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de EBS, no geral, proporcionou perdas de nutrientes no material escoado e percolado, que podem influenciar na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, porém não a níveis superiores às determinadas na legislação ou teores limitantes de nutrientes apresentados pela literatura pertinente. Destaca-se que se deve haver um maior monitoramento dos nutrientes NTK, NO_3^- , K, Cu, Mn e Na quanto ao potencial poluidor, pois estes, ao nível de 5% de erro, se acumularam significativamente na água de percolação no tratamento que recebeu EBS.

Vale considerar ainda que as baixas perdas de nutrientes via escoamento superficial e percolação no presente estudo podem estar atreladas ao sistema de irrigação por aspersão adotado. Mantovani *et al.* (2007) explicam que nos sistemas por aspersão ocorrem perdas de água de até 5% durante a sua aplicação através da evaporação direta e além disso, através do arrastamento pelo vento de gotículas de água aspergidas para fora da área irrigada também deve ser considerado. Essas perdas, as quais significam menor disponibilidade de água e nutrientes à cultura, valem tanto para o processo de irrigação como para o de fertigação e podem influenciar, diretamente, na redução de perdas de nutrientes via escoamento superficial e percolação. Na irrigação localizada, as águas são aplicadas diretamente sobre áreas específicas e os problemas da eficiência da irrigação ou da fertigação são menores. Entretanto, essa técnica, além de permitir maior geração de poluição difusa, não retrata a realidade observada nas propriedades rurais da região Sul do país, que consistem, geralmente, em aspergir o efluente via trator de irrigação ou pulverizador.

5.4 Análise de pós-colheita dos grãos

Na Tabela 23 encontra-se o resumo da ANOVA e o teste de comparação de médias, ao nível de 5% de significância, para os índices massa de 100 sementes, pureza, teor de água e teste de germinação, analisados após a colheita dos grãos de nabo forrageiro.

Tabela 23 Resumo da ANOVA e teste de comparação de médias para a análise de sementes de nabo forrageiro nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	Parâmetros			Teste de Germinação			
	100 sementes	Pureza	Teor de Água	5 DAS	10 DAS	Anormal	Dura
Tratamento	0,044*	0,059 ^{n.s.}	0,091 ^{n.s.}	0,15 ^{n.s.}	0,053 ^{n.s.}	0,44 ^{n.s.}	0,022*
C.V. (%)	9,62	2,44	2,39	10,4	6,71	64,0	24,7

Tratamento	Parâmetros			Teste de Germinação			
	100 sementes ----- g -----	Teor de água	Pureza	5 DAS	10 DAS	Anormal	Dura
T1	0,65 b	7,60 a	86,85 a	69 a	86 a	3 a	10 b
T2	0,84 a	7,53 a	89,03 a	71 a	77 a	2 a	21 a
T3	0,80 a	7,91 a	92,28 a	59 a	73 a	5 a	23 a
Média	0,76	7,68	89,39	66	79	3	18

* indica que o valor de F é significativo e "n.s" que é não significativo, ao nível de 5% de significância.

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o Teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância; C.V = coeficiente de variação; T = tratamentos; T1 = tratamento sequeiro; T2 = tratamento irrigado; T3 = tratamento fertigado; DAS = dias após a semeadura.

Verifica-se, conforme a Tabela 23, que houve diferença significativa, ao nível de 5%, para os parâmetros massa de 100 sementes e porcentagem de sementes duras no teste de germinação. Os coeficientes de variação revelam dados homogêneos, para os parâmetros: massa de 100 sementes, índice de pureza, teor de água e germinação aos 10 DAS. Os maiores valores de coeficiente de variação são observados na porcentagem de sementes anormais e duras detectadas durante o teste de germinação, cujos valores foram de 64,03 e 24,67%, respectivamente.

Com relação à massa de 100 sementes, os tratamentos T2 e T3 apresentaram-se iguais entre si e superiores ao T1, ao nível de 5% de erro, de modo a incrementar em 29 e 23%, respectivamente, a massa das sementes em relação ao sequeiro. Segundo Ohland *et al.* (2005), o peso da massa de grãos é uma característica influenciada pelo genótipo, pela disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas durante os estádios dos grãos. Desse modo, com base nesses autores, o aumento da massa encontrada para o tratamento T3 pode ser justificada pela maior disponibilidade de nutrientes diretamente disponíveis à oleaginosa via aplicação de EBS. Já o aumento da massa no tratamento T2, pode estar associado à maior disponibilidade de nutrientes fornecida aos grãos através da solução do solo. De qualquer maneira, inclusive para o tratamento T1, os valores encontrados para a massa de 100 grãos se enquadram no que determina Derpsch (1992), sobre 1000 grãos de nabo forrageiro variar entre 6 e 14 g.

O teor de água dos grãos, inferido a partir dos valores de matéria seca, conforme mostra a Tabela 23, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, porém, todos os valores se encontram dentro da faixa ótima para armazenamento de oleaginosas, entre 6 e 10%, conforme Brooker *et al.* (1992) citado por Souza *et al.* (2009). A EBS aplicada no T3 incrementou em apenas 4% da quantidade de água no grão de nabo forrageiro, se comparada ao sequeiro e nota-se que a irrigação do tratamento T2 não influenciou no aporte de água no grão. Vale destacar que a umidade é considerada o fator mais importante que atua no processo de deterioração de grãos armazenados, alterando substancialmente o valor do produto comerciável. Assim, mantendo-se o teor de água dos grãos em níveis baixos, os demais fatores terão igualmente seus efeitos diminuídos, principalmente no que diz respeito ao ataque de microrganismos (SOUZA E SILVA *et al.*, 2000; PUZZI, 2000).

Beerens (2007), por outro lado, argumenta que teores de umidade acima de 10% nos grãos de oleaginosas podem reduzir a eficiência de extração do óleo, pois elevam a capacidade de deformação do material, reduzindo a ruptura, além de aumentarem a emulsificação e plasticidade da massa, que reduzem a sua viscosidade e facilitam a passagem pela prensa.

Quanto ao teste de pureza realizado, conforme a Tabela 23, nota-se que o tratamento T1 foi o que apresentou menor porcentagem de pureza, de 86,85%, contra 89,03 e 92,28% para o T2 e T3, respectivamente. Esse teste possui como objetivo determinar a composição percentual por peso e a identidade das diferentes espécies de sementes e do material inerte da amostra, inferindo, conseqüentemente, nas do lote final de sementes (BRASIL, 2009a). Para esse teste, apesar da colheita do nabo forrageiro ter sido realizada de forma manual, averiguaram-se impurezas nos diferentes tratamentos, que foram caracterizadas, em maior parte, por outros fragmentos inertes não-identificados. Para todos os tratamentos, o percentual de fragmentos de outras espécies variou de 0,4 a 2%, indicando que, praticamente, não houve remanescentes do ataque de pragas no armazenamento dos grãos, que perdurou desde a época da colheita em campo, em outubro de 2009, até agosto de 2010, quando foram realizadas as análises do grão.

Quanto maior o índice de pureza, maiores serão os ganhos comerciais com a venda de um produto, pois é classificado como de melhor qualidade para o produtor rural ou para a agroindústria. Além disso, quanto maior o índice de pureza, menores também serão os custos com o beneficiamento dos grãos, cujas etapas compreendem a pré-limpeza, secagem, limpeza, classificação e embalagem (PUZZI, 2000). Para o grão de nabo forrageiro visando à produção de biodiesel, reduzir as impurezas significa também, melhor qualidade do óleo, uma vez que livre de impurezas, menores serão os custos com a purificação e lavagem do biodiesel.

O teste de germinação, por sua vez, avalia a capacidade da semente em produzir uma plântula normal, sob condições altamente artificiais e favoráveis (PUZZI, 2000). Nery *et al.* (2009) menciona que pouco ainda se sabe sobre a produção e a qualidade de sementes de nabo forrageiro e do potencial máximo da germinação de lotes das sementes da oleaginosa, para as cultivares que existem hoje no mercado: CATI AL-1000 e IPR-116. Havendo poucos trabalhos na literatura sobre o nabo forrageiro, os resultados de Nery *et al.* (2009) sobre germinação de sementes, convêm como uma comparação de relevância.

Conforme a Tabela 23, a germinação dos grãos de nabo forrageiro não diferiu estatisticamente entre os diferentes tratamentos, ao nível de 5%. A maior porcentagem de germinação foi encontrada para o tratamento T1, cujo percentual, ao final dos 10 DAS, foi de 86% de plântulas germinadas. As sementes podem expressar diferentes respostas em função de fatores como dormência, água, luz, temperatura, agentes patogênicos, oxigênio e outros fatores no ambiente (NERY *et al.*, 2009), sendo de relevância a efetivação de estudos aprofundados para verificar se a fertigação é uma atenuante na efetiva germinação de sementes. Os resultados obtidos no presente estudo são superiores aos citados por Nery *et al.* (2009), que, comparando lotes de cultivares de nabo forrageiro, verificaram um valor médio de germinação de 41% na 1ª contagem e de 49% na 2ª contagem, nas mesmas condições que a do presente estudo. Contudo, os autores observaram elevada porcentagem de incidência de fungos, o que pode ter afetado a sanidade das sementes, gerando baixa emergência de plântulas.

6 CONCLUSÕES

Ao nível de 5% de significância, é possível afirmar que:

- A aplicação de EBS em um ciclo do cultivo de nabo forrageiro não alterou significativamente as características químicas e físicas do Latossolo Vermelho Distroférico típico empregado no experimento;
- As irrigações de EBS e água proporcionaram maior produtividade dos grãos de nabo forrageiro em comparação ao sequeiro, sendo que a aplicação de EBS acarretou maior desenvolvimento da planta em relação ao volume da raiz, diâmetro basal e número de grãos por siliqua, enquanto a aplicação de água afetou apenas o volume da raiz;
- Foram observados maiores perdas de sais, nitrato, fósforo total, potássio e manganês via escoamento superficial e nitrato, potássio, cobre, manganês e sódio via percolação, quando da aplicação de EBS em nabo forrageiro;
- A aplicação de EBS no nabo forrageiro proporcionou maior acúmulo de nitrogênio na fitomassa seca, potencializando o seu uso como adubo verde de inverno.

De um modo geral, a taxa de aplicação de efluente de biodigestor da suinocultura em uma taxa de $370 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ acarretou maior poluição difusa via escoamento superficial e percolação e maior qualidade agrônômica da cultura de nabo forrageiro.

7 REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C. da.; GODOI, A. R. de.; CARMO, C. de A.; EDUARDO, J. L. de P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 260-258, 2008.

ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; GOMES, S. D.; QUEIROZ, M. F. de. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2008.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1998.

ASSIS, F. O. Bacia Hidrográfica do Rio Quilombo: Dejetos de suínos e impactos ambientais. R. **RA'E GA – Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n.8, p.107-122, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991, 218p.

BAKSH, A.; KANWAR, R. S.; KARLEN, D. L. Effects of liquid swine manure applications on NO₃ leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Maryland Heights, v. 109, p.118-125, 2005.

BARROS, L. S. S.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J. Poder poluente de águas residuárias de suinocultura após utilização de um tratamento integrado. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v.40, p.126-135, 2003.

BASSO, C. J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**. Santa Maria, SC, 2003, 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. da. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suíno por volatilização de amônia. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, 2004.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejetos líquidos de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1305-1312, 2005.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R. da.; TEO, C. R. P. A.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.

BEERENS, P. **Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling purposes in less developed countries**. Eindhoven, Holanda, 80p, 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Energia Sustentável) – Eindhoven University of Technology.

BENINCASA, M.M.P.; **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERENQUER, P; CELA, S; SANTIVERI, F; BOIXADERA, J; LLOVERAS, J. Copper and Zinc soil accumulation and plant concentration in irrigated maize fertilized with liquid swine manure. **Waste Management**, Madison, v.100, n. 4, p.1056-106, 2008.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. .; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **Engenharia Florestal**, Curitiba, v. 35, n.3, p. 429-442, 2005.

BERWANGER, A. L. ; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações do Fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Santa Maria, 32, p. 2525-2532, 2008.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. V.; SILVA, F. C. da.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do. **Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química**. In: EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627p.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normais e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática Estatística**, São Paulo, 21, 1, 67-83, 2003.

BRASI, L. A. C. S.; DENUCCI, S.; PORTAS, A. A. **Nabo – adubo verde, forragem e bioenergia**. 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/nabo/index.htm>. Acesso em: 14 Jun. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009a, 365p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005a. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o

enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, em 07 de abril de 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009b. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, em dezembro de 2009.

BRASIL. Presidência da República. Ministério da Casa Civil. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005b. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, em 14 de janeiro de 2005.

CALEGARI, A.; **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1990.

CERETTA, C. A., BASSO, C. J., VIEIRA, F., HERBES, M. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suíno. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1287-1295, 2005.

COSTA, B. B. da. **Adubação Verde no Sul do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993.

COSTA, S. N. da; MARTINEZ, M. A; MATOS, A. T. de; RAMOS, V. B. N. Mobilidade de Nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p.190-194, 1999.

COSTA, C. C.; CAMPOS, C. M. M.; REZENDE, F. C.; CUSTÓDIO, T. N. Produtividade de feijão-vagem fertirrigado com água residuária de suinocultura após tratamento anaeróbio. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes, v. 01, n. 03, p. 19-27, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.

CRUZ, M. do C. M da.; RAMOS, J. D.; OLIVEIRA, D. L de.; MARQUES, V. B.; HAFLE, O. M. Utilização de água residuária de suinocultura na produção de mudas de maracujazeiro-azedo cv redondo amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n.4, p. 1107-1112, 2008.

CURI, N. (Coord). **Vocabulário de ciência do solo**. In: CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. F. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1993. 90p.

DAL BOSCO, T. C. **Poluição difusa decorrente da aplicação de água residuária da suinocultura em solo cultivado com soja sob condições de chuva simulada**. Cascavel, PR, 2007, 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

DAL BOSCO, T. C.; SAMPAIO, S.; OPAZO, M. A. U.; GOMES, S. D.; NÓBREGA, L. H. P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: Cobre e Zinco no material escoado e no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p.699-709, 2008.

DAMBISKI, L. **Síntese de Biodiesel de Óleo de Nabo Forrageiro Empregando Metanol Supercrítico**. Curitiba, PR, 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DERPSCH, R. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: IAPAR, 1992. 82p.

DOBLINSKI, A. F.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, V. R. da; NÓBREGA, L. H. P.; GOMES, S. D.; DAL BOSCO, T. C. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p. 87-93, 2010.

DURIGON, R.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; PAVINATO, P. S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 983-992, 2002.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999.

FERNANDES, R. B. A.; LUZ, W. V.; FONTES, M. P. F.; FONTES, L. E. F. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n.1, p.81-93, 2007.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**. Sistema de análises estatísticas para dados balanceados. Versão 5.3. Lavras: UFLA/DEX, 2010.

FREITAS, W. da S.; OLIVEIRA, R. A.; CECOM, P. R.; PINTO, F. A.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura em solo cultivado com milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 95-102, 2005.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de Fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GENRO JR, S. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.477-484, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HUBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II-Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 751-762, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 325-334, 2003.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. **Revista Química Nova**. São Paulo, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

HAN, J. G.; LI, Z. B.; LI, P.; TIAN, J. L. Nitrogen and phosphorous concentrations in runoff from a purple soil in an agricultural watershed. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 757-762, 2010.

HEATHWAITE, L.; SHARPLEY, A.; GBUREK, W. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 1 p. 158-166, 2000.

HESPANHOL. I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008.

HIRAGASHI, M. M; COLDEBELLA, A; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A; MATTEI, R. M.; SILVA, V. S; AMARAL, A. L. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n.3, p.311-317, 2008.

HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; BASTOS, M. C.; BASTOS REIS, T. K.; JONAS, T. C.; SERRA, W.; GOMES, J.P. Efeito do uso de efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertigação de beterraba. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. In: CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. Londrina: IAPAR, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 24 de Jan. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema de Recuperação Automática de Dados. **Censo Agropecuária**: Pesquisa trimestral do abate de animais. Tabela 1093. 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 03 Fev. 2011.

JUCHEN, C. R. **Reuso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada**. Cascavel, PR, 2000. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

KADOX IRRIGAÇÃO. Produtos. Emissores. Diversos. Aspersores de Plástico. **Catálogo Técnico 1612**. 2009. Disponível em: <http://www.kadox.com.br/Produtos.aspx?CD_Divisao=10>. Acesso em 12 Jun. 2010.

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, 150-158, 2005.

KUNZ, A. HIGARASHI, M. M; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p.651-665, 2005.

LANA, M. do C. **Análise Química de Solo e Tecido Vegetal: Práticas de Laboratório**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2010. 130 p.

LIMA, D. J.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R. K.; SOLIMAN, E. P.; MORAES, W. da S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p.60-63, 2007.

LIMA, R.C.P. **O biodiesel e a inclusão social**. Biblioteca da Câmara dos Deputados – Consultoria Legislativa. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/handl e/bdcamara/1142>. Brasília: Estudo, 2004. 35p.

LONGO, A.J.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M. Equação de chuvas intensas e precipitação provável para o município de Cascavel-PR. **Varia Scientia**, Cascavel, v.6, n.12, p.16-30, 2006.

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

MALAVOLTA, E; PIMENTEL GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002.

MANTOVANI, E. C; BERNANDO, S; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2007, 358p.

MARSOLA, T; MIYAZAWA, M; PAVAN, M. P. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.92-98, 2005.

MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina**. Santa Maria, SC, 2006, 164 f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.

MELLO, D. F.; FRANZOLIN, R.; FERNANDES, L. B.; FRANCO, V. M.; ALVES, T. C. Avaliação do resíduo de nabo forrageiro extraído da produção de biodiesel como suplemento para bovinos de corte em pastagens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 45-56, 2008.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, n. 34, v. 3, p. 173-180, 2004.

MINITAB. Statistical Software English. **Minitab 15.1.1.0**. State College, 2007.

MIRANDA, C. R. de. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: **Gestão Ambiental na Suinocultura**. SEGANFREDO, M. A. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

MORI, Hélio Fumiaki et al. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos bovino em latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p. 189-198, 2009.

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, n. 25, p. 531-538, 2001.

NEGRÃO, L. C. P.; URBAN, M. L. P. Álcool como "commodity" internacional. **Economia & Energia**, 47, p. 8-18, 2004.

NERY, M. C.; CARVALHO, M. L. M de.; FRAGA, A. C. Adequação do teste de Germinação para sementes de Nabo Forrageiro. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 117-187, 2009.

NOGUEIRA, C. C. P; SILVA, I. J. O. Aplicação de águas residuárias de suinocultura na irrigação. **Revista Thesis**, São Paulo, v.6, p. 18-29, 2006.

OHLAND, R. A. A; SOUZA, L. C. F. de; HERNANI, L. C; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRA, R. A. de.; FREITAS, W. da S.; GALVÃO, J. C. C.; PINTO, F. A.; CECON, P. R. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características nutricionais do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 3, p. 357-369, 2004.

OLSEN S R, SOMMERS L E. **Phosphorus**. In: Page, A.L., MILLER, R.H., KEENEY, D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties*. 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc., Wisconsin, p.1159. 1982.

PARANÁ. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Estado de Agricultura e do Abastecimento – SEAB. Departamento de economia rural – DERAL. **Produção pecuária do estado do Paraná**. 2007. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/modulos/conteudo/conteudo.php?conteúdo=137>>. Acesso em 2 Jun. 2010.

PEDROTTI, A.; MELLO JUNIOR, A. V. **Avanços em Ciência do solo**: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora UFS, Aracaju: Fapitec, 2009. 212p.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1990. 541p.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666p.

QUEIROZ, F. M. de.; MATOS, A. T. de.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

QUINTON, J. N; CATT, J. A; HESS, T. M. The Selective Removal of Phosphorus from Soil: Is Event Size Important? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 538-545, 2001.

QUIRIJN, J. V. L. **Física do Solo**. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C. de, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, 285p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. **Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas**. Revista Ciência & Ambiente, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. Santa Maria, SC, 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.

SANDRI, D; MATSURA, E. E; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.755-764, 2009.

SANTOS, G. C. G. **Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico**. Piracicaba, SP, 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 16, n.3, p. 129-141, 1999.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, 38, 3, p.841-851, 2008.

SMITH, D. R; OWENS, P. R; LEYTEM, A. B; WARNEMUEND, E. A. Nutrient losses from manure and fertilizer applications as impacted by time to first runoff event. **Environmental Pollution**, Maryland Heights, n. 147, p.131-137, 2007.

SOUZA E SILVA, J. de.; BERBERT, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S. **Qualidade dos grãos**. In: SOUZA E SILVA, J. (Editor). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. 502p.

SOUZA, A. D. V. de.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.

SUAREZ, P. A. Z; SANTOS, A. L. F. S; RODRIGUES, J. P; ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 768-775. 2009.

TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997, 247 p.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p.795-801, 2002.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 14, 3, p. 320–325, 2010.

ZANELLA, J. **Biodiesel**. *Jornal Unesp. Portal Unesp - Universidade Estadual Paulista*. Ano XIX, nº 202, 2005. Disponível em: <<http://www.unesp.br/aci/jornal/202/biodiesel.php>>. Acesso em 17 Jan. 2010.