

ANDRESSA BACCHETTI PINTO

AVALIAÇÃO DE GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS COM USO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DA LAVAGEM DE FRUTOS DO CAFEIEIRO
EM RAMPAS DE TRATAMENTO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL

2001

A Deus.

Aos meus pais Gessé e Marlúcia.

Aos meus irmãos Marcele e Gustavo.

Ao meu noivo Edney Leandro.

Aos meus amigos e colegas.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o Programa.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, pelo suporte financeiro à pesquisa.

À Fapemig, pela concessão da bolsa de estudos.

À Polidryer Ltda., pelo incentivo à pesquisa.

Ao Professor Antônio Teixeira de Matos, pela orientação.

Ao Professor Odilon Gomes Pereira (Conselheiro), pelo interesse, pela participação e pelas sugestões, sempre oportunas.

Ao Professor Antônio Alves Soares (Conselheiro), pelas observações.

Ao Professor Edvaldo Fialho dos Reis, do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela colaboração nas análises estatísticas.

Ao Sr. Paulo Márcio, pela concessão da área para implantação do experimento e pelo interesse no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Adir e todos os funcionários da Fazenda Laje, pelo auxílio e pela boa vontade.

Ao colega Dr. Raimundo Gomes, pela ajuda e incentivo na implantação do experimento.

Ao bolsista de iniciação científica Danilo Costa Fukunaga, pela ajuda nos trabalhos de campo e laboratório e pela amizade.

Aos estudantes de iniciação científica Ronaldo Fia e Fernanda e à estagiária Talita, pela colaboração e amizade.

Aos laboratoristas Simão, Fernando e Braz, pela dedicação ao trabalho.

Ao Sr. Nicolau, funcionário da Agrostologia, por toda ajuda e por ser tão prestativo.

Aos meus amigos Flávia e Ivano, pelos bons conselhos e pela solicitude.

À minha amiga Ana Paula, pelo apoio e pelo ombro amigo em todos os momentos.

Às minhas amigas Alexandra, Ana Esmeria, Eliane, Leidy, Roberta Alessandra e Sandra, pela boa convivência e pelos momentos de descontração.

Ao meu noivo Edney Leandro, por todas as palavras de incentivo, pelas sugestões e pelo apoio e carinho sempre a mim dedicados.

Ao meu irmão Gustavo, pela ajuda na digitação da tese.

Aos meus colegas de mestrado, pela convivência amena e tranqüila.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

ANDRESSA BACCHETTI PINTO, filha de Gesse Pereira Pinto e Marlúcia Bacchetti Pinto, nasceu em Vitória, Espírito Santo, no dia 11 de maio de 1973.

Em 1992, ingressou na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em Engenharia Agrícola em outubro de 1998.

Em abril de 1999, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, tendo concentrado seus estudos na Área de Irrigação e Drenagem, submetendo-se à defesa de tese em agosto de 2001.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRAC	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATUR	4
2.1. Fruto do cafeeiro: considerações gerais	4
2.1.1. Origem	4
2.1.2. Aspectos botânicos	5
2.1.3. Produção	6
2.2. Processamento do fruto do cafeeiro	9
2.2.1. Processamento do fruto do cafeeiro por via seca	9
2.2.2. Processamento do fruto do cafeeiro por via úmida	10
2.2.2.1. Cereja descascado	11
2.2.2.2. Cereja despulpado ou desmucilado	11
2.3. Resíduos provenientes do processamento do fruto do cafeeiro	13
2.3.1. Resíduos sólidos	14
2.3.2. Águas residuárias	15
2.4. Sistemas de tratamento de águas residuárias	18

	Página
2.4.1. Disposição de efluentes sobre o solo	19
2.5. Tratamento por escoamento superficial	22
2.5.1. Cobertura vegetal nas rampas de tratamento	23
2.6. Gramíneas forrageiras	26
2.6.1. Forrageiras hibernais	28
2.6.1.1. Aveia-preta (<i>Avena strigosa</i> Schreb)	29
2.6.1.2. Azevém (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	31
2.6.2. Forrageiras estivais	32
2.6.2.1. Milheto (<i>Pennisetum americanum</i> L.)	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1. Localização da área experimental, preparo do terreno e implantação do experimento	35
3.2. Condução do experimento	40
3.2.1. Aplicação da água nas parcelas experimentais	40
3.2.2. Cortes e análises das gramíneas forrageiras	43
3.3. Caracterização do solo após o período de cultivo das gramíneas forrageiras	46
3.4. Dados climatológicos do período de experimentação	46
3.5. Delineamento experimental e análise estatística dos dados	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Análise das características físicas e químicas da água residuária proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro para uso em rampas de escoamento superficial	49
4.2. Avaliação das gramíneas forrageiras	53
4.2.1. Rendimento da matéria seca	53
4.2.2. Rendimento da proteína bruta	56
4.2.3. Composição bromatológica	58
4.2.3.1. Conteúdo de matéria seca	58
4.2.3.2. Conteúdo de proteína bruta	60
4.2.3.3. Composição mineral	62

	Página
4.2.3.3.1. Fósforo	62
4.2.3.3.2. Potássio	64
4.2.3.3.3. Cálcio	66
4.2.3.3.4. Magnésio	67
4.2.3.3.5. Sódio	69'
4.3. Remoção de nutrientes do solo pelas plantas	70
4.3.1. Fósforo	70
4.3.2. Potássio	71
4.3.3. Cálcio	73
4.3.4. Magnésio	74
4.3.5. Sódio	76
4.4. Alteração nas características do solo com a condução do experimento	77
4.4.1. Caracterização preliminar	77
4.4.2. Caracterização química após o período experimental	78
4.4.2.1. Fósforo	78
4.4.2.2. Potássio	79
4.4.2.3. Cálcio	80
4.4.2.4. Magnésio	82
4.4.2.5. Nitrato	83
5. RESUMO E CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICE	98

RESUMO

PINTO, Andressa Bacchetti, M. S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2001. **Avaliação de gramíneas forrageiras com uso de águas residuárias da lavagem de frutos do cafeeiro em rampas de tratamento.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Odilon Gomes Pereira e Antônio Alves Soares.

Este trabalho foi conduzido na Fazenda Laje, em Viçosa, MG, com o objetivo de avaliar a capacidade de absorção de nutrientes, a produtividade e a composição bromatológica de três espécies forrageiras: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e milheto (*Pennisetum americanum* L.), cultivadas em rampas de tratamento de águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, além de analisar os efeitos da aplicação dessas águas sobre as características químicas do solo durante um ciclo de colheita do café. **As** águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC), após o tratamento preliminar e as captadas da rede de abastecimento da propriedade agrícola, foram aplicadas nas parcelas cultivadas com as gramíneas forrageiras, apenas nos dias úteis, sob uma taxa equivalente a $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ de DBO_5 . Analisando os resultados obtidos, nas condições em que a pesquisa foi conduzida, pôde-se concluir que: a)

dentre as forrageiras estudadas, o azevém mostrou ser a mais adequada para ser utilizada em rampas de tratamento de ARC por disposição sobre o solo, visto ter apresentado maior rendimento e capacidade de remoção de nutrientes. Além disso, apresentou melhor comportamento durante o período experimental, apresentando maior número de cortes e, conseqüentemente, maior período de utilização da forragem, bem como rápida recuperação após o corte, boa cobertura do solo e ocorrência de poucas invasoras; b) as maiores remoções acumuladas de potássio, cálcio e magnésio foram obtidas pelo azevém e as maiores remoções de fósforo e sódio, pelo azevém e milho; c) os nutrientes aplicados no solo por meio da ARC, à exceção do potássio, não foram suficientes para proporcionar acúmulo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade; e d) a aplicação de ARC durante quatro meses de cultivo de azevém, aveia-preta e milho proporcionou redução nas concentrações de P disponível, Ca e Mg trocáveis no solo.

ABSTRACT

PINTO, Andressa Bacchetti, M.S., Universidade Federal de Viçosa, August 2001. Evaluation of forage grasses grown on treatment ramps for wastewater from coffee fruit washing. Advisor: Antonio Teixeira de Matos. Committee members: Odilon Gomes Pereira and Antônio Alves Soares.

This study was carried out on the Fazenda Laje, in Viçosa, Minas Gerais State with the objective to evaluate the nutrient absorption capacity, productivity and bromatologic composition of three forage species: ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.), oat (*Avena strigosa* Schreb) and millet (*Pennisetum americanum* L.). Cultivated on treatment ramps for wastewater from washing and peeling of coffee fruits, the effect on the chemical characteristics of soil when applying this water during a crop cycle of coffee was also analyzed. After preliminary treatment, the wastewater from washing and peeling of coffee fruits (WWC) and the takings from the water supply of the propriety/farm, were applied on cultivation parcels with the forage grasses, only on work days, in a rate equivalent to $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ of DBO_5 . Under the conditions in which the study was carried out, the following conclusions can be drawn from the analysis results: a) Among the studied forages, ryegrass proved to be the most adequate for the use on treatment ramps where WWC is distributed over the soil, as it

presented higher production and nutrient removal capacity. Besides, this forage showed a better behavior during the experiment, with a higher number of cuts and, consequently, a longer utility period as well as a quick recovery after cuts, good soil cover and small incidence of invaders; b) Greatest accumulated potassium, calcium and magnesium removals were obtained by the ryegrass and the highest removals of phosphorus and sodium by ryegrass and millet; c) The nutrients applied on soil by WWC, except for potassium, were not sufficient to cause accumulation in the layer of 0 to 0.20 m depth; e) WWC application during four months of ryegrass, oat and millet cultivation decreased the concentrations of disposable P, Ca and exchangeable Mg in soil.

1. INTRODUÇÃO

O café é uma das bebidas mais difundidas no mundo, proporcionando aos países produtores renda média de oito bilhões de dólares (SILVA e BERBERT, 1999). No Brasil, a cultura do cafeeiro foi introduzida no início do século XVIII e, até a atualidade, a cafeicultura é, sem dúvida, de notória importância e expressividade para a economia do país. Historicamente, os grãos de café produzidos no Brasil são destinados às exportações e ao consumo interno, sendo o país o maior produtor e exportador mundial.

A qualidade do grão, que determina seu preço de mercado e a aceitação do produto no comércio internacional, está relacionada às características como cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida, que, por sua vez, depende de fatores como composição química do grão, processamento pós-colheita, secagem e armazenagem, torração e preparo da bebida (SILVA e BERBERT, 1999; CARVALHO et al., 1997).

No Brasil, em virtude do método de colheita empregado, o produto colhido é constituído de uma mistura de frutos verdes, maduros (cerejas e verdeongos), passas e secos, folhas, ramos, torrões e pedras. Os frutos devem ser limpos de impurezas e separados nas suas diversas fiações, para que possam ser secados separadamente. O fruto do cafeeiro poderá, então, ser processado de duas formas: por via seca, isto é, secando integralmente os frutos; ou por via úmida,

que consiste na secagem dos frutos sem casca ou sem casca e sem mucilagem, dando origem aos grãos descascados e despolpados, respectivamente.

O processamento dos frutos do cafeeiro por via úmida, de forma geral, proporciona a produção de grãos de bebida suave, com boas cotações no mercado. Contudo, é responsável pela geração de grandes volumes de águas residuárias, ricas em materiais orgânicos altamente poluentes.

A legislação ambiental vigente regulamenta, dentre outras coisas, as condições a serem obedecidas para lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora nos corpos d'água, em níveis federal e estadual. No Estado de Minas Gerais, a legislação pertinente é a Deliberação Normativa COPAM 010/86 (CAMPOS et al., 1998), que estabelece que, para o lançamento de águas residuárias em cursos d'água, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5 , 20 °C) seja de, no máximo, 60 mg.L^{-1} ou que a eficiência do sistema de tratamento para sua remoção seja superior a 85%, desde que não proporcione superação dos limites estabelecidos como padrões de qualidade para a classe de enquadramento do curso d'água. Em vista da elevada carga orgânica que as águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro detém (MATOS et al., 2000a e 2001), para o atendimento da legislação ambiental toma-se necessária a implantação de sistemas de tratamento de águas residuárias de grande eficiência na remoção de carga orgânica, o que, inevitavelmente, conduz à necessidade de instalação de sistemas sofisticados e de alto custo de implantação e operação; ou a disponibilidade de grandes áreas para a construção de lagoas de estabilização.

Trabalhos recentes indicam que a disposição de águas residuárias no solo pode proporcionar aumento da produtividade, melhorar a qualidade dos produtos colhidos e reduzir a poluição ambiental (SCHERER e BALDISSERA, 1994; MATOS et al., 1995), além do que se especula que possa promover melhorias em algumas propriedades físicas dos solos.

No método de tratamento por escoamento superficial, a água residuária é aplicada em altas taxas na parte superior de uma rampa vegetada, ficando sujeita ao escoamento superficial, condição que possibilita sua depuração ao longo da rampa de tratamento. De acordo com HUBBARD et al. (1987), o objetivo

principal do método é usar o “filtro vivo” formado pelo próprio solo, plantas e microrganismos, para se reduzir a concentração de nutrientes e patógenos presentes nessas águas. A vegetação será, então, fundamental na remoção dos nutrientes do solo, evitando seu acúmulo e conseqüente salinização e, ou, a contaminação dos aquíferos subsuperficiais e subterrâneos, além de favorecer o desenvolvimento de uma película biologicamente ativa, que degradará o material orgânico. Soma-se aos benefícios já citados da disposição de águas residuárias no solo o fato de o material vegetal produzido poder ser utilizado para alimentação animal.

Segundo TAYLOR e NEAL (1982), a disposição de águas residuárias sobre o solo apresenta uma série de vantagens, podendo-se citar, dentre elas, o benefício agrícola, o baixo investimento (custo oscila entre 30 e 50% do custo do tratamento convencional), o pequeno custo de operação e o baixo consumo de energia.

A disposição de águas residuárias do processamento, por via úmida, de frutos do cafeeiro no solo, para tratamento pelo método do escoamento superficial, é tida como alternativa viável, tendo em vista o baixo custo de implantação e operação desse sistema de tratamento e a possibilidade de aproveitamento dos nutrientes contidos nessas águas. Entretanto, a escolha da espécie vegetal que seja mais adaptada às elevadas condições de umidade e salinidade do solo e que seja eficiente extratora de nutrientes aplicados é fundamental para o sucesso do método de tratamento.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a capacidade de absorção de nutrientes, a produtividade e a composição bromatológica de três espécies forrageiras: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e milheto (*Pennisetum americanum* L.), cultivadas em rampas de tratamento de águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, bem como avaliar os efeitos da aplicação dessas águas nas características químicas do solo, durante um ciclo de colheita de frutos do cafeeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fruto do cafeeiro: considerações gerais

2.1.1. Origem

O cafeeiro é originário da Etiópia, onde o pastor Caldi descobriu as qualidades de seu fruto como fonte de vigor e ânimo. Aclimatou-se muito bem no Yêmem, havendo indícios de seu cultivo anterior ao século XV.

O gosto pela bebida produzida com os grãos de café espalhou-se pelo mundo árabe, onde foram abertos *os* primeiros “Cafés”. Para garantir o monopólio da comercialização do produto, os árabes não permitiam a saída de sementes férteis do país, ainda assim, em 1616, *os* holandeses conseguiram levar o produto para seus jardins botânicos (ICO, 2001a). O cafeeiro foi, então, levado às colônias holandesas na Índia e à atual Indonésia. Em poucos anos, essas colônias passaram a suprir o mercado europeu deste produto. Inicialmente, o fruto do cafeeiro foi conhecido na Europa por suas propriedades medicinais e, somente a partir do século XVII, foi adotado como bebida.

Data de **1668** a primeira evidência da presença do cafeeiro na América, quando foi trazido pelos holandeses que ocupavam a ilha de Manhattan, na época denominada New Amsterdam. A introdução da cultura na América do Sul

deu-se, também, por iniciativa dos holandeses na colônia do Suriname, em 1718; daí, passou à Guiana Francesa. Em 1727, o cafeeiro chegou ao Brasil trazido para o Pará pelo sargento-mor Francisco Melo Palheta. Palheta fora enviado pelo governador à Guiana Francesa para conseguir mudas da planta, visto serem estas proibidas aos portugueses (Malavolta, 2000, citado por LEITE e SILVA, 2000).

Em princípio, o cafeeiro desenvolveu-se apenas no norte do país, em reduzidas e inexpressivas plantações. Contudo, no início do século XIX, chegou ao Rio de Janeiro e, em 1850, o país já era o maior produtor mundial de grãos de café, participando com 40% do total mundial, percentagem que atingiria 81% no começo do século XX (CAFÉ FARAÓ, 2001).

2.1.2. Aspectos botânicos

O cafeeiro, angiosperma dicotiledônea perenifólia, pertencente à família das Rubiaceae, atinge 10 m de altura em seu estado nativo. Possui um tronco principal vertical, ortotrópico, e ramificações primárias, secundárias e terciárias plagiotrópicas (COFFEE RESEARCH INSTITUTE, 2001).

A família das rubiáceas possui cerca de 500 gêneros e mais de 6.000 espécies, no entanto o gênero *Coffea* é, sem dúvida, o membro mais expressivo em termos econômicos. Desse gênero, as duas espécies que se destacam são a *Coffea arabica*, conhecida como café Arábica, que responde por mais de 70% da produção mundial; e a *Coffea canephora*, conhecida como café Robusta. Duas outras espécies produzidas, porém em menor escala, são a *Coffea liberica*, café Libérica; e a *Coffea dewevrei*, café Excelsa (ICO, 2001b).

Segundo LEITE e SILVA (2000), a espécie *C. arabica* pode produzir bebida com características organolépticas desejadas, como aroma, pouca acidez e menos sólidos, enquanto os grãos da *C. canephora* produzem bebida mais encorpada, menos aromática e com pouca acidez. A *C. arabica* possui duas variedades típicas, Bourbon e Typica, a partir das quais foram criados outros cultivares, como Caturra, Mundo Novo, Catuí, São Ramon, Jamaica Blue Mountais, Sumatra, Moka e outros. Dos cruzamentos das espécies *C. arabica* e

C. canephora, foram obtidos os híbridos Icatu, Timor, Catimor, Arabusta, Catucaí e outros.

2.1.3. Produção

Os grãos de café *são* produzidos e exportados por mais de 50 países em desenvolvimento, no entanto a maior parte dos consumidores são países industrializados como os EUA, países europeus e Japão. O grão de café é o segundo produto mais comercializado no mundo, sendo de vital importância para o balanço comercial entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (SILVA e BERBERT, 1999).

Para os técnicos do USDA, Departamento de Agricultura dos EUA, as safras mundiais de 1999/00 e 2000/01 foram de 106,8 e 108,6 milhões de sacas, respectivamente. Os técnicos do USDA estimam, ainda, que a próxima safra (2001/02) será de 115,1 milhões de sacas, das quais 72,8 milhões de sacas serão de café Arábica e 42,2 milhões da variedade Robusta (COFFEE BUSINESS, 2001). Será um volume recorde que reflete, nitidamente, o aumento do plantio do cafeeiro em todo o mundo.

De acordo com SILVA e LEITE (2000), a América do Sul é a maior região produtora de frutos de cafeeiro do mundo, com a ressalva de que o Brasil e a Colômbia, sozinhos, produziram em torno de 40% do total mundial nas últimas duas décadas. Todavia, as produções brasileira e colombiana têm diminuído a uma taxa de 0,26% e 0,08% ao ano, respectivamente. Os autores relataram ainda que, na África, a produção tem permanecido mais ou menos estável ao longo do tempo, enquanto nas regiões da América Central e do Caribe foi verificado crescimento até o início dos anos 90, quando atingiu o ápice, mantendo-se neste patamar a partir de então. Na Ásia, foi verificado expressivo crescimento na produção com taxa de 6,2% ao ano nas últimas duas décadas. No Quadro 1 está apresentada a produção total de grãos de café de alguns países.

Quadro 1 – Produção de *grãos* de cafês Arábica e Robusta no mundo nas safras de 1998/99 a 2000/01

Países Produtores	Espécie Produzida	Safras (Mil Sacas de 60 kg)		
		1998/99	1999/00	2000/01
Brasil	A/R	34.547	32.353	31.100
Equador	A/R	1.204	1.350	950
Indonésia	R/A	8.463	6.014	7.300
Papua Nova Guiné	A/R	1.350	1.386	972
Peru	A	2.022	2.529	2.575
Cuba	A	280	318	300
República Dominicana	A	422	694	680
Haiti	A	442	402	530
Filipinas	R/A	685	739	775
Camarões	R/A	1.334	1.218	1.100
Colômbia	A	11.088	9.336	12.000
Rep. Democrática do Congo	R/A	650	750	1.000
Costa Rica	A	2.350	2.465	2.400
Costa do Marfim	R	2.042	5.463	4.167
El Salvador	A	2.056	2.778	2.113
Etiópia	A	2.745	3.505	3.683
Guatemala	A/R	4.892	5.201	4.500
Honduras	A	2.195	2.975	2.300
Índia	A/R	4.372	5.407	4.917
Jamaica	A	29	39	44
Quênia	A	1.172	1.433	1.175
México	A	5.051	6.442	6.338
Nicarágua	A	1.073	1.384	1.200
Tailândia	R	916	1.397	1.200
Uganda	R/A	3.298	3.097	3.200
Venezuela	A	991	717	1.100
Vietnã	R	6.947	11.264	11.350

Fonte: ICO (2001b).

Cerca de 70% dos grãos de café produzidos no mundo são da espécie *C. arabica*, da qual se distinguem dois grupos, citados por LEITE e SILVA (2000). No grupo 1 estão incluídos os grãos despolpados, denominados “Suaves Colombianos” e “Outros Suaves”. Os Suaves Colombianos são constituídos pelos grãos produzidos na Colômbia, no Quênia e na Tanzânia, enquanto os Outros Suaves são produzidos principalmente na América Central. Neste grupo estão incluídos os cafés ditos finos. No grupo 2, estão incluídos os grãos de café “Arábicos Brasileiros” e “Outros Arábicos”, que não são despolpados e produzidos no Brasil e em alguns países africanos. Neste grupo estão incluídos os grãos de café ditos “cafés bons e ruins”. O restante dos grãos de café produzidos no mundo é da espécie *C. Canephora*, compondo o grupo 3, constituído dos grãos de café Robusta, de menor preço, sendo produzidos em países da África, Ásia e no Brasil.

Os grãos de café produzidos no Brasil são destinados às exportações e ao consumo interno, sendo o país o maior produtor e exportador mundial. Dos 108,6 milhões de sacas de grãos produzidas no mundo na safra de 2000/01; 31,1 milhões de sacas (Quadro 1) foram produzidas no Brasil. Contudo, o índice de produtividade, embora esteja crescendo nas últimas décadas, ainda é baixo, perfazendo uma média nacional de 13 sacas por hectare (MOREIRA, 1999).

O centro-sul do Brasil é a principal região cafeeira, abrangendo Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Espírito Santo, com mais de 90% da produção nacional. Minas Gerais é responsável por cerca de 50% do total de grãos produzidos no Brasil, ressaltando-se que o Sul de Minas responde por 50% da produção mineira, seguido das regiões do Alto Paranaíba, do Triângulo Mineiro e da Zona da Mata (BUENO, 1998).

Na Zona da Mata mineira, caracterizada por topografia acidentada e grandes variações de altitude, o cultivo do cafeeiro é responsável por 70% da renda rural, com plantios adensados nas pequenas propriedades, onde a variedade Catuaí representa 85% da produção e o Mundo Novo, 9%. O despolpamento, utilizado em cerca de 5% da produção, melhora a qualidade da bebida (CAFES

DO BRASIL, 2001), havendo, por isso, tendência de crescimento dessa forma de processamento do fruto.

2.2. Processamento do fruto do cafeeiro

O fruto do cafeeiro pode ser processado de duas formas: por via seca, isto é, secando integralmente os frutos; ou por via úmida, que consiste na secagem dos frutos sem casca ou sem casca e sem mucilagem, dando origem aos grãos descascados e despolidos, respectivamente.

2.2.1. Processamento do fruto do cafeeiro por via seca

Os frutos do cafeeiro, após a colheita, devem ser submetidos, imediatamente, aos processos de separação das impurezas, que podem ser feitos por peneiramento manual, ventilação forçada ou máquinas de pré-limpeza.

Após a retirada de impurezas, os frutos deverão passar pelo separador hidráulico, lavador, onde a separação é feita por densidade, variável em função dos diferentes estádios de maturação do fruto (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997). Dessa forma, os frutos verdes, verdoengos e cereja, que são mais pesados, são separados dos frutos “bóia”, que são mais leves.

Os lavadores utilizados na lavagem e separação dos frutos podem ser de alvenaria, Lavador Maravilha ou mecânicos. O Lavador Maravilha exige grande disponibilidade de água para uso, três a cinco litros de água por litro de frutos lavados, enquanto nos lavadores mecânicos esse consumo de água varia de 0,17 a 0,30 L de água por litro de frutos lavados (BUENO, 1998).

Na lavagem, grande parte de microrganismos presentes nos grãos é removida. Entretanto, caso se queira efetuar uma desinfecção mais completa dos frutos, podem-se adicionar alguns produtos químicos à água de lavagem. A EPAMIG tem testado vários produtos, como aqueles à base de cloro (hipoclorito de sódio 2%) e quaternário de amônio. Tal procedimento pode beneficiar as

parcelas de frutos ainda não infectadas no campo (BÁRTHOLO et al., 1989; SOUZA e CARVALHO, 1997).

O processo de secagem dos grãos pode ser feito em terreiros ou com o auxílio de secadores, obtendo-se, em ambos os casos, um produto final de semelhante qualidade, desde que se observem alguns cuidados, dentre eles o de que o teor de umidade final para o armazenamento do grão esteja entre 10 e 12%.

Com o preparo por via seca, obtém-se o fruto tipo “coco” de terreiro, ou “café natural”, e é dessa forma que é processada a maior parte dos frutos de cafeeiro produzidos no Brasil.

2.2.2. Processamento do fruto do cafeeiro por via úmida

O processamento por via úmida dá origem aos grãos de café descascados/lavados e despulpados, bastante comuns entre os produtores da América Central, México, Colômbia, Quênia e África, alcançando boas cotações no mercado, por proporcionarem, de modo geral, a produção de bebida suave. Embora o Brasil seja conhecido como produtor de grãos de café obtidos por via seca, 90% de sua produção total (LEITE e SILVA, 2000), alguns produtores começaram a fazer opção pelo processamento do fruto tipo cereja, descascando-o ou despolpando-o, principalmente em regiões montanhosas com boa disponibilidade de água. Segundo BUENO (1998), para lavar, descascar e despolpar os frutos do café cereja são necessários de 12,5 a 22 m³.h⁻¹ de água

A recepção, o processo de lavagem e separação dos frutos colhidos no processamento via úmida são iguais aos utilizados no processamento via seca. A secagem do grão processado por via úmida pode ser realizada em terreiros, secadores, ou por meio de sistemas mistos, nos quais os grãos são submetidos a uma pré-secagem em condições de terreiro, completando-se o processo em secadores mecânicos. Como vantagem da secagem dos frutos de cafeeiro processados por via úmida, pode-se citar a diminuição da área do terreiro, do volume do secador e do tempo, necessários à secagem.

2.2.2.1. Cereja descascado

O fruto tipo cereja, proveniente do lavador hidráulico, quando é passado apenas por um descascador mecânico é denominado descascado.

Os descascadores são máquinas que agem por pressão e possuem dispositivos para separar os frutos maduros dos verdes, uma vez que esta parcela faz parte do fruto cereja, separado na lavagem (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997). Nesses equipamentos, o fruto é pressionado entre um cilindro de chapa metálica com "mamilos" e um encosto de borracha, fazendo com que as cascas saiam por um lado e os grãos envolvidos pelo pergaminho e a mucilagem, por outro (BUENO, 1998; MATIELLO, 1999).

Logo após o descascamento, os grãos são levados diretamente para o terreiro, permanecendo a mucilagem aderida aos grãos durante a secagem, dando-lhe características únicas, como: padrão de uniformidade, características de corpo, acidez e doçura de café natural (VIEIRA e CARVALHO, 2000).

Além de melhorar a qualidade final do produto, outras vantagens do descascamento são a diminuição, em cerca de 40%, na área necessária para secagem (BUENO, 1998) e redução do tempo de secagem, devido à maior uniformidade do produto e ao teor de umidade mais baixo (BÁRTHOLO e GUIMARÃES, 1997).

2.2.2.2. Cereja despulpado ou desmucilado

Após o descascamento do fruto cereja, o grão permanece ainda com a mucilagem, que pode também ser removida dos grãos antes de sua secagem. A mucilagem é rica em açúcares que possibilitam o desenvolvimento de microrganismos nos grãos, podendo depreciar sua qualidade. A maior vantagem da despulpa completa (retirada da casca, polpa e mucilagem) é, por esta razão, evitar a fermentação e o desenvolvimento de fungos nos grãos, que prejudicam a qualidade da bebida do café (MOREIRA, 1999).

A desmucilagem pode ser executada de duas formas:

a) O grão de café vai do descascador ao desmucilador mecânico.

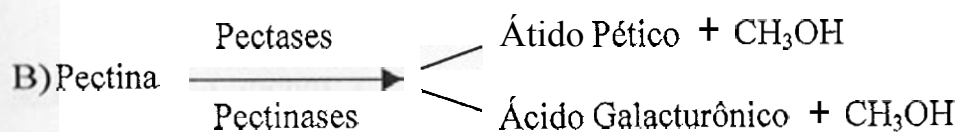
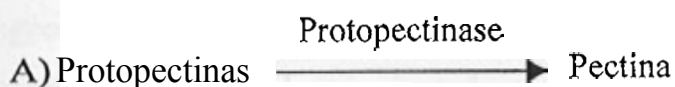
Segundo MATIELLO (1999), os antigos desmuciladores dependiam de muita energia mecânica e água de lavagem, para que os grãos fossem comprimidos e atritados contra as paredes do cilindro. Os atuais, mais eficientes, gastam menor quantidade de energia e de água, cerca de um litro de água para cada quilograma de grãos de café desmucilado produzido.

Os desmuciladores mecânicos são equipamentos verticais, de fluxo ascendente, que possuem um helicóide movimentando o grão de café em um cilindro canelado, com pequeno fluxo de água ($150-200 \text{ L.h}^{-1}$). Esse equipamento retira de 80 a 90% da goma, o que facilita o trabalho de secagem. Atualmente, essa forma de desmucilagem tem sido a mais empregada no Brasil.

b) Os grãos provenientes do descascador sofrem degomagem.

Após o descascamento, os grãos de café são conduzidos a tanques de alvaria com água onde sofrem fermentação, por um período de 12 a 24 horas, para facilitar o desprendimento da mucilagem aderida ao grão.

A retirada da mucilagem do café por fermentação natural é um processo de solubilização e de digestão deste produto por microrganismos presentes no ambiente. Se mal conduzida, pode prejudicar a qualidade e a aceitação do grão de café no mercado externo. NEMEROW (1971) descreveu a teoria da fermentação no processamento do grão de café da seguinte forma:



Esses produtos, alguns dos quais solúveis, são removidos, como já dito, do grão de café por lavagem. O processo de fermentação torna possível a secagem de um grão com o pergaminho limpo, o que garante sua pureza.

Para acelerar o processo de remoção da mucilagem, pode-se optar por aproveitar a água residuária da degoma efetuada na batelada anterior ou, pela adição de pequenas quantidades de enzimas especiais, que, em condições ambientais, podem completar a digestão da mucilagem em, aproximadamente, sete horas (SILVA e BERBERT, 1999).

Após esse período, os grãos são lavados até que não se perceba qualquer sinal de mucilagem, podendo a lavagem ser feita manual ou mecanicamente. Quando mecânica, usa-se um equipamento denominado “batedor”. O término da degomagem é reconhecido pelo ruído característico, quando os grãos, colocados entre os dedos, são esfregados.

O processo de desmucilagem com degomagem tem sido, comumente, utilizado em países como Colômbia, Quênia, Tanzânia e América Central, tradicionais produtores dos grãos de café conhecidos como “Suaves Colombianos” e “Outros Suaves”.

2.3. Resíduos provenientes do processamento do fruto do cafeeiro

A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para redução do custo de secagem dos grãos e melhoria na qualidade da bebida, gera grandes volumes de águas residuárias, ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução, de grande poder poluente (MATOS et al., 2000a), além de grandes quantidades de resíduos sólidos.

No Brasil, o problema que deve ser enfrentado em breve, conforme SOCCOL et al. (2000), é o do destino dos resíduos líquidos e sólidos gerados no processamento via úmida do fruto, que começa a ser implantado no país como forma de atender à crescente demanda internacional por grãos de alta qualidade e que proporcionem bebidas finas. Isso levará a um aumento significativo dos problemas ambientais ocasionados por grandes volumes de água da lavagem, do

descascamento e do despulpamento, além de grandes quantidades de polpa úmida e cascas geradas.

Os resíduos provenientes do processamento dos frutos do cafeeiro podem ser divididos em resíduos sólidos, como folhas, cascas, polpa, pergaminho, borra etc. e resíduos líquidos ou águas residuárias, constituídos pelos efluentes gerados na lavagem, tanques de fermentação, despulpadores e desmuciladores.

2.3.1. Resíduos sólidos

O processamento da safra de 1998/99 de grãos de café resultou em 2 milhões de toneladas de cascas e 310 mil toneladas de borra esgotada, usada na produção do café solúvel, e liberou para a atmosfera 561 mil toneladas de monóxido de carbono (VEGRO e CARVALHO, 2000).

MATOS et al. (2000b), analisando as características químicas do solo e a área de disposição, entre um e três anos, de cascas de frutos do cafeeiro encontraram contaminação em até 0,70 m de profundidade com K e NH₄ principalmente. Os resultados indicaram riscos de contaminação ambiental com a disposição inadequada desses resíduos no solo. As cascas, juntamente com a polpa, podem ser, entretanto, utilizadas como combustível, fertilizante ou alimentação animal. O pergaminho, composto basicamente de celulose, também pode ser utilizado como combustível.

CAMPOS (1993) afirmou que, por causa da composição química, a polpa úmida (casca e a polpa provenientes do processamento via úmida do fruto do cafeeiro) constitui um subproduto e não um resíduo, pois várias são as possibilidades para a sua utilização. Esse autor comentou que, na Costa Rica, tendo sido obtidos bons resultados com pesquisas realizadas sobre o uso desses subprodutos na alimentação de suínos, bovinos de leite e aves, quando utilizados em níveis baixos nas rações, devido à presença de substâncias tóxicas como taninos, cafeína e ácido caféico, dentre outras. Segundo SAUCEDO et al. (2000) em gado de corte, alimentado com rações com níveis maiores que 30% de polpa úmida, têm-se observado baixa digestibilidade da proteína, lesões na pele e,

alguns casos, morte de animais. BARCELOS et al. (1997) estudaram o comportamento de novilhos confinados que receberam rações com até 40% de casca de frutos do cafeeiro, proveniente do processamento via seca, denominada também polpa desidratada ou palha de café, em substituição ao milho desintegrado com palha e sabugo na ração concentrada; tendo esses autores observado reduções significativas de ganho de peso dos animais.

Para SOCCOL et al. (2000), atualmente os compostos recalcitrantes tóxicos representam uma limitação da polpa, casca e, mesmo, folhas na alimentação animal, embora tais resíduos possuam valor calórico-protéico considerável. Assim, os referidos autores apostaram **no** potencial desses subprodutos como substrato de fermentação para produção de fungos comestíveis e biomoléculas de interesse comercial, como ácidos orgânicos, hormônios vegetais e aromas.

A polpa úmida de frutos do cafeeiro pode ser, ainda, utilizada como substrato na produção de vermicomposto, sendo considerada como um dos melhores resíduos orgânicos de origem vegetal para alimentação de minhocas (DELGADO e BAROIS, 2000).

VEGRO e CARVALHO (2000) acreditaram que a gama de possibilidades de utilização dos subprodutos e resíduos do processamento do fruto do cafeeiro é elevada, ressaltando-se que muitos dos usos ainda não passaram da fase experimental. Esses autores relataram que, hoje em dia, os usos mais comuns têm sido como combustível e adubo orgânico e que usos pouco comuns requerem maior desenvolvimento tecnológico, podendo apresentar-se como excelentes opções de rentabilidade complementar para o cafeicultor.

2.3.2. Águas residuárias

A água residuária, constituída pelas águas provenientes de todas as operações de processamento, é, dentre todos os resíduos da cafeicultura, o que provoca maior impacto ambiental. A Água residuária proveniente de lavagem, descascamento e desmucilagem contém uma quantidade de sólidos

sedimentáveis relativamente alta, visto conter também açúcares e outros materiais solúveis. Os resíduos provenientes do tanque de fermentação contêm grande quantidade de géis coloidais da pectina e outros produtos.

O impacto que as águas residuárias da lavagem, descascamento e desmucilagem de frutos do cafeeiro (ARC) causam ao ambiente é grande não somente pela carga orgânica contaminante que alcança os corpos d'água, mas também pelo grande volume de águas limpas que é utilizado no processamento do fruto e que é devolvido ao meio ambiente com qualidade muito inferior (CAMPOS, 1993).

No processamento via úmida tradicional do fruto do cafeeiro, no México, são gerados, aproximadamente, três toneladas de subprodutos, sendo necessários quatro toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos despolpados secos (Rolzet et al., 1982, citados por DELGADO e BAROIS, 2000). Na Colômbia, são utilizados cerca de 8,3 metros cúbicos de água por tonelada de frutos cereja processados (VASCO, 2000).

Em muitos países produtores, a época de colheita do fruto do cafeeiro coincide com a época seca, período em que os rios estão com menor vazão, contribuindo para agravar o problema de lançamento de ARC em corpos hídricos. Conforme relatou CAMPOS (1993), ao serem lançadas nos cursos d'água, as ARC rapidamente formam zonas anóxicas, onde ocorre sua estabilização anaeróbica, resultando como produtos finais metano, fenóis e ácido sulfídrico, os quais exalam odores desagradáveis, que afetam as populações ribeirinhas.

O crescimento das ações fiscalizadoras pelos órgãos ambientais tem levado os produtores a buscarem opções tecnológicas com o intuito de reduzir o consumo de água no processamento do fruto do cafeeiro. Isso, segundo SAUCEDO et al. (2000), tem feito com que empresas de máquinas enviem esforços para que se desenvolvam equipamentos mais eficientes.

Existem pouquíssimas informações sobre a qualidade das águas residuárias provenientes do processamento do fruto do cafeeiro, e pouco se conhece sobre as características físicas, químicas e biológicas dessas águas. No Quadro 2 são apresentadas algumas características das ARC encontradas na literatura.

Quadro 2 – Parâmetros de qualidade do efluente líquido proveniente do processamento do fruto do cafeeiro segundo diferentes autores

Parâmetros de Qualidade	MATOS et al. (2000a)	BRANDON (1949)	^{1/} NEMEROW (1971)	^{3/} HORTON et al. (1946)
Polpa úmida	–	–	47.000	–
Despolpador (desmucilador)	5.859	3.264	–	3.280 - 15.000
Tanque de fermentação	–	5.304	1.250 - 2.220	295 - 3.600
Recirculação do				
DBO (mg.L ⁻¹) tanque de fermentação	–	1.972	–	–
1º tanque de lavagem do café fermentado	–	3.808	–	–
2º tanque de lavagem do café fermentado	–	1.768	–	–
Recirculação do tanque de lavagem	–	2.584	–	–
DQO (mg L ⁻¹)	7.999	–	–	–
Sólidos totais (g L ⁻¹)	10,6	–	4,26	10,09 - 12,34
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	88,0	–	^{2/} 660 - 700	–
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	–	–	2.060	625 - 1.055
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	462,6	–	–	–
P total (mg L ⁻¹)	15,0	–	–	–
K total (mg L ⁻¹)	1206	–	–	–
pH (adimensional)	6,4	–	–	4,1 - 4,7
Condutividade elétrica (dS.m ⁻¹)	4,863	–	–	–

^{1/} Valores referentes à água residuária do tanque de fermentação e média das características sanitárias de três processadoras de frutos do cafeeiro usando diferentes quantidades de água.

^{2/} Valor de sólidos sedimentáveis em mg L⁻¹.

^{3/} Baseado em 12 diferentes amostras de efluentes, exceto para DBO do tanque.

Sistemas de tratamentos de águas residuárias

O lançamento de águas residuárias no solo e em corpos hídricos ocorre, de intencional ou não e sem qualquer controle, desde o início da atividade a. A poluição e a contaminação dos corpos d'água onde águas residuárias são lançadas têm sido motivo de muita preocupação, considerando-se a ampla veiculação hídrica de doenças e a necessidade crescente de água de boa qualidade para usos mais exigentes (ANDRADE NETO, 1997).

A legislação ambiental regulamenta, dentre outros, as condições a serem obedecidas para lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora nos cursos d'água, em níveis federal e estadual. No Estado de Minas Gerais, a legislação pertinente é a Deliberação Normativa COPAM 010/86 (CAMPOS et al., 1998), que estabelece que, para o lançamento de águas residuárias em cursos d'água, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5 , 20 °C) seja de, no máximo, 60 mg.L^{-1} ou que a eficiência do sistema de tratamento para sua remoção seja superior a 85%, desde que não proporcione superação dos limites estabelecidos como padrões de qualidade para a classe de enquadramento do curso d'água. Esses índices, para serem obtidos, requerem grandes investimentos em sistemas de tratamento de águas residuárias, normalmente acima da capacidade do produtor ou pequeno empresário. Dentre as soluções propostas para tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, destaca-se a sua disposição direta sobre o solo, por ser uma alternativa viável, tendo em vista o baixo custo de implantação e a possibilidade de aproveitamento dos nutrientes contidos nessas águas.

Para tratamento de águas residuárias agroindustriais, é grande o número de opções tecnológicas disponíveis, baseadas no princípio do tratamento biológico dos esgotos, ou seja, tratam-se os esgotos utilizando microrganismos existentes nestes para transformar os principais poluentes em compostos inertes, do ponto de vista ambiental. Em virtude do clima favorável ao crescimento mais acelerado dos microrganismos, há um campo aberto em termos de processos simples e, totalmente, naturais para tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico no país (VON SPERLING, 1999).

Nos sistemas convencionais, o tratamento das águas residuárias pode ser dividido basicamente em três etapas: pré-tratamento, tratamento primário e tratamento secundário. Pode-se, eventualmente, ocorrer o tratamento chamado terciário.

O pré-tratamento, ou tratamento preliminar, objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa à remoção dos sólidos sedimentáveis e parte do material orgânico presente no meio; em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. No tratamento secundário, o objetivo é principalmente a remoção de material orgânico e, eventualmente, nutrientes como o nitrogênio e o fósforo. Nesse caso, predominam os mecanismos biológicos. O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, usualmente tóxicos ou compostos não-biodegradáveis ou, ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. Esse tipo de tratamento é bastante raro no Brasil (VON SPERLING, 1996).

O tratamento secundário, geralmente, inclui unidades de pré-tratamento, mas pode ou não incluir unidades de tratamento primário. Existe grande variedade de métodos de tratamentos em nível secundário, sendo as lagoas de estabilização e variantes, lodos ativados e variantes, filtros biológicos e variantes, tratamento anaeróbico e disposição sobre o solo os mais comuns.

A disposição sobre o solo é um misto de tratamento e disposição final (ANDRADE NETO, 1997), classificado como nível secundário devido à atuação de mecanismos biológicos e elevada eficiência na remoção de poluentes (VON SPERLING, 1996).

2.4.1. Disposição de efluentes sobre o solo

A disposição de águas residuárias no solo é bastante antiga, mencionada desde tempos antes de Cristo, sendo praticada em Atenas e Roma Antiga (CORAUCCI FILHO, 1991).

O objetivo primário de se utilizar o solo como meio de tratamento de águas residuárias é o aproveitamento do filtro natural constituído por plantas e microrganismos que, juntamente com suas propriedades de adsorção química e física, possibilitam a remoção de nutrientes desses efluentes (HUBBARD et al., 1987). A disposição de águas residuárias no solo é uma atividade essencialmente de reciclagem, inclusive para a água, viabilizando a utilização do potencial hídrico e dos nutrientes presentes nos efluentes líquidos, empregando a natureza como receptora de resíduos e geradora de riquezas. É um processo que pode ser considerado como de tratamento e aproveitamento ao mesmo tempo (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

A disposição de águas residuárias sobre o solo apresenta, segundo TAYLOR e NEAL (1982), COURAUCCI FILHO et al. (1999), SMITH e SCHROEDER (1985), uma série de vantagens, podendo-se citar, dentre elas, o benefício agrícola, o baixo investimento (que é de 30 a 50% do custo do tratamento convencional), o pequeno custo de operação e o baixo consumo de energia. Trabalhos recentes indicam que a disposição de águas residuárias no solo pode proporcionar aumento da produtividade, melhorar a qualidade dos produtos colhidos e reduzir a poluição ambiental (SCHERER e BALDISSERA, 1994; MATOS et al., 1995), apresentando, ainda, a possibilidade de promover melhorias em algumas propriedades físicas dos solos.

Parte das águas residuárias dispostas no solo incorpora-se a ele, umedecendo-o, podendo retornar à atmosfera por evapotranspiração. Parte dessa água, notadamente se ela é aplicada em quantidades que excedam a capacidade de armazenagem do solo, pode constituir recarga do lençol subterrâneo ou escoar superficialmente até alcançar os drenos naturais da área. Ao escoar sobre o solo, a água residuária sempre adquire melhor qualidade, devido à ação depuradora do sistema solo-planta.

A aplicação de águas residuárias no solo pode ser considerada uma forma de disposição final ou de tratamento, ou ambos (VON SPERLING, 1996). Contudo, deve ser feita de forma criteriosa para que não venha a concorrer para a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, contaminação de homens e

animais por agentes patogênicos, contaminação de plantas por metais pesados e trazer efeitos negativos para características físicas e químicas do solo (MATOS e SEDIYAMA, 1996).

Uma das maiores preocupações que se têm em relação às águas subterrâneas é a sua contaminação com nitrato. Os riscos são maiores em regiões onde há altos índices pluviométricos ou há aplicação de excessivas lâminas de águas residuárias e o solo apresenta alta permeabilidade. OLIVEIRA (1993) detectou valores de concentração de nitrato 10 vezes superiores ao normal nas águas subterrâneas de uma área adubada com águas residuárias provenientes de pocilga ($160 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), durante vários anos. Em países de clima temperado, taxas de aplicação de nitrogênio inferiores a $400\text{-}430 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N tem sido recomendadas como seguras, do ponto de vista de contaminação de águas subterrâneas (King et al., 1985; Sutton et al., 1982, citados por WESTERMAN et al., 1987), porém, segundo BURNS et al. (1985), esses valores estão demasiadamente altos para solos arenosos.

A agricultura utiliza maior quantidade e pode tolerar águas de qualidade mais baixa que as requeridas pela indústria e para o uso doméstico. É, portanto, inevitável que exista crescente tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a eliminação de efluentes (AYERS e WESTCOT, 1991).

Em Israel, cerca de 80% dos esgotos sanitários são utilizados na produção agrícola, enquanto no México 90.000 ha, aproximadamente, são irrigados com a totalidade da contribuição de esgotos da cidade do México (MARA e CAIENCROSS, 1989).

A possibilidade de disposição de águas residuárias no solo depende, principalmente, da disponibilidade de terreno, do relevo, da localização da área e das condições de contorno e vizinhança. A topografia, a capacidade de infiltração do solo e a espessura agricultável condicionam o tipo de escoamento possível e a possibilidade de cultivo.

O Brasil oferece condições excepcionalmente favoráveis para a disposição de águas residuárias no solo, tanto pela disponibilidade de áreas em sua grande

extensão territorial como pelas condições climáticas adequadas, dentre outros fatores convenientes (ANDRADE NETO, 1997).

De acordo com o EPA (1981), o sistema de tratamento de efluentes por disposição no solo pode ser realizado por meio de vários métodos de aplicação, podendo-se citar três tipos principais: infiltração lenta, infiltração rápida e escoamento superficial.

2.5. Tratamento por escoamento superficial

Neste tipo de tratamento, a água residuária é filtrada e estabilizada ao escoar pela superfície do solo que contenha cobertura vegetal.

O crescimento da vegetação permitirá uma proteção ao solo contra a erosão e providenciará uma camada-suporte, na qual os microrganismos se estabelecerão. Essa vegetação, devido aos nutrientes produzidos e ao excesso de água, crescerá muito rapidamente, exigindo maior frequência de corte (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

No tratamento de águas residuárias por escoamento sobre o solo, estas são aplicadas, por aspersores ou tubulações perfuradas, em taxas superiores à capacidade de infiltração do solo, devendo escoar superficialmente até canais de coleta, posicionados ao final de rampas vegetadas. À medida que a água residuária escoar sobre o terreno, parte evapora e parte infiltra, sendo o restante (em solos de baixa permeabilidade, correspondendo a cerca de 50 a 60% do total aplicado) coletado em canais (BRAILE e CAVALCANTI, 1979). Durante o percurso, há depuração das águas residuárias por ação microbiológica, adsorção pelo solo e absorção pelas plantas.

O tratamento por escoamento superficial tem sido recomendado para terrenos que apresentem baixa permeabilidade, embora possa, também, ser usado em solos com maior porosidade (PAGANINI, 1997), ainda que, nesses casos, saiba-se que os riscos de contaminação das águas subterrâneas são maiores.

O escoamento nas rampas de tratamento deve ser o mais uniforme possível, a fim de evitar que, de um lado, a estagnação das águas residuárias

proporcione condições anaeróbias, com liberação de gases fétidos e proliferação de insetos e, de outro lado, que velocidades excessivas provoquem erosão e formação de caminhos preferenciais, diminuindo a eficiência do sistema.

O clima é, também, fator de influência na eficiência de tratamento de águas residuárias em sistemas de escoamento superficial. Parâmetros como variação da temperatura, precipitação anual, umidade e velocidade dos ventos têm efeito direto na qualidade da água que pode ser disposta em certa localidade, afetando também o potencial de desenvolvimento da cultura nesse local. As condições climáticas afetam a taxa de aplicação dos despejos e a capacidade de assimilação do solo (CORAUCCI FILHO, 1991).

2.5.1. Cobertura vegetal nas rampas de tratamento

Conforme PAGANINI (1997), a eficiência de um sistema de disposição controlada no solo depende de detalhes e cuidados construtivos, porém é o sistema solo-planta que confere ao tratamento o aspecto de renovação, que evita a exaustão do solo. A vegetação de cobertura desempenha papel importantíssimo, que é o de utilizar os elementos dispostos pelas águas residuárias por meio da retirada e da metabolização dos macro e microelementos necessários ao seu desenvolvimento.

As características mais desejáveis da cobertura vegetal para um sistema de escoamento superficial são perenidade, alta tolerância à umidade, crescimento rápido, elevada capacidade de extração de nutrientes, adaptação às condições de solo e clima locais (EPA, 1981), além de apresentar alguma importância econômica (PAGANINI, 1997).

Segundo o EPA (1981), uma densa cobertura vegetal é essencial para o bom desempenho do tratamento de águas residuárias por escoamento superficial, tendo, ainda, **as** seguintes funções:

- Proteção contra erosão: a vegetação funciona como obstáculo, reduzindo a velocidade do fluxo, além de prevenir a formação de caminhos preferenciais para a água residuária.

- Suporte para os microrganismos: o colo das plantas suporta a formação do filme biológico, cuja presença no meio é fundamental para a degradação do material orgânico aplicado.
- Absorção de nutrientes: a vegetação utiliza macro e micronutrientes para seu desenvolvimento, evitando seu acúmulo no solo e, conseqüentemente, o risco de salinização do solo e, ou, contaminação das águas subterrâneas.

CORAUCCI FILHO (1991) considerou que um dos aspectos mais importantes do projeto de um sistema de tratamento por escoamento sobre o solo seja a seleção do tipo de vegetação. Para ele, os fatores que influenciam essa seleção são: eficiência na remoção de nutrientes, adaptação às condições climáticas locais, tipo de solo e qualidade de água e tolerância da vegetação aos poluentes. Além disso, o ciclo da cultura deve coincidir com a época de geração da água residuária. Esse mesmo autor afirmou que as espécies vegetais variam bastante, no que se refere à tolerância a poluentes como boro, sais e ions específicos.

Em Populina, São Paulo, foram pesquisadas várias espécies para serem utilizadas como cobertura vegetal em sistemas de tratamento de esgotos domésticos pelo método do escoamento superficial, dentre as quais *Brachiaria humidicula*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria arrecta*, *Panicum repens*, *Tipha angustipholia* (taboa-biri) e *Brachiaria mutica*. A *Brachiaria humidicula*, além de atender aos requisitos básicos necessários, apresentou estande mais uniforme, excepcional resistência ao excesso de umidade e à poluição do solo, raízes profundas e facilidade de manuseio e obtenção (PAGANINI, 1997; ANDRADE NETO, 1997). A produtividade média durante o ano, em termos de biomassa, foi da ordem de $3,35 \text{ kg.m}^{-2}$ de matéria seca.

COURACCI FILHO (1991) conduziu um experimento em Batatais, SP, constituído por patamares de solo, cada um dos quais possuindo três rampas com dimensões de 3,7 m x 20 m, separadas por leiras de 0,40 m de largura na base e 0,25 m de altura e declividade de 2, 4 e 6%, onde foi cultivada *Brachiaria*

humidicula. A produção de biomassa foi significativamente maior, da ordem de 200%, nas rampas onde foi aplicado o esgoto doméstico, em relação às rampas de controle (irrigadas com Água). Nas diferentes rampas, a produção de biomassa foi, em média, 10% maior neste experimento do que a produção em campos de pastagem que sofreram manejo, calagem e adubação adequados.

TERADA (1985) recomendou, de forma genérica, o cultivo de *Brachiaria humidicula* em rampas de tratamento de esgotos domésticos pelo método do escoamento superficial. No entanto, ressaltou que diversos fatores envolvidos devem ser levados em consideração e que a espécie deve ter seleção específica para cada projeto.

STEFANUTTI et al. (1999) observaram o comportamento de duas espécies forrageiras, *Brachiaria humidicula* e Tifton 85 (*Cynodon* spp.), usadas como cobertura vegetal em rampas de tratamento. As rampas de 8 x 23 m e 3,5 x 21 m, com 4% de declividade, foram submetidas à aplicação de esgoto doméstico em taxas que variaram de 0,2 a 1,0 m³.h⁻¹.m⁻¹, durante 12 meses. Nesse período, as gramíneas forrageiras *Brachiaria* e Tifton 85 alcançaram produtividades acumuladas médias de 28.400 e 38.800 kg.ha⁻¹, remoções de 544,5 e 1.208 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N e de 56,5 e 97 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de P, respectivamente. Esses autores concluíram que o Tifton 85 mostrou-se mais eficiente na produção de matéria seca e na remoção de N e P, além de apresentar dominância total de espécies invasoras, maior número de cortes, melhor desenvolvimento em condição de elevada taxa de matéria orgânica, fechamento homogêneo e mais denso, boa adaptação a solos submetidos à umidade constante e recuperação mais rápida logo após o corte.

CORAUCCI FILHO (1991) usou a cultura do milho e a espécie Reed Canarygrass no tratamento de efluentes da indústria alimentícia, tendo observado efeitos positivos no desenvolvimento dessas plantas.

QUEIROZ (2000) conduziu experimento para avaliar a capacidade de absorção de nutrientes, a produtividade e a composição bromatológica de quatro gramíneas forrageiras: *Brachiaria humidicula*, *Brachiaria decumbens*, capim-coastcross e capim-tifton 85, usados como cobertura vegetal para rampas de

tratamento de águas residuárias de suinocultura pelo método do escoamento superficial. Para tal, foram utilizadas rampas de 2 x 2 m, com 5% de declividade, que receberam **taxas** de aplicação de águas residuárias equivalentes a 800 kg.ha⁻¹.d⁻¹ de DBO₅, durante quatro meses. Esse autor concluiu que o **pim-tiRon 85** mostrou-se mais adequado para cultivo em rampas de tratamento de águas residuárias de suinocultura devido à sua alta produtividade acumulada (17,8 t.ha⁻¹), conteúdo de proteína bruta, capacidade de extração de nutrientes, rápida recuperação após o corte, boa cobertura e reduzido número de plantas vasculares.

Além do tratamento em si e da remoção de nutrientes, a biomassa produzida em rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento sobre o solo pode e deve ser utilizada para alimentação animal, necessitando, nos casos em que se usa esgoto doméstico, de procedimentos zootécnicos para adequar o material ao consumo animal. **PAGANINI (1997)** relatou que a biomassa produzida em estação de tratamento de esgoto foi utilizada como alimentação animal, durante seis anos, sendo esses animais submetidos a exames clínicos veterinários e à contagem de **ovos** de parasitas em suas fezes periodicamente. Pelos resultados dos exames, concluiu-se que **os** animais permaneceram em boas condições de alimentação e a contagem de **ovos** de parasitas permaneceu em níveis satisfatórios.

6. Gramíneas forrageiras

A grande maioria das forrageiras está incluída em duas importantes famílias botânicas: gramíneas e leguminosas. A família das gramíneas é muito numerosa, e nela estão incluídos capins e gramas, muito utilizados na forma de pastagens, fenos ou outros. **As** plantas forrageiras podem, ainda, ser classificadas em hibernais e estivais.

A estacionalidade da produção de forragem, reconhecida como um dos principais fatores responsáveis pelos baixos índices de produtividade da pecuária nacional, é uma realidade da qual não se pode fugir. Em quase todas as regiões

onde a exploração pecuária se faz presente, a alimentação do rebanho na época seca é motivo de preocupação, visto que, nesse período, as forrageiras, tendo completado seu ciclo de vida, cessam o crescimento, secam e se tornam pouco produtivas e apetecíveis aos animais.

Segundo ANDRADE (1992), os rebanhos mantidos somente a pasto perdem peso, o desenvolvimento dos animais em crescimento fica prejudicado e a produção de leite cai. Isso porque cerca de 80% da produção do pasto ocorre no verão e apenas 20% no inverno, entretanto o gado necessita de alimentação uniforme em igual quantidade e qualidade durante todo o ano, para crescimento, manutenção e produção de leite ou carne. É necessário, portanto, recorrer a outros meios de produção de alimento para o gado durante o período seco.

Várias são as técnicas disponíveis e utilizadas para solucionar esse problema, entretanto elas devem ser coerentes com o nível de exploração pecuária. A conservação de forragem ou o uso de culturas de inverno têm sido destacados como técnicas capazes de possibilitar a exploração da elevada produtividade das pastagens tropicais, principalmente quando adotadas simultaneamente (PEREIRA, 1991).

GOMES e REIS (1999) afirmaram que, nos sistemas de produção de rebanhos bovinos, o manejo alimentar pressupõe o conhecimento das necessidades nutricionais dos animais nas diversas fases do processo produtivo, bem como da disponibilidade e do valor nutritivo dos alimentos. No entanto, esses autores ressaltaram que condições de clima, solo e manejo determinam a produção quantitativa, estacional e qualitativa das plantas forrageiras, sendo necessário, então, o conhecimento de seus comportamentos produtivos em cada região, para que se possam planejar a produção e a utilização de alimentos volumosos.

De maneira geral, as plantas forrageiras apresentam rendimentos de matéria seca crescentes com a idade, enquanto diminuem seus índices de qualidade nutricional. Entretanto, MESQUITA e PINTO (2000) acreditam que produções elevadas de matéria seca com teores protéicos satisfatórios somente

são obtidas com níveis adequados de fertilidade do solo e práticas culturais corretas.

O valor nutritivo da forragem depende também do seu conteúdo relativo de proteína. O teor de proteína bruta, além de ser indicador quantitativo deste componente nutricional, também está relacionado à digestibilidade das forragens (Van Soest, 1995, citado por GOMES e REIS, 1999). Além disso, a frequência de corte influencia a produção quantitativa e qualitativa de espécies forrageiras durante seus ciclos de crescimento, mantendo relação inversa com o rendimento de matéria seca e direta com o conteúdo relativo de proteína bruta (GOMES e REIS, 1999).

O conteúdo mínimo de proteína bruta na matéria seca exigido por bovinos de corte está na faixa de 7 a 11 dag.kg⁻¹ para animais adultos e jovens, respectivamente (NRC, 1984).

2.6.1. Forrageiras hibernais

No caso de águas residuárias provenientes de agroindústrias que utilizam matéria-prima de produção sazonal, pode-se optar por uma vegetação que possua ciclo vegetativo coincidente com a atividade da agroindústria. Uma das vantagens de se utilizar uma cultura que satisfaça essa condição é que, geralmente, este tipo de vegetação tem capacidade de absorver maior quantidade de nutrientes do solo nesse período, devido ao seu requerimento nutricional, possibilitando, também, maior retorno financeiro ao produtor. Para a composição de rampas de tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, que são produzidas no período de inverno, deve-se optar por espécies de maior crescimento nessa estação.

As forrageiras de clima temperado apresentam, geralmente, talos finos e folhagem tenra, que devem ser semeadas no outono e ceifadas durante o inverno ou primavera, embora se saiba que, por ocasião do florescimento, o material apresenta menor valor nutritivo. No Brasil central, algumas gramíneas hibernais são conhecidas como forrageiras de inverno por produzirem grandes quantidades

de massa verde, de excelente palatabilidade e valor nutritivo, num período em que as forrageiras tropicais cessam seu crescimento, tornando-se fibrosas e rejeitadas pelos animais (PUPO, 1979).

As forrageiras de inverno estão adaptadas às condições de clima frio, portanto têm condições de produzir massa verde de ótima qualidade, em abundância, justamente no período de maior escassez de pastos (ANDRADE, 1992).

A utilização de forrageiras de inverno na alimentação de bovinos apresenta inúmeras vantagens, podendo-se citar, entre elas, a distribuição uniforme da produção de leite ao longo de todo o ano, redução do uso de concentrados, resistência às baixas temperaturas e produção de massa verde de ótima qualidade (ALVIM, 1989; ANDRADE, 1992). Dentre as várias forrageiras de inverno que podem ser cultivadas, com o objetivo de amenizar a deficiência alimentar de bovinos de criação extensiva, estão a aveia e o azevém.

2.6.1.1. Aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb)

Originária da Ásia e Europa, a aveia apresenta grande número de cultivares. Existem variedades de aveia perenes e anuais, no entanto todas as variedades cultivadas são anuais. No Brasil, as principais espécies cultivadas são *Avena sativa* L., branca; *Avena byzantina* C. Koch, amarela; e *Avena strigosa* Schreb, preta (FLOSS, 1998).

A variedade de aveia mais recomendada como forrageira é a aveia-preta, em vista de sua precocidade, abundante aphilamento, colmos finos, macios e flexíveis, resistência às doenças e relativa tolerância a solos ácidos (EVANGELISTA e LIMA, 2000), além de apresentar ótima palatabilidade e alta produtividade (PUPO, 1979).

A aveia-preta encontra-se adaptada às regiões de clima temperado ou subtropical, sendo cultivada em até 1.300 m acima do nível do mar. Caracteriza-se pela rusticidade, adaptando-se aos mais variados tipos de solo, embora se desenvolvam melhor naqueles que contenham altos teores de matéria orgânica,

permeáveis, férteis e bem-drenados, não suportando terrenos encharcados (ANDRADE, 1992; FONSECA, 1997).

Quando o objetivo for produção de forragem, a semeadura da aveia deve ocorrer entre os meses de março a maio, devendo ser realizada, preferencialmente, em linha para garantir uniforme distribuição e profundidade das sementes, maior eficiência na utilização de fertilizantes e melhor cobertura das sementes. O espaçamento deve estar entre 0,17 e 0,30 m entre linhas, utilizando-se 80 kg.ha⁻¹ de sementes, colocadas entre 0,02 e 0,05 m abaixo da superfície do solo, segundo RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO SULBRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA (1991), EVANGELISTA e LIMA (2000), ALVIM (1989) e PUPO (1979).

O potencial de rendimento forrageiro da aveia varia em função da espécie utilizada, fertilidade do solo, época de semeadura, disponibilidade de água e regime de cortes (FLOSS, 1998).

As variedades de aveia-preta apresentam crescimento inicial rápido com elevadas produções no primeiro corte, porém sofrem grande diminuição de rendimento nos cortes subsequentes. O primeiro corte deve ocorrer 40 a 60 dias após a germinação quando a planta atingir 0,50 m de altura e deve ser feito de 0,05 a 0,10 m da superfície do solo. O segundo corte deve ser feito 30 a 50 dias após o primeiro. O corte muito prematuro deverá proporcionar menor produção de massa verde, mas com maior valor nutritivo, enquanto o corte mais tardio deverá proporcionar maior produção de massa verde, com menor valor nutritivo (ANDRADE, 1992). Segundo ALVIM (1989), o teor protéico da aveia submetida a cortes periódicos é de 18 a 20% na matéria seca.

No Mato Grosso do Sul, Martinez e Costa (1988), citados por PEREIRA (1991), verificaram que as maiores produções de aveia-preta (5,49 e 4,92 t.ha⁻¹ de matéria seca) ocorreram quando os cortes foram efetuados em plantas com 45 e 55 cm de altura, respectivamente. Além disso, a percentagem média de proteína bruta também foi diferente, sendo observados valores de 34,66; 29,60; e 25,45% das respectivas idades. Em ensaio conduzido no Rio Grande do Sul foram obtidos rendimentos de massa verde e matéria seca de 61.520 e 8.322 kg.ha⁻¹,

respectivamente, para aveia-preta comum, em dois cortes (FLOSS, 1998). Na Estação Experimental da Embrapa, em Pelotas, RS, GOMES e REIS (1999) avaliaram *Avena strigosa* Schreb cv. IAPAR-61 Ibirorã, cultivada no período de 1994 a 1996, encontrando RMS de 3.427, 6.803 e 4.057 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e teores médios de proteína bruta de 14,7; 17,8; e 20,1%, nos anos de 1994, 1995 e 1996, respectivamente. Os cortes foram efetuados a cada 28 dias, sendo o primeiro realizado 60 dias após a emergência. Eles destacaram o alto potencial de rendimento da matéria seca e o valor nutricional, em termos de conteúdos de proteína bruta da espécie.

2.6.1.2. Azevém (*Lolium multiflorum* Lam.)

O azevém é uma planta originária da Bacia do Mediterrâneo, cultivada em todos os países do mundo onde as condições climáticas permitem. A gramínea se adapta ao clima subtropical, entretanto, nos climas temperado e temperado-frio, encontra as melhores condições para seu desenvolvimento, apresentando, inclusive, grande resistência às geadas (FONSECA, 1997). A temperatura ótima para seu cultivo está próxima a 18-20 °C (FLOSS, 1998). No Brasil, essa espécie adapta-se bem às condições edafoclimáticas do Estado de Goiás até o Estado do Rio Grande do Sul, apresentando significativas produções de forragem.

O azevém adapta-se melhor a solos argilosos, férteis e úmidos, obtendo, nessas condições, grandes rendimentos (PUPO, 1979); entretanto, não tolera condições de baixa oxigenação.

A semeadura do azevém deve ser realizada de março a maio, utilizando-se, para isso, de 25 a 40 kg.ha⁻¹ de sementes. Recomenda-se a semeadura em sulcos rasos, com espaçamento de 25 a 30 cm, devido ao reduzido tamanho das sementes (EVANGELISTA e LIMA, 2000). O azevém apresenta ciclo vegetativo longo, o que possibilita até quatro cortes de massa verde (ALVIM, 1989).

GOMES e REIS (1999) obtiveram rendimentos médios anuais de matéria seca de 2.855, 5.686 e 4.652 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e teores médios de proteína bruta de 13,5; 16,6; e 16,9%, nos anos de 1994, 1995 e 1996, respectivamente, para a

cultura do azevém-comum – *Lolium multiflorum* Lam cv. **Comum**. O plantio do azevém foi feito com espaçamento de 0,20 m entre fileiras de plantas, tendo sido efetuados cortes a cada 28 dias, sendo o primeiro realizado 60 dias após a emergência. Os referidos autores destacaram o alto valor potencial de rendimento da matéria seca e o alto valor nutricional, em termos de conteúdos relativos, de proteína bruta da gramínea em questão.

ALVIM e MARTINS (1986) estudaram, em Coronel Pacheco, MG, a possibilidade do cultivo associado da aveia e do azevém em condições de corte. Esses autores registraram produções de 5.000 e 7.000 kg.ha⁻¹ de matéria seca de aveia e azevém, respectivamente, concluindo não ser vantajosa a mistura entre essas duas gramíneas.

Segundo FLOSS (1998), na produção leiteira, o azevém pode ter importante contribuição no período de inverno, podendo-se obter aumentos de produção com custos mais baixos.

2.6.2.Forageiras estivais

As forrageiras estivais, também chamadas de estivooutonais, são forrageiras de ciclo anual ou perene que, se semeadas na primavera, dão cortes no verão e no outono. Essas forrageiras são caracterizadas por serem mais adaptadas às condições de clima tropical e apresentarem grande crescimento, colmos grossos e folhas largas.

Dentre as forrageiras estivais, o milho tem sido muito utilizado na produção de silagem para alimentação do gado em períodos de menor disponibilidade de pasto.

2.6.2.1.Milho (*Pennisetum americanum* L.)

O milho é uma espécie anual de verão originária da África e adaptada às condições climáticas tropicais e subtropicais. Planta rústica, possui grande

resistência à seca, requerendo **solos** leves e bem drenados e não tolerando os pesados ou muito úmidos (MORAES, 1995).

Quando cortado corretamente, pode produzir folhagem em abundância, muito tenra, nutritiva e palatável (PUPO, 1979). Segundo PEREIRA (1991), o milho tem se destacado como forrageira promissora para alimentação de rebanhos, devido ao seu grande potencial para produção de forragem e à capacidade de manter seu crescimento e qualidade por longo período. O milho, espécie anual de verão que apresenta bom desempenho no período de outono/inverno, é uma gramínea indicada tanto para o pastejo quanto para o corte ou para a fenação e ensilagem.

Na semeadura, o espaçamento adotado pode ser de 0,2 a 0,4 m entre linhas de plantio, sendo necessários cerca de 15 kg.ha⁻¹ de sementes. As sementes devem ser colocadas a uma profundidade de 0,03 a 0,04 m e compactadas com o intuito de melhorar o contato com o solo (EVANGELISTA e LIMA, 1999).

Em experimento conduzido por PEREIRA (1991), milho, sorgo e aveia-preta foram plantados em duas épocas distintas. O primeiro plantio foi realizado em 29/03/88 e o segundo, em 25/04/88. A primeira data de plantio condicionou o período de crescimento das culturas à época de temperaturas mais elevadas, enquanto a segunda proporcionou período de crescimento coincidente com época mais fria do ano. No que se refere ao rendimento forrageiro, o milho mostrou-se superior (8,4 t.ha⁻¹) à aveia (4,3 t.ha⁻¹) e ao sorgo (4,8 t.ha⁻¹), na primeira época de plantio, revelando-se uma gramínea de grande potencial para a produção de forragem em temperaturas mais amenas. No segundo plantio, o rendimento forrageiro da aveia (15,5 t.ha⁻¹) foi maior que o do milho (8,6 t.ha⁻¹), indicando ser a aveia mais adaptada às condições de baixa temperatura do que o milho. Os teores de proteína bruta na matéria seca do milho (10,8%) e da aveia (11,0%) não diferiram, estatisticamente, entre si.

MESQUITA e PINTO (2000), conduzindo experimento de campo para avaliar o efeito de doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 kg.ha⁻¹) e de métodos de semeadura (a lanço, 0,40; 0,80; e 1,20 m entre linhas) sobre o rendimento de matéria seca (RMS), bem como os teores de proteína bruta (PB) e dos minerais

P, K, Ca e Mg do material pós-colheita de sementes de milho, concluíram que as doses crescentes de N influenciaram no RMS, rendimento de proteína bruta (RPB) e teor de Mg na matéria seca da forragem, porém as respostas variaram conforme o método de semeadura. Maiores RMS (**9.352 kg.ha⁻¹**) foram observados no método de semeadura com 0,40 m entre linhas. O maior RMS (8.872 kg.ha⁻¹) foi obtido com a dose de 120 kg.ha⁻¹ de N e o maior RPB (688,8 kg.ha⁻¹), com a dose de 180 kg.ha⁻¹ de N. No método de semeadura com 0,80 m entre linhas, os teores de Mg na MS de milho aumentaram, de forma quadrática, em resposta às doses de N, enquanto no método da semeadura com 1,20 m entre linhas a concentração do mineral aumentou linearmente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental, preparo do terreno e implantação do experimento

O experimento foi implantado e conduzido em uma área de aproximadamente 350 m², pertencente à Fazenda Laje, localizada no município de Viçosa, MG, situado na Zona da Mata mineira, a 689,73 m de altitude, em longitude de 42° 52' 40" W (Grw) e latitude de 20° 45' 20" S.

Para implantação do experimento, o terreno da área experimental foi sistematizado, a fim de garantir uma declividade de 5% em toda a área. Após a sistematização, o solo foi preparado com uma grade destorroadora-niveladora em "tandem", a uma profundidade de 0,20 m. Em seguida, foram delimitadas 24 parcelas de 6 m² (3 x 2 m) cada. A declividade foi, então, verificada com o auxílio de nível de pedreiro em cada parcela, recebendo ajustes manuais, quando necessário. As parcelas experimentais foram separadas por ruas de 1,0 m de largura, onde foram construídos drenos superficiais para posterior captação e condução do efluente das parcelas para fora da área experimental. Por ocasião da instalação do experimento, foram coletadas amostras simples de solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, com o auxílio de um trado tipo holandês, em diferentes pontos da área experimental, formando-se amostras compostas, a fim de caracterizar física e quimicamente o solo local.

A análise física limitou-se à análise granulométrica, sendo realizada segundo o método da pipeta (EMBRAPA, 1997), e à classificação textural, definida com base nos critérios da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS, estando os resultados apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Análise granulométrica e classificação textural da camada de 0 a 0,20 m do solo proveniente da área experimental ^{1/}

Características Físicas	
Areia grossa (dag·kg ⁻¹)	19
Areia fina (dag·kg ⁻¹)	08
Silte (dag·kg ⁻¹)	47
Argila (dag·kg ⁻¹)	26
Classificação textural	Franco

^{1/} Análises realizadas no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda.

As análises químicas e físico-químicas constituíram-se na determinação do pH em água, com o uso de potenciômetro; acidez potencial (H + Al), por titulometria; P disponível, por colorimetria; K trocável, por fotometria de chama; Ca e Mg trocáveis por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 1997). A soma de bases trocáveis e o índice de saturação de bases foram obtidos por cálculo e a CTC, pelo método da soma de bases trocáveis. Os resultados estão apresentados no Quadro 4.

Na Figura 1 é mostrada uma vista geral da área experimental. As espécies forrageiras cultivadas foram o azevém (*Lolium multiflorum* L.), a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e o milheto (*Pennisetum americanum* L.). Quanto à qualidade da água, foram aplicadas durante o cultivo das forrageiras água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC) e água da rede de abastecimento (AA) da propriedade agrícola.

Quadro 4 – Características químicas e físico-químicas do solo na camada de 0 a 0,20 m em cada bloco da área experimental

Características	Blocos				^{9/} Média
	1	2	3	4	
^{1/} pH	5,8	6,4	6,6	6,7	6,4
^{2/} P (mg·dm ⁻³)	6,5	41,1	118,0	149,1	78,7
^{2/} K (mg·dm ⁻³)	108	130	172	197	151,8
^{3/} Ca ²⁺ (cmol _c ·dm ⁻³)	1,4	2,8	4,5	4,6	3,3
^{3/} Mg ²⁺ (cmol _c ·dm ⁻³)	0,4	0,6	0,9	0,9	0,7
^{4/} (H+Al) (cmol _c ·dm ⁻³)	1,8	1,3	1,8	1,5	1,6
^{5/} SB (cmol _c ·dm ⁻³)	2,08	3,73	5,84	6,00	4,41
^{6/} CTC _e (cmol _c ·dm ⁻³)	2,08	3,73	5,84	6,00	4,41
^{7/} CTC _T (cmol _c ·dm ⁻³)	3,88	5,03	7,64	7,50	6,01
^{8/} V (%)	54	74	76	80	71

^{1/} pH em água, relação 1:2,5.

^{2/} Extrator de Mehlich 1.

^{3/} Extrator: KCl – 1 mol·L⁻¹.

^{4/} Extrator acetato de cálcio 0,5 mol·L⁻¹.

^{5/} Soma de bases trocáveis.

^{6/} Capacidade de troca catiônica efetiva.

^{7/} Capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

^{8/} Índice de saturação de bases.

^{9/} Valor médio para os blocos 1, 2, 3 e 4.



Figura 1 – Vista das parcelas experimentais.

As forrageiras semeadas e o tipo de água aplicada em cada uma das parcelas experimentais foram definidos aleatoriamente, estando o esquema de distribuição das parcelas experimentais no campo apresentado na Figura 2.

Em 05/05/2000, as forrageiras foram semeadas em sulcos, de aproximadamente 0,05 m de profundidade, transversais à direção da declividade do terreno e espaçados 0,20 m entre si. As densidades de plantio utilizadas foram de 80 kg.ha⁻¹ para a aveia-preta, 30 kg.ha⁻¹ para o azevém e 15 kg.ha⁻¹ para o milho. Por ocasião do plantio, o solo de todas as parcelas experimentais não recebeu qualquer tipo de adubação.

Aos 28 dias após a semeadura (02/06/00), as parcelas destinadas a receber **AA**, e somente estas, foram adubadas com 40 kg.ha⁻¹ de K₂O e 40 kg.ha⁻¹ de N, nas formas de cloreto de potássio e uréia, respectivamente.

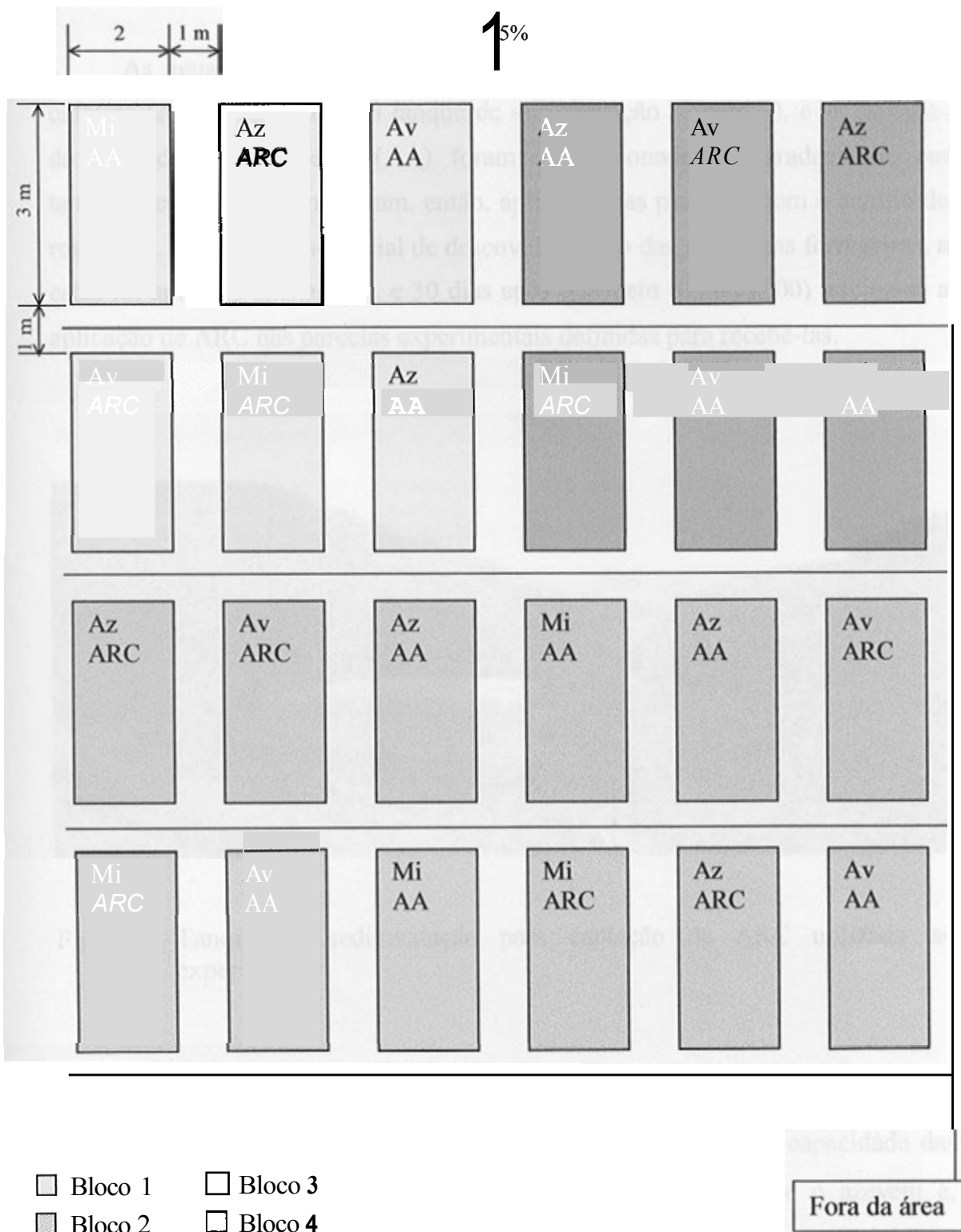


Figura 2 – Esquema de distribuição das parcelas na área experimental.

3.2. Condução do experimento

3.2.1. Aplicação da água nas parcelas experimentais

As águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC), coletadas em tanque de sedimentação (Figura 3), e as captaias da rede de abastecimento (AA) foram acondicionadas, separadamente, em tanques de 500 L, de onde eram, então, aplicadas nas parcelas, com o auxílio de regadores. Durante a fase inicial de desenvolvimento das gramíneas forrageiras, a estas foi aplicado apenas AA, e 30 dias após o semeio (05/06/2000) iniciou-se a aplicação de ARC nas parcelas experimentais definidas para recebê-las.



Figura 3 – Tanque de sedimentação para captação da ARC utilizada no experimento.

Inicialmente, aplicou-se ARC durante três semanas, numa taxa de $750 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ de DBO_5 , a fim de se fazer uma avaliação da capacidade das forrageiras a essa taxa de aplicação. Como foi verificado que o azevém e, principalmente, a aveia-preta começaram a apresentar sinais de toxicidade, optou-se por reduzir a carga orgânica aplicada e, conseqüentemente, a quantidade de sais e outras substâncias tóxicas aplicadas ao solo por meio dessa água.

A ARC, além da elevada concentração salina, especialmente de amônio, apresenta em sua constituição cafeína, taninos e polifenóis (SOCCOL et al., 2000), compostos possivelmente tóxicos às plantas. Após esse período inicial, a ARC passou a ser aplicada em taxa equivalente a $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ de DBO_5 .

A aplicação da ARC e **AA** nas parcelas ocorreu apenas nos dias úteis, aplicando-se o mesmo volume em ambas as parcelas. Como a determinação da DBO_5 não pode ser realizada rápida e imediatamente, o controle da DBO_5 da ARC foi baseado em estimativa obtida a partir de cálculos efetuados, utilizando-se a equação matemática que relacionou condutividade elétrica e DBO_5 da ARC:

$$\text{DBO}_5 = 3,5447(\text{CE})^{0,9847} \quad R^2 = 0,9871 \quad (1)$$

em que

DBO_5 = demanda bioquímica de oxigênio da ARC determinada após cinco dias de incubação à temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; e

CE = condutividade elétrica da ARC, $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Durante todo o período de experimentação, a condutividade elétrica da água residuária foi medida, diariamente, com o auxílio de um condutivímetro YSI Model 85 (Figura 4). No Quadro 5 estão apresentadas as semanas de aplicação de água residuária durante o período experimental, com as respectivas taxas de DBO_5 aplicadas.



Figura 4 – Condutivímetro usado para determinação diária da condutividade elétrica da ARC durante o período experimental.

Quadro 5 – Semanas de aplicação da água residuária proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC) nas parcelas experimentais e taxas aplicadas

Semana	Período de Referência	Taxa Aplicada (kg.ha ⁻¹ .d ⁻¹ de DBO ₅)
1	05/06/00 a 09/06/00	750
2	12/06/00 a 16/06/00	750
3	19/06/00 a 23/06/00	750
4 ^{1/}	26/06/00 a 30/07/00	—
5	03/07/00 a 07/07/00	250
6	10/07/00 a 14/07/00	250
7	17/07/00 a 21/07/00	250
8	24/07/00 a 28/07/00	250
9	31/07/00 a 04/08/00	250
10	07/08/00 a 11/08/00	250
11	14/08/00 a 18/08/00	250
12	21/08/00 a 25/08/00	250
13	28/08/00 a 01/09/00	250
14	04/09/00 a 08/09/00	250
15	11/09/00 a 15/09/00	250
16	18/09/00 a 22/09/00	250
17	25/09/00 a 29/09/00	250

^{1/} Não foi aplicada ARC em nenhuma parcela experimental destinada a recebê-la.

Figura 5 - Corte da área útil de uma das parcelas experimentais.

Quinzenalmente, foram coletadas amostras da ARC, que eram conduzidas e analisadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola. As análises de DBO_5 , com determinação da concentração de oxigênio dissolvido pelo método iodométrico, e DQO, determinada segundo o método do refluxo aberto, foram executadas de acordo com a metodologia apresentada pela APHA (1995). Para a análise de fósforo (ortofosfato), nitrato e amônio, foi utilizado o método colorimétrico (EMBRAPA, 1997). O potássio foi determinado por fotometria de chama, enquanto o cálcio, o magnésio e a dureza total o foram por titulometria (APHA, 1995; EMBRAPA, 1997).

3.2.2. Cortes e análises das gramíneas forrageiras

O material vegetal foi colhido a aproximadamente 0,08 m da superfície do solo, em área útil de 2 m^2 , após a eliminação de 0,50 m nas laterais e nas extremidades das parcelas (Figura 5), com o auxílio de um cutelo.



Figura 5 – Corte da área útil de uma das parcelas experimentais.

O número de cortes variou entre as gramíneas forrageiras, efetuando-se três, dois e um corte para azevém, milho e aveia-preta, respectivamente (Quadro 6). Na ocasião dos cortes, determinou-se a altura média da forrageira na parcela experimental. Para isso, foram tomados cinco pontos por parcela (quatro nas extremidades e um no centro), fazendo-se uso de uma régua graduada.

Quadro 6 – Idade, altura média e data de corte das gramíneas forrageiras

Gramínea Forrageira	Água Aplicada ^{1/}	Idade ^{2/} (dias)	Altura Média (m)	Corte (número)	Data do Corte
Aveia-preta	AA	68	0,83	1	12/07/00
Aveia-preta	ARC	68	0,72	1	12/07/00
Azevém	AA	68	0,55	1	12/07/00
Azevém	ARC	68	0,39	1	12/07/00
Azevém	AA	42	0,75	2	23/08/00
Azevém	ARC	42	0,62	2	23/08/00
Azevém	AA	40	0,77	3	02/10/00
Azevém	ARC	40	0,80	3	02/10/00
Milho	AA	110	1,08	1	23/08/00
Milho	ARC	110	0,92	1	23/08/00
Milho	AA	40	0,93	2	02/10/00
Milho	ARC	40	1,15	2	02/10/00

^{1/} AA = água proveniente da rede de abastecimento local e ARC = água proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro.

^{2/} Idade entre cortes sucessivos.

Após cada corte, foram realizadas novas adubações nas parcelas-testemunhas (onde era feita a aplicação de AA), repetindo-se a mesma dosagem utilizada na primeira adubação, ou seja, 40 kg.ha⁻¹ de K₂O e 40 kg.ha⁻¹ de N, nas formas de cloreto de potássio e uréia, respectivamente.

Por ocasião dos cortes, cada parcela teve sua biomassa recolhida e pesada, no próprio local do experimento, por meio de balança tipo dinamômetro (Figura 6), para determinação da massa verde. Em seguida, foram separadas e encaminhadas, imediatamente, ao Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV três amostras de aproximadamente 300 g do material de cada parcela experimental, para realização da pré-secagem. No laboratório, as amostras foram pesadas em balança digital e, depois, colocadas em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65 °C, por um período de 72 horas, para secagem. Em seguida, procedeu-se à pesagem e moagem desse material em moinho tipo Willey, usando peneiras de 30 mesh de malha e guardando as amostras em recipientes de vidro para análises posteriores. Aproximadamente, 3 g de cada amostra moída foi secada em estufa a 105 °C, a fim de se corrigir o conteúdo de matéria seca.

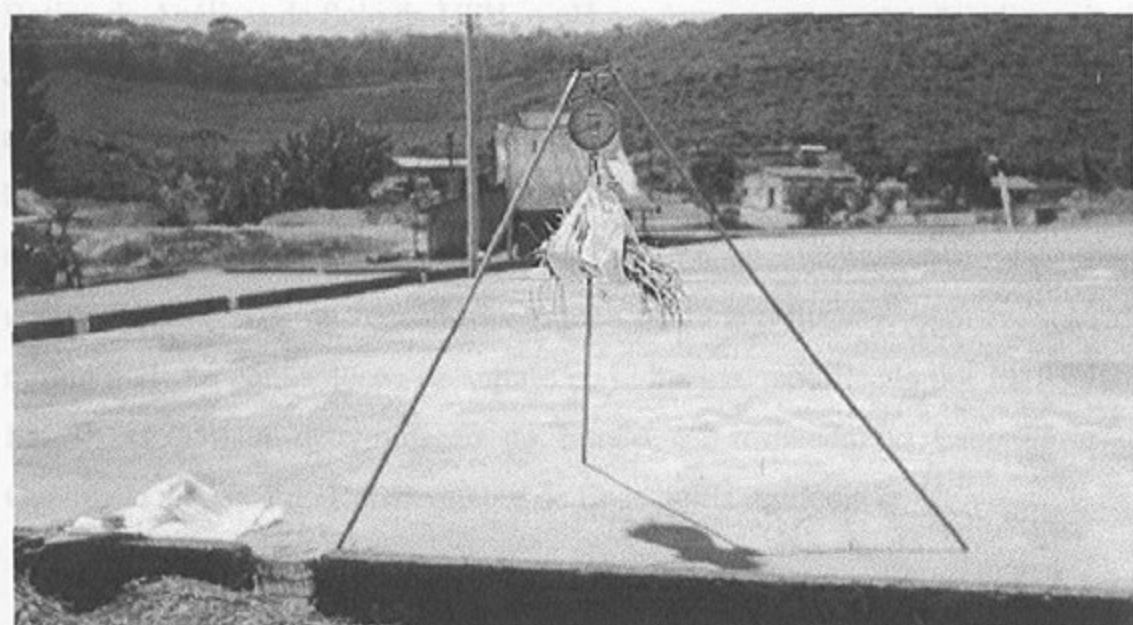


Figura 6 – Balança tipo dinamômetro utilizada para pesagem da biomassa das gramíneas forrageiras.

O nitrogênio total foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl, usando-se o fator de conversão de N para proteína bruta de 6,25 (SILVA, 1998). Para análise dos demais nutrientes, as amostras foram mineralizadas por via úmida e digestão nítrico-perclórica, ao passo que as soluções, devidamente diluídas, tiveram **suas** concentrações de P determinadas por colorimetria, K e Na por espectrofotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, segundo as técnicas descritas por SILVA (1998).

3.3. Caracterização do solo após o período de cultivo das gramíneas forrageiras

Após o término do experimento, em todas as parcelas experimentais foram feitas coletas de amostras de solo, a fim de se investigarem os possíveis efeitos da aplicação da água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro nas características químicas do solo.

Foram coletadas amostras de solo às profundidades de 0 a 0,10; 0,10 a 0,20; 0,20 a 0,40; 0,40 a 0,60; 0,60 a 0,80; e 0,80 a 1,00 m. Nas amostras coletadas de 0 a 0,10 e de 0,10 a 0,20 m, foram determinados, no Laboratório de Rotina de Análises de Solo da UFV, o pH em água, as concentrações disponíveis de P, as concentrações trocáveis de K, Ca e Mg e a acidez potencial ($H^+ + Al$), além da determinação da soma de bases trocáveis, do índice de saturação de bases e da CTC, usando-se metodologia citada anteriormente. Nas amostras coletadas em todas as profundidades, foi determinada a concentração de nitrato, utilizando-se o método baseado na reação de Griess-Ilosvay, com redução do nitrato a nitrito com solução de sulfato de hidrazina, modificado por MULLIN e RILEY (1955). A determinação do nitrato foi realizada no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

3.4. Dados climatológicos do período de experimentação

Durante o período de experimentação, foram monitoradas algumas variáveis meteorológicas. **As** temperaturas médias diárias máxima e mínima foram de 25,2 e 9,7 °C, respectivamente. **A** umidade relativa média diária do ar variou de 74 a 100%, enquanto a precipitação total ocorrida nesse período foi de 195,4 mm.

No Quadro 7, encontram-se os dados referentes às condições climáticas média semanais de temperaturas máxima e mínima e umidade relativa, além dos totais semanais de precipitação pluvial coletados em Estação Meteorológica Automática, instalada na Fazenda Laje.

3.5. Delineamento experimental e análise estatística dos dados

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, num arranjo fatorial 3 x 2 (três espécies forrageiras e duas qualidades de água), com quatro repetições. **As** forrageiras semeadas e o tipo de água a ser aplicada em cada uma das parcelas experimentais foram definidos, dentro de cada bloco, aleatoriamente.

Para análise estatística dos dados de rendimento forrageiro e remoção acumulada de nutrientes pelas forrageiras, foi usado um esquema fatorial 3 x 2, com três forrageiras e duas qualidades de água, com quatro repetições. Para a análise estatística da concentração de nutrientes no solo, o experimento foi arranjado num esquema fatorial 3 x 2 x 2, com três gramíneas forrageiras, duas qualidades de água e duas profundidades de solo. Para a análise da composição bromatológica, o experimento foi arranjado em parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pelo esquema fatorial 2 x 2 (duas gramíneas forrageiras e duas qualidades de água aplicada) e as subparcelas constituídas pelos cortes, em número de dois.

Quadro 7 – Médias semanais de temperatura média do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) e totais semanais de precipitação (P) na Fazenda Laje, em Viçosa, MG, durante o período experimental

Período de Experimentação	T (°C)	UR (%)	P (mm)
30/04/00 a 06/05/00	19,8	92,0	0,8
07/05/00 a 13/05/00	18,0	89,9	0,6
14/05/00 a 20/05/00	16,6	88,1	1,4
21/05/00 a 27/05/00	15,8	89,4	0,8
28/05/00 a 03/06/00	18,1	91,9	27,4
04/06/00 a 10/06/00	15,5	89,7	0,8
11/06/00 a 17/06/00	16,3	91,0	1,6
18/06/00 a 24/06/00	15,7	87,1	1,2
25/06/00 a 01/07/00	16,0	84,6	1,2
02/07/00 a 08/07/00	16,1	90,7	1,2
09/07/00 a 15/07/00	16,6	93,7	1,6
16/07/00 a 22/07/00	14,3	89,3	13,6
23/07/00 a 29/07/00	15,9	92,3	1,8
30/07/00 a 05/08/00	15,1	87,7	7,4
06/08/00 a 12/08/00	16,3	82,1	0,6
06/08/00 a 12/08/00	15,9	83,3	3,6
13/08/00 a 19/08/00	18,3	81,6	0,4
27/08/00 a 02/09/00	19,6	91,1	49,4
03/09/00 a 09/09/00	16,2	96,3	38,4
10/09/00 a 16/09/00	19,6	88,9	0,2
17/09/00 a 23/09/00	20,5	86,1	1,0
24/09/00 a 30/09/00	17,8	88,1	28,0
01/09/00 a 07/10/00	22,0	85,4	13,2

Dados coletados em Estação Meteorológica automática instalada na localidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das características físicas e químicas da água residuária proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro para uso em rampas de escoamento superficial

A concentração total de sais da água pode ser determinada por medição da sua condutividade elétrica, que é normalmente usada para indicar os constituintes iônicos totais da água, estando estreitamente relacionada à soma de cátions, ou ânions, determinados quimicamente, e aos sólidos dissolvidos. Esta medida é comumente utilizada para avaliar o risco de salinização dos solos devido à qualidade da água empregada na irrigação das culturas.

No Quadro 8 estão apresentados os dados de condutividade elétrica (CE) média semanal da ARC aplicada nas parcelas experimentais durante o período de condução do experimento, bem como sua classificação, em função de sua CE, elaborada de acordo com o "United State Salinity Laboratory", em 1954 (FAO/UNESCO, 1973).

Os valores apresentados no Quadro 8 caracterizam a ARC como de classificação C3, durante quase todo o período experimental, da primeira à décima terceira semana. As águas classificadas como C3 são consideradas como de salinidade muito alta, apresentando CE de 0,75 a 2,25 dS.m⁻¹, a 25 °C. O uso

Quadro 8 – Classificação da água residuária proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (ARC), em função da sua condutividade elétrica durante o período experimental, segundo o “United State Salinity Laboratory - USSSL”

Semana	Período de Referência	CE ¹⁷	Classificação
1	05/06/00 a 09/06/00	0,90	c3
2	12/06/00 a 16/06/00	1,03	c 3
3	19/06/00 a 23/06/00	1,24	c3
5	03/07/00 a 07/07/00	1,14	c 3
6	10/07/00 a 14/07/00	1,28	c 3
7	17/07/00 a 21/07/00	1,21	c 3
8	24/07/00 a 28/07/00	1,21	c 3
9	31/07/00 a 04/08/00	1,12	c 3
10	07/08/00 a 11/08/00	1,15	c 3
11	14/08/00 a 18/08/00	1,15	c 3
12	21/08/00 a 25/08/00	1,09	c 3
13	28/08/00 a 01/09/00	1,04	c 3
14	04/09/00 a 08/09/00	0,69	c 2
15	11/09/00 a 15/09/00	0,68	c 2
16	18/09/00 a 22/09/00	0,66	c 2
17	25/09/00 a 29/09/00	0,44	c 2

¹⁷ Média semanal da condutividade elétrica da ARC.

dessas águas na irrigação de culturas deve ser cauteloso, sendo recomendado realizá-lo em solos de boa drenagem, fazendo **uso** de práticas especiais de controle da salinidade e empregando culturas, cuja tolerância aos sais seja de razoável a alta.

Da décima quarta à décima sétima semana de aplicação da água residuária, notou-se decréscimo em sua condutividade elétrica, passando esta a ser classificada como C2 e água de salinidade média com CE entre 0,25 e 0,75 dS.m⁻¹, a 25 °C. Isso se deve, provavelmente, ao início de ocorrência de chuvas no período, que contribuíram para a diluição da ARC armazenada nos tanques de sedimentação a céu aberto. Além disso, esse período coincidiu, também, com o término da colheita e, conseqüentemente, do processamento via úmida dos frutos do cafeeiro, o que levou a lavagem de todo o maquinário e dos terreiros de secagem, fato que veio contribuir, ainda mais, com a diluição da água residuária armazenada nos tanques.

No Quadro 9 estão apresentados os valores de alguns parâmetros de caracterizações física, química e bioquímica da ARC, determinados ao longo do período do experimento.

Avaliando os dados apresentados no Quadro 9, verificou-se que o potássio é o nutriente de maior expressividade na ARC, apresentando concentrações que variaram de 6 a 258 mg.L⁻¹. MATOS et al. (2000a), em trabalho realizado para caracterização da água residuária gerada na lavagem e despulpa de frutos do cafeeiro na região da Zona da Mata de Minas Gerais, obtiveram concentrações de potássio de 154 e 268 mg.L⁻¹ nas águas residuárias coletadas na primeira e segunda saídas, respectivamente, de duas lagoas anaeróbicas, dispostas em série, utilizadas para tratamento dessas águas.

O valor médio de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO₃⁻) encontrado na ARC durante a condução do experimento foi de 6,1 mg.L⁻¹, indicando que o grau de restrição para o **uso** dessas águas em irrigação, segundo AYERS e WESTCOT (1991), é considerado de ligeiro a moderado. Entretanto, com o **uso** dessa água para suprir as necessidades hídricas das culturas, podem ocorrer problemas no que diz respeito ao risco de contaminação de águas subterrâneas.

Quadro 9 – Caracterizações física, química e biológica da água residuária proveniente da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, efetuadas durante o período experimental

Quinzena	Data de Referência	^{1/} CE	^{2/} Dureza	^{3/} DBO ₅	^{4/} DQO	K	^{5/} P	Ca	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺
		(dS.m ⁻¹)					mg.L ⁻¹			
1	04/06/00 – 17/06/00	0,97	100	3.176	6.245	257	22	–	8,5	4,0
2	18/06/00 – 01/07/00	1,24	70	2.805	5.524	206	5,6	–	6,5	24,6
3	02/07/00 – 15/07/00	1,21	90	2.818	5.000	209	17,8	–	3,9	26,9
4	16/07/00 – 29/07/00	1,21	98	1.892	5.100	236	18	–	3,3	18,5
5	30/07/00 – 12/08/00	1,14	124	2.634	3.535	73	16,7	35	5,2	3,9
6	13/08/00 – 26/08/00	1,12	93,3	1.873	2.626	102	10,5	43,9	7,8	38,1
7	27/08/00 – 09/09/00	0,86	66,7	326	950	56	10,2	31,7	4,9	6,6
8	10/09/00 – 23/09/00	0,67	74,5	449	550	57	1,6	8,0	8,3	5,8
9	24/09/00 – 08/10/00	0,44	50	139	400	6	0,24	20,8	6,6	1,81
Média		0,98	85,2	1.790	3.326	134	11,4	27,9	6,1	14,5

Conductividade elétrica.

^{2/} Dureza em mg.L⁻¹ de CaCO₃.

^{3/} Demanda bioquímica de oxigênio no quinto dia, a 20°C.

^{4/} Demanda química de oxigênio.

^{5/} Na forma de ortofosfato.

No Quadro 10 estão apresentadas as lâminas de água residuária aplicadas, semanalmente, em cada parcela experimental. Em média, foram aplicados 50,8 mm.semana⁻¹ de água residuária, em cada parcela experimental. No mesmo quadro também estão apresentadas as quantidades, totais e semanais, aplicadas com a ARC de alguns nutrientes nas parcelas experimentais. Pode-se constatar que, em média, foram aplicados 78,27; 6,53; e 10,29 kg.ha⁻¹.semana⁻¹ de potássio, fósforo e cálcio, respectivamente. Como os valores de N-total não foram determinados para a ARC aplicada, para estimativa da quantidade de N-total aplicado, tomaram-se como base os valores apresentados na literatura, segundo os quais a concentração média de N-total situa-se na faixa de 144,5 a 247,5 mg.L⁻¹ (MATOS et al., 2001). Calculando a carga total aplicada, obtém-se, então, o valor de 1.592,1 kg.ha⁻¹, que é equivalente à aplicação de 99,6 kg.ha⁻¹.semana⁻¹ de N-total durante o período experimental. Essas taxas mostraram-se muito inferiores às aplicadas por QUEIROZ (2000), em trabalho realizado para selecionar gramíneas forrageiras para uso no tratamento de águas residuárias de suinocultura pelo método do escoamento superficial. No referido experimento, foram aplicados 319,44; 680,09; 1.198,89; e 1.309,95 kg.ha⁻¹.semana⁻¹ de potássio, fósforo, cálcio e N-total, respectivamente, em parcelas cultivadas com diferentes gramíneas forrageiras perenes.

4.2. Avaliação das gramíneas forrageiras

4.2.1. Rendimento de matéria seca

A análise de variância revelou efeito de forrageira ($P < 0,05$) e de qualidade da água ($P < 0,05$), no rendimento de matéria seca. No Quadro 11 estão apresentados os valores médios dos rendimentos acumulados de matéria seca (RMS) obtidos em função da espécie forrageira e qualidade da água aplicada no cultivo. Constatou-se maior rendimento acumulado de matéria seca para o azevém (11,71 t.ha⁻¹) e para o milheto (10,04 t.ha⁻¹), que por sua vez não diferiram entre si. Vale ressaltar, no entanto, que o número de cortes foi diferente

Quadro 10 – Estimativa da quantidade de nutrientes aplicados semanalmente, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, durante o período experimental

^{1/} Semana	Lâmina (mm)	K	^{2/} P	Ca	N-NO ₃	N-NH ₄ ⁺
1	131,7	338,81	28,98	^{3/} NA	11,20	5,27
2	114,4	294,13	25,16	^{3/} NA	9,72	4,57
3	76,4	157,16	4,28	^{3/} NA	4,97	18,80
4	–	–	–	–	–	–
5	34,1	71,85	6,12	^{3/} NA	1,34	9,26
6	12,5	26,05	2,22	^{3/} NA	0,49	3,36
7	32,6	76,85	5,87	^{3/} NA	1,08	6,04
8	32,6	76,86	5,87	^{3/} NA	1,08	6,04
9	35,1	25,49	5,86	12,27	1,82	1,37
10	34,3	24,92	5,73	12,00	1,78	1,34
11	34,1	34,89	3,58	14,96	2,66	12,98
12	14,5	14,83	1,52	6,36	1,13	5,52
13	37,8	21,05	3,85	11,98	1,85	2,49
14	33,9	18,90	3,46	10,76	1,66	2,24
15	57,4	32,56	0,92	4,59	4,77	3,33
16	59,2	33,59	0,95	4,74	4,92	3,44
17	71,8	4,45	0,17	14,93	4,74	1,30
Total	812,7	1.252,39	104,55	164,60	55,19	87,33
Média	50,8	78,27	6,53	10,29	3,45	5,46

^{1/} Na quarta semana, a ARC não foi aplicada.

^{2/} Fósforo na forma de ortofosfato.

^{3/} Característica não analisada na semana.

Quadro 11 – Média dos rendimentos acumulados de matéria seca (RMS), em $t.ha^{-1}$, obtidos para as diferentes forrageiras, em função da qualidade da água aplicada durante o cultivo

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	12,35	11,07	11,71 a
Milheto	11,18	8,90	10,04 a
Aveia-preta	5,66	4,41	5,04 b
Médias	9,73 a	8,12 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

para as forrageiras, tendo sido realizados um, dois e três cortes para a aveia-preta, o milho e o azevém, respectivamente, o que pode, em parte, explicar a maior produtividade acumulada alcançada pela forrageira que sofreu maior número de cortes no período do experimento. O azevém teve melhor comportamento agrônomo durante o período experimental, apresentando maior número de cortes e melhor cobertura do solo.

Embora a interação entre forrageiras e qualidade de água não tenha sido significativa, nas parcelas experimentais onde foram aplicadas ARC houve tendência do azevém em apresentar rendimento acumulado de matéria seca superior aos obtidos pelo milho e pela aveia-preta. O valor médio de rendimento acumulado de matéria seca dessa forrageira fertirrigada com ARC ($11,07 t.ha^{-1}$) superou o encontrado por MORAES et al. (1998), que foi de $6,14 t.ha^{-1}$, obtido em quatro cortes no período de inverno/primavera; o obtido por GOMES e REIS (1999), que foi de $4,40 t.ha^{-1}.ano^{-1}$, nos anos de 1994 a 1996, no Rio Grande do Sul; e o citado por FLARESSO et al. (1998), que foi de $5,15 t.ha^{-1}$, em plantios efetuados na primeira quinzena de abril.

GUIDELI et al. (1998) obtiveram $3,19 t.ha^{-1}$ e $7,01 t.ha^{-1}$ de rendimento de matéria seca para o milho semeado em março, com dois cortes, e para o

semeado em novembro, com quatro cortes, respectivamente, cujos valores foram inferiores aos apresentados no presente trabalho, que foram de 11,18 t.ha⁻¹ e 8,90 t.ha⁻¹, para o milheto irrigado com AA e com ARC, respectivamente.

Apesar de a aveia-preta ter apresentado o menor rendimento de matéria seca (5,04 t.ha⁻¹), este foi superior aos obtidos por BERALDO et al. (1997) e GUSS et al. (1981), que obtiveram, respectivamente, 3,14 t.ha⁻¹ e 4,62 t.ha⁻¹, considerando-se o total acumulado em dois cortes.

Conforme apresentado no Quadro 11, foram verificadas diferenças no rendimento forrageiro em relação às diferentes qualidades de água utilizadas no cultivo, registrando-se maior valor médio (9,73 t.ha⁻¹) quando se utilizaram água da rede de abastecimento e adubação química, superando em cerca de 19,8% o rendimento médio obtido no tratamento com ARC.

Apesar de ter sido obtido menor rendimento quando se aplicou apenas ARC no cultivo do que com a aplicação de AA, pode-se dizer que os valores encontrados estiveram próximos, o que não deixa de ser um resultado positivo, visto que não se esperava que esse tipo de fertirrigação superasse a irrigação com água de boa qualidade complementada com adubação convencional. É importante não se perder de vista que, como a avaliação das forrageiras é feita para que se possa escolher a espécie que melhor se adapte às condições de cultivo em uma rampa de tratamento de ARC, a produção de forragem não deve ser encarada como o objetivo fim da seleção.

4.2.2. Rendimento da proteína bruta

O rendimento de proteína bruta (RPB) indica quanto desta substância foi acumulado na planta, sendo obtido pelo produto entre a concentração de proteína bruta e o rendimento da matéria seca em cada corte.

No Quadro 12 estão apresentados os resultados do teste de médias dos rendimentos acumulados de proteína bruta das forrageiras e da qualidade da água analisados separadamente, já que não houve interação entre essas variáveis, conforme a análise de variância.

Quadro 12 – Médias dos rendimentos acumulados de proteína bruta, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtidos das diferentes forrageiras, em função da qualidade de água aplicada durante o cultivo

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	2.116,31	1.752,26	1.934,29 a
Milheto	1.872,28	1.293,93	1.583,11 a
Aveia-preta	1.099,42	650,78	875,10 b
Médias	1.696,00 a	1.232,32 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conforme os dados do Quadro 12, constatou-se maior rendimento de proteína bruta para o azevém e o milheto, que por sua vez não diferiram entre si, embora o azevém tenha apresentado rendimento 22% superior ao do milheto. Tal comportamento se deveu, provavelmente, à menor produção de matéria seca desta espécie, visto que o teor protéico entre as forrageiras foi muito semelhante.

Embora não tenha havido interação entre forrageiras e qualidade da água aplicada, nas parcelas experimentais onde foi aplicado ARC houve tendência do azevém em apresentar RPB superior aos obtidos pelo milheto e pela aveia-preta. O valor médio obtido de rendimento acumulado de proteína bruta dessa forrageira fertirrigada com ARC ($1.752,26 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) superou o encontrado por GOMES e REIS (1999), que, avaliando de 1994 a 1996 forrageiras anuais de estação fria, obtiveram $705,16 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ de rendimento de proteína bruta para o azevém e $843,39 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ para a aveia-preta.

REIS et al. (1996) encontraram $828,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de proteína bruta para a aveia-preta com 73 dias de idade, enquanto neste trabalho as parcelas semeadas com aveia-preta e fertirrigadas com ARC apresentaram, aos 68 dias de idade, rendimento de $650,78 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, valor inferior aos obtidos pelos referidos autores.

PEREIRA (1991), trabalhando com o milho, obteve valor médio de rendimento de PB de $930 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{corte}^{-1}$, no plantio tardio, realizado no final do mês de abril. O valor encontrado no presente trabalho para esta forrageira, fertirrigada com **ARC** e semeada no início de maio, foi de $1.293,93 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, em dois cortes, o que corresponde a $646,97 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{corte}^{-1}$, resultado inferior ao encontrado pelo citado autor. Os menores rendimentos de PB encontrados no milho produzido neste trabalho estão, provavelmente, associados à redução na produção da gramínea, que deve ter ocorrido em virtude da semeadura tardia, evidenciando efeito negativo do fotoperíodo e da temperatura sobre a cultura na época do ano em que foi cultivada neste experimento.

É desejável que as culturas utilizadas como cobertura vegetal em sistema de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial sejam eficientes na remoção de nutrientes do solo, notadamente de nitrogênio, que, quando mineralizado, pode ser transformado em nitrato, ânion de alta mobilidade no solo e que coloca em risco a qualidade das águas subterrâneas. Sob essa lógica, o azevém seria uma forrageira adequada a essa finalidade, dada a sua maior capacidade de acumular nitrogênio na forma de proteína bruta nos seus tecidos.

De acordo com o que está apresentado no Quadro 12, foram verificadas diferenças entre as médias dos rendimentos de proteína bruta das forrageiras, conforme a qualidade de água utilizada em seus cultivos, registrando-se maior valor ($1.696,00 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) quando se utilizou AA. Isso pode ser atribuído ao maior rendimento forrageiro alcançado com a aplicação de água com tal qualidade, associada à adubação química, durante o cultivo.

4.2.3. Composição bromatológica

4.2.3.1. Conteúdo de matéria seca

O conteúdo de matéria seca foi significativamente influenciado pela interação entre espécie forrageira e corte, não o sendo, contudo, pela qualidade da água aplicada.

Analisando cada um dos cortes, observou-se que o milho apresentou maior conteúdo de matéria seca que o azevém no primeiro corte (18,19 dag.kg⁻¹), entretanto, no segundo corte, não houve diferença nos conteúdos de matéria seca das gramíneas, conforme pode ser visto no Quadro 13. O maior conteúdo de matéria seca apresentado pelo milho em relação ao azevém no primeiro corte deve estar relacionado ao fato de que o primeiro corte do milho ocorreu aos 10 dias após seu plantio, enquanto para o azevém esse mesmo corte aconteceu nos seus 68 dias de idade, pois, de maneira geral, as forrageiras apresentam rendimentos e, conseqüentemente, conteúdos de MS crescentes com a idade:

conteúdos médios de matéria seca, do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes

Quadro 13 – Conteúdos médios de matéria seca, em dag.kg⁻¹, no tecido vegetal do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes

Forrageira	Corte 1	Corte 2
Azevém	12,14 B b	17,14 A a
Milho	18,19 A a	16,41 A b

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os conteúdos de MS encontrados no milho, tanto no primeiro quanto no segundo corte, foram superiores aos 10,6 dag.kg⁻¹ obtidos por PEREIRA (1991) para forrageira semeada em 29/03/88, em Viçosa, MG, sendo, entretanto, inferior aos 18,9 dag.kg⁻¹ obtidos, pelo mesmo autor, para plantio em 25/04 do mesmo ano e na mesma localidade.

Apesar de não ter havido interação significativa entre forrageiras avaliadas e qualidade da água aplicada, em ambos os cortes, observando o Quadro 14, pode-se identificar uma tendência do azevém em apresentar maiores conteúdos de MS, quando as parcelas experimentais receberam aplicação da ARC, tanto no primeiro quanto no segundo cortes.

MAIA et al. (1998), cultivando milho em sucessão à cultura do feijão, sem nenhuma adubação e em quatro épocas de semeadura, encontraram 12,94; 13,49; 15,66; e 13,71 dag.kg^{-1} de matéria seca no primeiro corte, para semeaduras realizadas em 22/02, 14/03, 03/04 e 23/04, respectivamente. Todos os valores encontrados por esses autores mostraram-se inferiores ao obtido no presente trabalho, para o primeiro corte do milho, quando se aplicou água residuária da lavagem e despolpa de frutos do café, que foi de 18,65 dag.kg^{-1} .

Quadro 14 – Conteúdos médios de matéria seca, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Corte 1		Corte 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	10,84	13,44	16,14	18,14
Milho	17,73	18,65	16,65	16,17

4.2.3.2. Conteúdo de proteína bruta

Os conteúdos de proteína bruta (PB) das gramíneas forrageiras foram influenciados apenas pela interação entre gramínea forrageira e corte.

Com base nos resultados dos testes de média apresentados no Quadro 15, pode-se verificar que, no primeiro corte, o maior conteúdo de proteína bruta foi encontrado no azevém, enquanto os teores de proteína bruta do milho não diferiram entre o primeiro e o segundo corte.

O valor nutritivo de uma forrageira depende, basicamente, da espécie e do seu estágio de desenvolvimento, diminuindo com o avanço deste. Assim, o menor conteúdo de proteína bruta ($14,64 \text{ dag.kg}^{-1}$), obtido com o milho no primeiro corte, pode estar associado à sua avançada idade, por ocasião do primeiro corte (110 dias).

Quadro 15 – Conteúdos médios de proteína bruta, em dag.kg⁻¹, no tecido vegetal do azevém e do milho no primeiro e segundo cortes

FORAGEIRA	CORTE 1	CORTE 2
Azevém	19,07 A a	15,27 A b
Milho	14,64 B a	16,71 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas **nas** colunas e pelas mesmas letras minúsculas **nas** linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apesar de não ter havido interação significativa entre gramíneas forrageiras e qualidade da água aplicada, dentro dos cortes, **nas** parcelas experimentais que receberam ARC, identificou-se uma tendência do azevém em apresentar maiores conteúdos de PB (18,79 dag.kg⁻¹) que o milho no primeiro corte (Quadro 16). GOMES e REIS (1997), de 1994 a 1996, avaliando forrageiras anuais de estação fria, destacaram a ótima qualidade da forragem obtida do azevém, colhido no período de inverno/primavera, registrando conteúdo médio de proteína bruta de 15,2 dag.kg⁻¹.

Quadro 16 – Conteúdos médios de proteína bruta, em dag.kg⁻¹, no tecido vegetal do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de água de diferentes qualidades

FORrageira	CORTE 1		CORTE 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	19,36	18,79	16,71	13,83
Milho	16,63	12,66	17,02	16,41

GUIDELI et al. (1998), estudando a produção e a qualidade do milheto semeado em duas épocas e submetido à aplicação parcelada, em quatro doses, da adubação nitrogenada, encontraram 21,85 e 22,2 dag.kg⁻¹ de PB, em folhas e colmos, no primeiro e segundo cortes, respectivamente, na segunda época de plantio (10/03/95).

É oportuno destacar que, independentemente do efeito apresentado, os teores médios de proteína bruta do azevém e do milheto atenderiam às exigências mínimas de proteína na matéria seca para bovinos adultos e jovens, cujos valores são, respectivamente, de 7 e 11%, segundo o NRC (1984).

4.2.3.3. Composição mineral

4.2.3.3.1. Fósforo

A concentração de fósforo nas gramíneas forrageiras foi significativamente influenciada pela interação entre gramínea forrageira e qualidade da água aplicada e entre gramínea forrageira e corte.

Com base nos resultados dos testes de média apresentados no Quadro 17, pode-se verificar que a concentração de fósforo, tanto no azevém quanto no milheto, não apresentou diferenças significativas em função da qualidade da água aplicada durante o cultivo, registrando-se valor médio de 0,30 dag.kg⁻¹. Este valor foi superior aos 0,18 dag.kg⁻¹ de P requeridos por bovinos em pastejo, segundo Noller et al. (1996).

Silva et al. (1996), avaliando a composição química de espécies forrageiras de inverno, obtiveram 0,4 dag.kg⁻¹ de concentração de fósforo no azevém semeado em **junho**. STOBBS (1975) encontrou nas folhas de milheto em estágio vegetativo e nos caules teores de 0,19 e 0,20 dag.kg⁻¹, respectivamente. Os valores médios encontrados no presente trabalho foram de 0,25 dag.kg⁻¹ no azevém-comum e de 0,34 dag.kg⁻¹ no milheto, nas parcelas submetidas à aplicação de ARC.

Quadro 17 – Concentrações médias de fósforo, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milheto, submetidos à aplicação de águas de diferentes qualidades

Forageira	AA	ARC	Média
Azevém	0,33 A a	0,25 A a	0,29
Milheto	0,28 A a	0,34 A a	0,31
Médias	0,30	0,29	

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Segundo Gomide (1986), a composição mineral de plantas forrageiras varia segundo uma série de fatores, destacando-se a idade da planta, o tipo de solo e as adubações realizadas, as diferenças genéticas entre espécies e variedades, as estações do ano e a sucessão de cortes.

A partir dos resultados apresentados no Quadro 18, verifica-se que, no primeiro corte, as concentrações médias de fósforo no azevém e no milheto não diferiram entre si. No segundo corte, entretanto, o milheto apresentou maior concentração de fósforo que o azevém.

Quadro 18 – Concentrações médias de fósforo, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milheto no primeiro e segundo cortes

Forageira	Corte 1	Corte 2
Azevém	0,3 A a	0,27 B a
Milheto	0,25 A b	0,36 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação à concentração de P nos dois cortes das forrageiras, o milho teve sua concentração aumentada do primeiro para o segundo corte, de 0,25 para 0,36 dag.kg⁻¹, ocasião em que se verificou melhor desenvolvimento das plantas, provavelmente devido ao aumento da temperatura ambiente e do fotoperíodo. A menor concentração de P obtida no primeiro corte pode ser devida ao efeito de diluição em decorrência da maior produção de matéria seca neste corte ou, ainda, à elevada idade em que este foi efetuado.

4.2.3.3.2. Potássio

A concentração de potássio nas plantas foi significativamente influenciada pela interação entre gramínea forrageira e corte.

Analisando cada um dos cortes separadamente, constatou-se maior concentração de K no primeiro corte do azevém (4,80 dag.kg⁻¹) que no do milho. Entretanto, no segundo corte não houve diferença ($P < 0,05$) entre as concentrações desse macroelemento, conforme pode ser visto no Quadro 19.

Quadro 19 – Concentração média de potássio, em dag.kg⁻¹, no tecido vegetal do azevém e do milho, por ocasião do primeiro e segundo cortes

Forrageira	Corte 1	Corte 2
Azevém	4,80 A a	3,31 A b
Milho	2,66 B a	3,01 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apesar de não ter havido interação significativa entre forrageiras avaliadas, qualidade da Água aplicada e cortes, comparando as concentrações encontradas nas duas gramíneas forrageiras, nas parcelas que receberam Água

residuária, notou-se tendência do azevém em apresentar maiores concentrações de potássio que o milho no primeiro corte (Quadro 20). Os valores médios observados, em ambos os cortes das duas gramíneas forrageiras, nas diferentes condições de qualidade de água, podem ser considerados altos, segundo Gomide (1986), que considerou conteúdos de 1,5 a 2,0 dag.kg⁻¹ de K na matéria seca como normais para plantas forrageiras com bom suprimento deste elemento. Ainda segundo esse autor, adubações potássicas pesadas devem ser evitadas não só para prevenir a absorção de luxo, que resulta em acúmulo do elemento na planta, sem o correspondente aumento na produção de forragem, e também para evitar a interferência na absorção de cálcio e magnésio.

Quadro 20 – Concentração média de potássio, em dag.kg⁻¹, no tecido vegetal do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Corte 1		Corte 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	5,19	4,41	3,53	3,09
Milho	2,65	2,66	2,86	3,17

STOBBS (1975) encontrou, nas folhas e caules do milho, concentrações de potássio de 4,44 e 5,93 dag.kg⁻¹. PEREIRA (1991) obteve 3,67 dag.kg⁻¹ para o milho entre os 76 e 84 dias de idade. Os resultados encontrados por esses autores foram superiores aos obtidos neste trabalho, para a mesma forrageira, quando se utilizou ARC. Entretanto, MESQUITA e PINTO (2000), ao avaliarem o efeito de doses de nitrogênio sobre os teores de minerais do material pós-colheita de sementes de milho, obtiveram 1,60 dag.kg⁻¹ de potássio.

A deficiência de macro e micronutrientes no solo, notadamente nas parcelas que não receberam adubação química convencional, mas apenas ARC,

pode ter sido um dos fatores que tenham mais contribuído para que houvesse menor absorção de potássio pelas plantas, já que, com a aplicação de ARC, foram aplicados $1.252,39 \text{ kg.ha}^{-1}$ de potássio, condição que tornou grande a disponibilidade desse macroelemento no solo, para ser absorvido pelas plantas.

4.2.3.3.3. Cálcio

As concentrações de cálcio foram influenciadas apenas pela espécie forrageira cultivada (Quadro 21), registrando-se maior valor médio para o azevém.



Quadro 21 – Valores médios das concentrações de cálcio, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milheto

Forrageira	Concentração de Cálcio
Azevém	0,58 a
Milheto	0,45 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em avaliação dos dados apresentados no Quadro 22, pode-se inferir que, apesar de a concentração de cálcio no tecido vegetal das plantas não ter sido influenciada por nenhum tipo de interação entre forrageiras, qualidade da água aplicada e cortes, nas parcelas que receberam ARC houve tendência do azevém em apresentar maiores concentrações de cálcio que o milheto, tanto no primeiro quanto no segundo corte.

A concentração de cálcio do azevém nas parcelas que receberam ARC foi, em média, de $0,57 \text{ dag.kg}^{-1}$, para os dois cortes. Este valor está abaixo do encontrado por Silva et al. (1996), que foi de $0,69 \text{ dag.kg}^{-1}$ na gramínea semeada tardiamente (junho) e adubada convencionalmente.

Quadro 22 – Concentração média de cálcio, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Corte 1		Corte 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	0,57	0,62	0,62	0,52
Milho	0,45	0,44	0,52	0,41

De acordo com o NRC (1988), vacas em lactação necessitam de $0,53 \text{ dag.kg}^{-1}$ de cálcio. Assim, dentre as forrageiras cultivadas nas parcelas que receberam ARC, somente o azevém, em seu primeiro corte, atenderia a essa exigência nutricional.

4.2.3.3.4. Magnésio

A exemplo do que foi verificado para o cálcio, a concentração de Mg no tecido das plantas foi influenciada ($P < 0,05$) apenas pela espécie forrageira, registrando-se maior valor para o azevém (Quadro 23).

Quadro 23 – Valores médios de concentração de magnésio, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milho, por ocasião do primeiro e segundo cortes

Forrageira	Concentração de Magnésio
Azevém	0,18 b
Milho	0,29 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apesar de não ter havido interação significativa entre gramíneas forrageiras, qualidade da água aplicada e corte, nas parcelas experimentais que receberam ARC, identificou-se tendência do milho em apresentar maiores concentrações de magnésio em seu tecido vegetal que o azevém (Quadro 24).

MESQUITA e PINTO (2000), avaliando o efeito de doses de nitrogênio e dos métodos de semeadura sobre os teores de minerais no material pós-colheita de milho, observaram efeito significativo de doses de N sobre a concentração de Mg, sendo a resposta dependente do método de semeadura. Esses autores concluíram que a concentração média de Mg foi de $0,20 \text{ dag.kg}^{-1}$ na matéria seca, valor inferior ao encontrado neste trabalho para esta forrageira fertirrigada com ARC.

Quadro 24 – Concentração média de magnésio, em dag.kg^{-1} , do azevém e do milho, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de diferentes qualidades de água

Forrageira	Corte 1		Corte 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	0,18	0,19	0,18	0,16
Milho	0,29	0,30	0,30	0,28

Vacas em lactação e bovinos de corte necessitam, respectivamente, de $0,20$ e $0,25 \text{ dag.kg}^{-1}$ de magnésio, de acordo com o NRC (1988) e NRC (1984), nesta ordem. Dessa forma, somente o milho atenderia a essas exigências nutricionais, caso as forrageiras cultivadas fossem utilizadas para alimentação de bovinos.

4.2.3.3.5. Sódio

O teor de sódio nas gramíneas forrageiras foi, significativamente, influenciado ($P < 0,05$) pela interação entre a gramínea forrageira e o corte.

As concentrações de sódio no tecido vegetal do azevém e do milho não diferiram significativamente entre o primeiro e segundo cortes, conforme pode ser observado no Quadro 25, registrando-se valor médio de $0,031 \text{ dag.kg}^{-1}$.

Quadro 25 – Concentração de sódio, em dag.kg^{-1} , no tecido vegetal do azevém e do milho, por ocasião do primeiro e segundo cortes

Forrageira	Concentração de Sódio	
	Corte 1	Corte 2
Azevém	0,035 A a	0,031 A a
Milho	0,027 A a	0,032 A a

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apesar de não ter havido interação significativa entre gramíneas forrageiras, qualidade da água aplicada e cortes, nas parcelas experimentais que receberam ARC, identificou-se tendência do azevém em apresentar maiores ($0,035 \text{ dag.kg}^{-1}$) concentrações de sódio em seu tecido vegetal que o milho ($0,027 \text{ dag.kg}^{-1}$) no primeiro corte. No segundo corte, entretanto, os valores obtidos de concentração de Na estiveram muito próximos entre si (Quadro 26).

De acordo com o NRC (1984), bovinos de corte necessitam de $0,10 \text{ dag.kg}^{-1}$ de sódio para satisfação de suas necessidades nutricionais. Assim, as concentrações obtidas no tecido vegetal do azevém-comum e do milho, neste trabalho, não atenderiam a essas exigências.

Quadro 26 – Concentração média de sódio, em dag.kg^{-1} , do azevém e do milheto, no primeiro e segundo cortes, submetidos à aplicação de diferentes qualidades de água

FORAGEIRA	Corte 1		Corte 2	
	AA	ARC	AA	ARC
Azevém	0,033	0,037	0,033	0,030
Milheto	0,027	0,027	0,034	0,031

4.3. Remoção de nutrientes do solo pelas plantas

4.3.1. Fósforo

A análise de variância não detectou diferenças na remoção de fósforo entre as forrageiras que receberam **AA** com adubação convencional e ARC apenas, sendo a remoção acumulada de fósforo pelas plantas influenciada significativamente apenas pela espécie de gramínea forrageira cultivada.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 27, pode-se verificar que, dentre as forrageiras estudadas, a aveia foi a gramínea que mostrou a menor ($P < 0,05$) remoção de fósforo ($17,97 \text{ kg.ha}^{-1}$). O menor rendimento forrageiro desta gramínea em relação às demais deve ser o principal responsável por esse resultado.

STEFANUTTI et al. (1999), trabalhando com *Brachiaria humidicula*, gramínea forrageira perene, em sistema de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial, estimaram remoção anual de fósforo de $56,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Não houve interação significativa entre as forrageiras estudadas e a qualidade da água aplicada nas parcelas, entretanto, observando o Quadro 27, pode-se perceber tendência do azevém em apresentar maior remoção de fósforo ($32,89 \text{ kg.ha}^{-1}$) quando se aplicou ARC.

Quadro 27 – Valores médios da extração acumulada de fósforo, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtidos pelas diferentes gramíneas forrageiras, em função da aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	<i>ARC</i>	
Azevém	41,19	32,89	37,04 a
Milheto	29,03	29,78	29,40 a
Aveia-preta	22,28	13,66	17,97 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.3.2. Potássio

A remoção acumulada de potássio pelas forrageiras não foi influenciada significativamente pela interação entre espécies de gramíneas e qualidade da água aplicada, conforme a análise de variância.

No Quadro 28, estão apresentados os resultados das médias de remoção acumulada de potássio pelas forrageiras e para as diferentes qualidades de água aplicada durante o cultivo, analisados separadamente, já que não houve interação ($P < 0,05$) entre essas variáveis.

A remoção de potássio foi significativamente superior com o azevém, planta exigente em fertilidade, que apresentou $419,54 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de remoção do nutriente, o que representa 33,2 e 46,2% a mais do que foi removido com o milho e a aveia, respectivamente (Quadro 28). Isso se deve, possivelmente, ao maior rendimento de matéria seca do azevém, em decorrência do maior número de cortes efetuados nesta espécie.

Em relação à qualidade da água aplicada durante o cultivo, no Quadro 28 pode ser verificado que a remoção de potássio pelo grupo de gramíneas forrageiras foi significativamente superior ($P < 0,05$) nas parcelas onde se utilizou **AA** complementada com adubação convencional do que nas que

Quadro 28 -- Valores médios da extração acumulada de potássio, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtidos pelas diferentes gramíneas forrageiras, em função da aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	464,24	374,83	419,54 a
Milheto	300,93	259,92	280,43 b
Aveia-preta	274,58	176,93	225,75 b
	346,58 a	270,56 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

receberam apenas ARC. Esse resultado se deve, provavelmente, à maior produtividade alcançada pelas plantas cultivadas nas parcelas que receberam AA, visto não terem sido encontradas diferenças significativas na concentração de potássio nas plantas, independentemente da qualidade da água aplicada ou, ainda, devido à adubação potássica efetuada por ocasião dos cortes.

Apesar de não ter havido interação significativa entre forrageiras avaliadas e qualidade da água aplicada, no Quadro 28 estão apresentadas, também, as médias das extrações acumuladas de potássio pelas diversas gramíneas forrageiras produzidas com os dois tipos de água aplicada durante o cultivo. Avaliando as parcelas que receberam água residuária, notou-se uma tendência do azevém em apresentar maiores extrações acumuladas de potássio ($374,83 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) que o milheto e a aveia-preta. A mesma tendência pôde ser percebida nas parcelas onde se aplicou água da rede de abastecimento da propriedade agrícola.

O milheto e a aveia proporcionaram as menores remoções de K do solo, tanto nas parcelas que receberam ARC quanto nas que receberam AA. Contudo, em pesquisa realizada por MESQUITA e PINTO (2000), estes autores obtiveram remoções de potássio pelo milheto de $141,95 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ quando utilizaram dose de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, valor muito inferior aos encontrados no presente trabalho.

Os valores de remoção de K obtidos nesta pesquisa indicam que as espécies forrageiras avaliadas, notadamente o azevém, mostraram-se adequadas para cultivo em rampas de tratamento de ARC, águas residuárias ricas desse nutriente.

4.3.3. Cálcio

No Quadro 29 estão apresentados os valores médios das remoções acumuladas de cálcio nas plantas, considerando-se o efeito das espécies forrageiras e da qualidade de água aplicada, analisadas separadamente, já que não houve interação entre essas variáveis.

Quadro 29 – Valores médios da extração acumulada de cálcio, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtidos pelas diferentes gramíneas forrageiras, em função da aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	78,82	56,63	67,72 a
Milheto	51,61	37,48	44,54 b
Aveia-preta	38,42	23,74	31,08 b
	56,28 a	39,28 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com relação às forrageiras, observou-se maior remoção de cálcio pelo azevém (Quadro 29), sendo encontrados valores médios de $67,72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Em análise dos resultados apresentados no Quadro 29, pode-se verificar que a qualidade da água aplicada influenciou a quantidade de cálcio removido pelas forrageiras, sendo maior ($P < 0,05$) nas parcelas experimentais, em que foi

aplicada AA complementada por adubação convencional, tendo sido encontrado o valor de $56,28 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Isso pode ser explicado pela maior produção de matéria seca nesse tratamento, haja vista que os teores de cálcio não foram influenciados pelas diferentes qualidades de água aplicada.

Apesar de não ter havido interação significativa entre forrageiras avaliadas e qualidade da água aplicada, observando o Quadro 29, pode-se verificar que nas parcelas que receberam água residuária o azevém apresentou tendência de maiores extrações acumuladas de cálcio ($56,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) que o milho e a aveia-preta. A mesma tendência pôde ser percebida nas parcelas onde se aplicou Água da rede de abastecimento da propriedade agrícola.

Quando se utilizou **ARC**, o milho e a aveia-preta proporcionaram as menores remoções de **Ca**, respectivamente $37,48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $23,74 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. MESQUITA e PINTO (2000) obtiveram remoções de cálcio pelo milho de $36,38 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ quando foi utilizada a dose de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, valor semelhante ao encontrado neste trabalho, com o milho.

4.3.4. Magnésio

No Quadro 30 estão apresentados os resultados médios de remoção acumulada de magnésio das forrageiras, não se distinguindo a qualidade da água aplicada, e os do conjunto de forrageiras, separando-se as parcelas experimentais em dois grupos: o que recebeu **ARC** e o que recebeu AA complementada com adubação convencional, já que não houve interação entre essas variáveis.

Dentre as forrageiras avaliadas, o milho foi a que apresentou maior remoção de magnésio ($28,94 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), conforme se pode verificar no Quadro 30. Essa maior extração se deve, provavelmente, à maior concentração deste nutriente no milho em relação às demais forrageiras.

O azevém apresentou posição intermediária entre as forrageiras, no que se refere à remoção do macronutriente magnésio, tendo sido obtido valor 25,3% menor que o obtido com o milho, porém 60,0% maior que o obtido com a aveia.

Quadro 30 – Valores médios da extração acumulada de magnésio, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtidos pelas diferentes gramíneas forrageiras, em função da aplicação de águas de diferentes qualidades

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	23,04	20,19	21,62 b
Milheto	32,36	25,52	28,94 a
Aveia-preta	12,89	8,31	10,60 c
	22,76 a	18,01 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com relação à qualidade da água aplicada durante o cultivo, verificou-se que a remoção de magnésio pelas forrageiras foi maior ($P < 0,05$) nas parcelas experimentais que receberam **AA** complementada com adubação convencional. Esse comportamento foi, provavelmente, devido ao maior rendimento forrageiro obtido nessas parcelas, visto que as concentrações de Mg no tecido vegetal das plantas cultivadas com a aplicação de AA e de ARC não diferiram entre si, conforme discutido anteriormente.

Apesar de não ter havido interação significativa entre forrageiras avaliadas e qualidade da água aplicada, analisando os dados apresentados no Quadro 30, notou-se tendência do milheto em apresentar as maiores remoções de Mg, tanto nas parcelas submetidas à aplicação de AA ($32,36 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) quanto nas submetidas à aplicação de ARC ($25,52 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). A remoção de magnésio pelo milheto, avaliada neste trabalho, foi muito superior aos $17,74 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtidos por MESQUITA e PINTO (2000).

4.3.5. Sódio

A remoção acumulada de sódio pelas forrageiras não foi influenciada significativamente pela interação entre espécies de gramíneas e qualidade da água aplicada durante o cultivo. Em razão disso, apenas os resultados das médias de remoção acumulada de sódio pelas gramíneas forrageiras, sem considerar a qualidade da água, e das remoções médias das forrageiras, considerando-se a qualidade da água aplicada, estão apresentados no Quadro 31.

Quadro 31 – Valores médios da extração acumulada de sódio, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, obtidos pelas diferentes gramíneas forrageiras, em função da aplicação de água de diferentes qualidades

Forrageira	Qualidade da Água		Médias
	AA	ARC	
Azevém	4,12	3,35	3,73 a
Milheto	3,29	2,57	2,93 a b
Aveia-preta	2,89	1,96	2,42 b
	3,43 a	2,62 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Dentre as forrageiras estudadas, as maiores remoções de sódio ocorreram no azevém ($3,73 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), embora não tenham diferido estatisticamente com relação ao milheto, que removeu $2,93 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, conforme apresentado no Quadro 31.

Seguindo comportamento idêntico ao observado com outros nutrientes, a remoção de sódio pelas gramíneas forrageiras foi significativamente superior ($P < 0,05$) nas parcelas onde se utilizou AA complementada com adubação convencional (Quadro 31).

Analisando as parcelas que receberam água residuária, percebeu-se tendência do azevém em apresentar maiores extrações acumuladas de sódio ($3,35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) que o milho e a aveia-preta. A mesma tendência pôde ser percebida nas parcelas submetidas à aplicação de água da rede de abastecimento da propriedade agrícola, nas quais a extração acumulada de sódio pelo azevém foi de $4,12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Quadro 31).

4.4. Alteração nas características do solo com a condução do experimento

4.4.1. Caracterização preliminar

Observando as características químicas e físico-químicas do solo, na camada de 0 a 0,20 m, antes do início do experimento (Quadro 4) e comparando-as com os valores apresentados pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999), que apresenta as classes de interpretação da fertilidade do solo para o referido Estado, pôde-se verificar que os solos utilizados para condução do experimento, à exceção do solo do bloco 1, estavam fora da condição de pH considerada ótima para o cultivo. Entretanto, segundo LOPES (1989), ainda assim os solos usados no experimento encontravam-se em condições consideradas produtivas.

Quanto à CTC efetiva e à CTC a pH 7,0, pelos valores médios encontrados, $4,41 \text{ cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$ e $6,01 \text{ cmolc}\cdot\text{dm}^{-3}$, respectivamente, classificou-se o solo como de nível médio de fertilidade, ressaltando que o solo do bloco 1 apresentou baixa CTC a pH 7,0. Os valores médios de soma de bases e do índice de saturação de bases indicaram estarem os solos usados no experimento com bom nível de fertilidade. Pode-se, ainda, afirmar que o solo da área experimental, de maneira geral, podia ser classificado como solo de muito boa fertilidade em relação aos teores de potássio e fósforo disponíveis, de boa fertilidade em relação ao teor de cálcio trocável e de média fertilidade quanto ao teor de magnésio trocável. Contudo, vale ressaltar que tal classificação não se aplica a todos os blocos experimentais, quando analisados separadamente. O solo do bloco 1

apresentava, antes do início do experimento, valores muito baixos de P disponível, médio de Ca, baixo de Mg e média soma de bases, condições que proporcionaram pior desempenho das forrageiras nas parcelas experimentais que o compunham.

4.4.2. Caracterização química após o período experimental

Com a aplicação da ARC e da **AA** complementada pela adubação convencional, as características químicas do solo se alteraram.

Sabe-se que o monitoramento das características químicas de um solo receptor de águas residuárias é fundamental para que se possa atentar para os riscos de sua salinização ou de contaminação de águas subterrâneas. Por essa razão, as alterações ocorridas serão discutidas nos tópicos subsequentes.

4.4.2.1. Fósforo

Segundo as classes de interpretação da fertilidade do solo para o Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), o solo das parcelas experimentais que receberam **AA** pode ser classificado como solo de **muito boa** fertilidade, no que se refere à concentração de P disponível, enquanto aqueles submetidos à aplicação da água residuária passaram de classificação de muito boa fertilidade, antes do experimento, para baixa fertilidade, no seu final.

A concentração de fósforo no solo, após o período de condução do experimento foi, exclusivamente, influenciada ($P < 0,05$) pela qualidade da água aplicada nas parcelas experimentais (Quadro 32), registrando-se maior concentração de fósforo no solo no final do período experimental, nas parcelas experimentais que receberam **AA** complementada por adubação convencional.

Quadro 32 – Valores médios da concentração de fósforo disponível no solo, em mg.dm^{-3} , nas parcelas que receberam água de diferentes qualidades

Qualidade da Água	Concentração de Fósforo
AA	48,78 a
ARC	11,89 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.4.2.2. Potássio

A forma trocável de potássio é a aquela em que o cátion se encontra disponível para as plantas, estando adsorvido às cargas elétricas negativas dos colóides minerais e orgânicos do solo ou solúvel na água do solo.

A concentração média de K trocável aumentou no solo após o cultivo das forrageiras com aplicação de ARC, passando de $151,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Quadro 4) para $176,75 \text{ mg.dm}^{-3}$ (Quadro 33), mantendo-se a classificação de muito boa fertilidade mesmo após o cultivo de forrageiras, o qual proporcionou remoção média de $270,56 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Quadro 28).

Segundo recomendações da CFSEMG (1999), solos com teor de potássio disponíveis superiores a 120 mg.dm^{-3} são considerados solos de muito boa fertilidade. Assim, pode-se dizer que o solo das parcelas submetidas à aplicação de ARC está enquadrado nessa classe de fertilidade, enquanto o solo das parcelas submetidas à aplicação de água da rede de abastecimento é classificado como de média fertilidade, conforme recomendações daquela comissão, no que se refere à disponibilidade de potássio para as plantas.

A concentração de potássio trocável no solo foi significativamente influenciada pela qualidade da água aplicada e pela profundidade do solo (Quadro 33). Os resultados apresentados evidenciam que as parcelas tratadas com ARC apresentaram concentrações médias de potássio de $176,75 \text{ mg.dm}^{-3}$, valor 65,5% maior que o das parcelas tratadas com AA e adubação convencional.

Quadro 33 – Valores médios da concentração de potássio disponível no solo, em mg.dm^{-3} , nas parcelas que receberam água de diferentes qualidades, em diferentes profundidades, em metros

Qualidade da Água	Concentração de Potássio
AA	60,92 b
ARC	176,75 a
Profundidade	
0 – 0,10	138,67 a
0,10 – 0,20	99,00 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Esse comportamento 6, provavelmente, conseqüência das altas taxas de K ($1.252,39 \text{ kg.ha}^{-1}$) aplicadas por meio da ARC e da menor remoção do nutriente pelas plantas, observada nessas parcelas.

Em relação à profundidade, as maiores concentrações de potássio aparecem na menor profundidade, ou seja, na camada de 0 a 0,10 m do solo. O potássio é considerado um cátion relativamente móvel no solo, entretanto o pequeno período de tempo de aplicação de ARC no solo, coincidente com o período de poucas chuvas, mostrou-se insuficiente para proporcionar maior lixiviação do cátion no solo. Isso pode ser considerado um aspecto positivo, do ponto de vista de controle da contaminação de águas subterrâneas.

4.4.2.3. Cálcio

A concentração média de cálcio trocável no solo diminuiu após a fase de cultivo das forrageiras, passando de $3,3 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para $3,11 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $2,36 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, nas parcelas que receberam AA e ARC, respectivamente. A menor disponibilidade de Ca nas parcelas que receberam ARC, levando-se em conta que as remoções foram menores, pode ser indicativo de que houve formação de precipitados de baixa solubilidade com o cálcio.

Solos com teor de cálcio trocável entre 1,21 e 2,40 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados de média fertilidade, enquanto aqueles com teor entre 2,41 e 4,00 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são de boa fertilidade, de acordo com a CFSEMG (1999). Os solos das parcelas submetidas à aplicação de ARC e o das parcelas submetidas à aplicação de AA podem, no final do período de experimentação, ser classificados como de média e boa fertilidade, respectivamente.

A concentração de cálcio trocável no solo foi influenciada ($P < 0,05$) pela qualidade da água aplicada e pela profundidade da camada de solo.

Os resultados apresentados no Quadro 34 indicam que as parcelas que receberam AA complementada com adubação convencional apresentaram concentrações de cálcio (3,11 $\text{mg}.\text{dm}^{-3}$) significativamente maiores que as parcelas que receberam ARC.

Quadro 34 – Valores médios da concentração de cálcio trocável no solo, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, nas parcelas que receberam água de diferentes qualidades e em diferentes profundidades, em metros

Qualidade da Água	Concentração de Cálcio
AA	3,11 a
ARC	2,36 b
Profundidade	
0 – 0,10	3,10 a
0,10 – 0,20	2,37 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com relação à profundidade, a maior concentração de cálcio foi encontrada na camada de 0 a 0,10 m do solo, o que pode ser explicado pela baixa mobilidade desse cátion no solo e pela pequena ocorrência de chuvas no período de experimentação.

4.4.2.4. Magnésio

A concentração de Mg diminuiu após o período de experimentação, passando de $0,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Quadro 4) para $0,55 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e $0,42 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, nas parcelas que receberam AA e ARC, respectivamente. A menor concentração do Mg nas parcelas que receberam ARC pode significar carência 'do macronutriente na ARC ou, ainda, indisponibilização pela formação de precipitados com os solutos adicionados com a ARC.

Solos com teor de magnésio trocável entre $0,16$ e $0,45 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são classificados como de fertilidade baixa, enquanto solos que apresentam concentrações de Mg trocável entre $0,46$ e $0,90 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ o são como de média fertilidade, quando considerado apenas esse nutriente, de acordo com a CFSEMG (1999). Ciente disso, pode-se afirmar que o solo das parcelas submetidas à aplicação de ARC, antes do início do período experimental e após, pode ser considerado como de muito baixa e baixa fertilidade, respectivamente. Isso é um forte indicativo de que a ARC, além de não ser boa fonte de Mg para o solo, pode ter diminuído sua disponibilidade no meio. Em vista disso, o Mg pode ter sido um dos nutrientes que, estando em baixa disponibilidade no solo, impediu melhor desenvolvimento das forrageiras fertirrigadas com ARC.

As concentrações médias de magnésio no solo, após o término do período experimental, foram influenciadas significativamente pela espécie forrageira e pela qualidade da Água aplicada durante o período de cultivo. Observando os resultados apresentados no Quadro 35, pode-se afirmar que as parcelas que receberam AA e adubação convencional apresentaram concentrações de magnésio significativamente superiores às das parcelas que receberam ARC.

Em relação às gramínea forrageiras, o solo das parcelas cultivadas com aveia-preta foi o que apresentou as maiores concentrações de magnésio ($0,57 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$), embora não tenha diferido significativamente do solo das parcelas cultivadas com azevém.

Quadro 35 – Valores médios da concentração de magnésio trocável, em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, no solo das parcelas cultivadas com diferentes gramíneas e qualidades de água aplicadas durante seu cultivo

Forrageira	Concentração de Magnésio
Aveia-preta	0,57 a
Azevém	0,51 a b
Milheto	0,39 b
<hr/>	
Qualidade da água	
AA	0,55 a
ARC	0,42 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.4.1.5. Nitrato

A maior parte do nitrogênio presente em águas residuárias brutas, ricas em material orgânico, está na forma orgânica, que pode ser mineralizada, após sua disposição no solo, por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo e outros processos de degradação do material orgânico. A mineralização dos constituintes nitrogenados libera para a solução do solo íons inorgânicos do nitrogênio, principalmente NH_4^+ e NO_3^- .

A aplicação de águas residuárias em solos agricultáveis deve ser feita de maneira criteriosa em vista dos riscos que a disponibilização de nitrato no solo proporciona. O nitrato, por ser um ânion, apresenta grande mobilidade em solos predominantemente eletronegativos, podendo, dessa forma, ser lixiviado com água em percolação (irrigação ou chuvas) e contaminar águas subterrâneas (HARMSSEN e KOLENBRANDER, 1965).

Na Figura 7 estão apresentadas as curvas de concentração de nitrato, ao longo do perfil do solo, após o período de condução dos experimentos de aplicação de ARC e AA com adubação convencional, nas parcelas cultivadas com cada uma das gramíneas forrageiras estudadas.

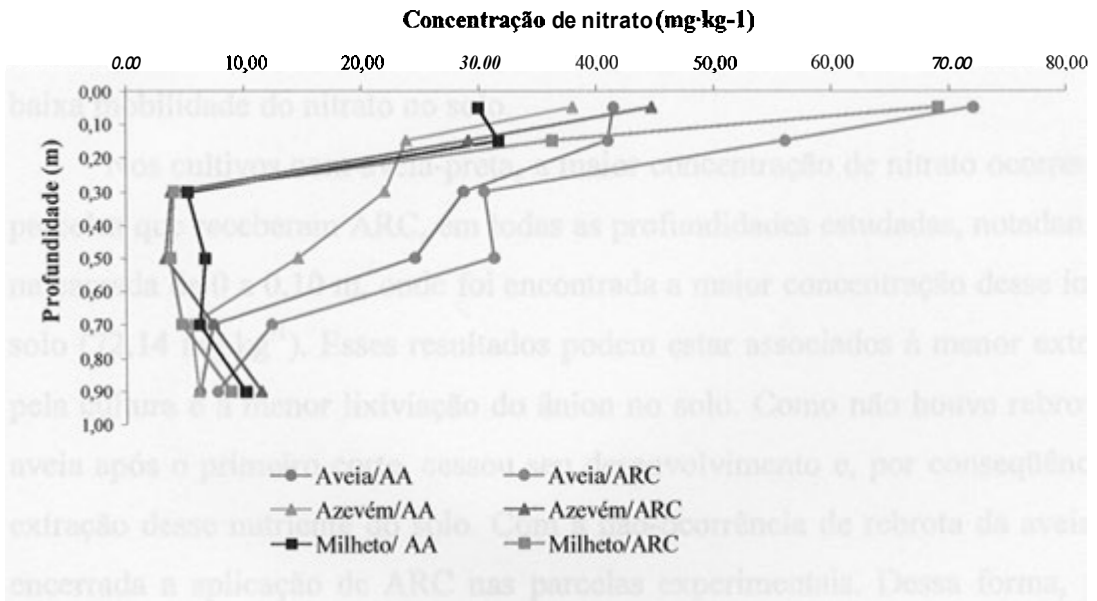


Figura 7 – Concentração de nitrato, em mg.kg^{-1} , em amostras de solo coletadas em diversas profundidades, nas parcelas experimentais cultivadas com diferentes gramíneas forrageiras e submetidas à aplicação de ARC e de AA.

A menor concentração de nitrato nas amostras do solo das camadas superficiais das parcelas submetidas à aplicação de **AA** e adubadas com uréia e cloreto de potássio, em relação àquelas que receberam **ARC**, comprova que essa água residuária foi fonte de nitrato para as culturas. Como a ARC continha, em média, 196 mg.L^{-1} de nitrogênio total, esperava-se que, após a sua aplicação no solo, ocorresse mineralização do material orgânico e a consequente disponibilização de formas inorgânicas de nitrogênio, dentre as quais o nitrato.

A maior concentração de nitrato na camada mais superficial do solo (0 a 0,10 m) proporcionada pela aplicação de ARC foi verificada em todas as forrageiras cultivadas. As baixas concentrações de nitrato encontradas nas camadas mais profundas indicam que houve mobilidade relativamente pequena desse íon no solo, a despeito da sua reconhecida mobilidade nesse meio. Em grande parte, isso pode ser devido à amostragem, que ocorreu logo após o término do período experimental, não tendo havido tempo hábil para movimentação do nitrato no perfil do solo. O balanço hídrico da água no solo

indica, para o período em que foi conduzido o experimento, maior saída de água por evapotranspiração do que precipitação, fator fundamental para se explicar a baixa mobilidade do nitrato no solo.

Nos cultivos com aveia-preta, a maior concentração de nitrato ocorreu nas parcelas que receberam ARC, em todas as profundidades estudadas, notadamente na camada de 0 a 0,10 m, onde foi encontrada a maior concentração desse íon no solo (72,14 mg.kg⁻¹). Esses resultados podem estar associados à menor extração pela cultura e à menor lixiviação do ânion no solo. Como não houve rebrota da aveia após o primeiro corte, cessou seu desenvolvimento e, por consequência, a extração desse nutriente do solo. Com a não-ocorrência de rebrota da aveia, foi encerrada a aplicação de ARC nas parcelas experimentais. Dessa forma, pelas razões de balanço hídrico, já discutidas anteriormente, houve menor possibilidade de lixiviação do ânion no perfil do solo, razão por que permaneceu retido nas primeiras camadas de solo.

Nos cultivos de milho, as maiores concentrações de nitrato foram observadas nas camadas de 0 a 0,20 m, quando as parcelas foram fertirrigadas com ARC. Uma explicação para isso é a maior quantidade de nitrogênio adicionado à superfície do solo por meio da água residuária e, como foi aplicada maior lâmina de ARC, foi possível maior lixiviação do ânion no perfil do solo.

Nos cultivos de azevém fertirrigado com ARC, as altas concentrações de nitrato observadas na camada de 0,40 a 0,60 m indicam ter havido maior mobilidade do nitrato no perfil. Apesar de o azevém fertirrigado com ARC ter apresentado maior concentração de N em seu tecido vegetal, quantificado na forma de proteína bruta, o risco de lixiviação de nitrato no perfil do solo permaneceu maior. De acordo com Alexander (1980), citado por BAYEER e MIELNICZUK (1993), considerando as condições experimentais, a aveia-preta parece ter sido, dentre as espécies forrageiras avaliadas, a pior extratora de nitrato do solo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para obtenção de redução do custo de secagem dos grãos e melhoria da qualidade de bebida, é geradora de grandes volumes de águas residuárias de grande poder poluente. Todavia, pouco se conhece sobre as características físicas, químicas e biológicas dessas águas e sobre as formas para seu tratamento.

Em virtude das restrições impostas ao seu lançamento em cursos d'água, a implantação e o desenvolvimento de novas formas de tratamento e disposição das águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos de cafeeiro tornaram-se necessários e urgentes. Dentre as soluções propostas para tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, destaca-se a sua disposição diretamente sobre o solo, por ser uma alternativa viável, tendo em vista o baixo custo de implantação e a possibilidade de aproveitamento dos nutrientes contidos nessas águas, além da utilização do material vegetal produzido para alimentação animal.

O presente trabalho teve como objetivos avaliar a capacidade de absorção de nutrientes, a produtividade e a composição bromatológica das espécies forrageiras azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e milheto (*Pennisetum americanum* L.), cultivadas em rampas de tratamento de águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do

cafeeiro; e avaliar *os* efeitos da aplicação dessas águas residuárias sobre as características químicas do solo.

O experimento foi realizado em uma área de aproximadamente **350 m²**, pertencente à Fazenda Laje, propriedade agrícola possuidora de equipamento para despolpa dos frutos do cafeeiro, localizada no Município de Viçosa, Zona da Mata mineira. Na área experimental, foram delimitadas **24** parcelas de **6 m² (3 x 2 m)**, com declividade de **5%** cada, para plantio das gramíneas forrageiras. As águas residuárias provenientes da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro (**ARC**) oriundas de tanque de sedimentação e as captadas da rede de abastecimento da propriedade agrícola (**AA**) foram aplicadas nas parcelas, manualmente, com o uso de regadores. A aplicação da **ARC** sobre o solo ocorreu apenas nos dias úteis, sob uma taxa equivalente a **250 kg.ha⁻¹.dia⁻¹** de DBO₅. As parcelas-testemunha receberam **AA**, com adubação convencional realizada **28** dias após a semeadura e depois de cada corte das forrageiras, no mesmo volume das demais parcelas que receberam **ARC**. O material vegetal das parcelas experimentais foi cortado a **0,08 m** do solo, com o auxílio de um cutelo, em uma área útil de **2 m²**, efetuando-se três cortes do azevém, dois do milho e um da aveia-preta. O primeiro corte foi efetuado aos **68** dias (aveia e azevém) e aos **110** dias (milho) após a semeadura. *Os* demais cortes foram efetuados com, aproximadamente, **40** dias de intervalo.

O solo das parcelas foi amostrado após a condução do experimento, para avaliação de suas características químicas (concentração trocável de cálcio, potássio e sódio e disponível de fósforo) até a profundidade de **0,20 m**.

Para montagem do experimento, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, constituído de três espécies forrageiras e duas qualidades de água, com quatro repetições. Para análise estatística de rendimento e remoção acumulada de nutrientes pelas forrageiras, foi usado um esquema fatorial **3 x 2** (três forrageiras e duas qualidades de água, residuária e da rede de abastecimento), com quatro repetições. Para análise da concentração de nutrientes no solo, o experimento foi arranjado num esquema fatorial **3 x 2 x 2** (três gramíneas forrageiras, duas qualidades de água e duas profundidades). Para

análise da composição bromatológica, o experimento foi arranjado em parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas pelo esquema fatorial 2 x 2 (duas forrageiras e duas qualidades de água) e, as subparcelas, pelos cortes, em número de dois.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, os resultados obtidos possibilitaram as seguintes conclusões:

- Dentre as forrageiras estudadas, o azevém mostrou-se a mais adequada para utilização em rampas de tratamento de ARC por disposição sobre o solo, visto ter apresentado maior rendimento e capacidade de remoção de nutrientes, além de rápida recuperação após o corte, boa cobertura do solo, ocorrência de poucas invasoras e maior número de cortes.
- As maiores remoções acumuladas de potássio, cálcio e magnésio foram obtidas pelo azevém e as maiores remoções de fósforo e sódio, pelo azevém e milho.
- Os nutrientes aplicados no solo por meio da ARC, à exceção do potássio, não foram suficientes para proporcionar acúmulo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade.
- A aplicação de ARC durante quatro meses de cultivo de azevém, aveia-preta e milho proporcionou redução nas concentrações de P disponível, Ca e Mg trocáveis no solo.
- Nas parcelas que receberam ARC, as maiores concentrações de nitrato foram observadas na camada superficial do solo de 0 a 0,10 m, independentemente da forrageira cultivada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, M. J. **Produção e utilização de forrageiras de inverno: aveia, azevém.** Coronel Pacheco, MG: Embrapa-CNPGL, 1989. 28 p. (Curso de Pecuária Leiteira – Documento 42).
- ALVIM, M. J.; MARTINS, C. E. Efeito da densidade de semeadura sobre a produção de matéria seca da aveia e do azevém, em cultivos puros ou consorciados. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.15, n.4, p.285-96, 1986.
- ANDRADE NETO, C. O. **Sistema simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301 p.
- ANDRADE, N. O. **Aveia como forrageira de inverno.** 1. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1992. 7 p. (Boletim Técnico, 214).
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater.** 19. ed. New York: APHA, WWA, WPCR, 1995.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande, PB: UFPB, 1991. (Estudos FAO irrigação e drenagem – Boletim 29).

- BARCELOS, A. F.; ANDRADE, I. F.; VON TIESENHAUSEN, I. M. E. V.; FERREIRA, J. J.; SETTE, R. S.; BUENO, C. F. H.; AMARAL, R.; PAIVA, P. C. A. Aproveitamento da casca de café na alimentação de novilhos confinados: resultados do primeiro ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.6, p.1208-1214, 1997.
- BÁRTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**; qualidade do café, v. 18, n.187, p. 33-42, 1997.
- BÁRTHOLO, G. F.; MAGALHÃES FILHO, A. A. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHALFOUN, S. M. Cuidados na colheita e preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**; café – normas e coeficientes técnicos, v.14, n.162, p. 33-44, 1989.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Manejo do solo: dinâmica do carbono, nitrogênio e rendimento do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. Cerrados. Fronteira agrícola do século XXI. **Resumos...** Goiânia: SBCS, 1993.v.3, p.75-76.
- BERALDO, J. A.; CECATO, U.; SÁ, J. P. G.; DAMASCENO, J. C.; JOBIN, C. C. Avaliação de cultivares e linhagens de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb). In: REUNIÃO ANUAL, DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, Juiz de Fora, 1997. **Anais...** Juiz de Fora, MG: SBZ, 1997. 4v, p.77-79.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.
- BRANDON, T. W. Treatment and disposal of waste waters from processing of coffee. **East African Agr. J.**, v. 14, p. 179, 1949.
- BUENO, C. F. H. Instalações para o beneficiamento do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17, Poços de Caldas, 1998. **Anais....** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998.
- BURNS, J. C.; WESTERMAN, P. W.; KING, L. D.; CUMMINGS, G. A.; OVERCASH, M. R.; GOODE, L. Swine lagoon effluent applied to “Coastal” Bermudagrass: I Forage yield, quality and element removal. **Journal of Environmental Quality**, v.14, n.1, p.9-14, 1985.
- CAFÉ FARAÓ, 2001. O café – a história do café – café no Brasil. Pesquisado em: <http://www.cafefaraoh.com.br> (extraído em março de 2001).
- CAFÉS DO BRASIL, 2001. Pesquisado em: <http://www.cafesdobrasil.com.br> (extraído em março de 2001).

- CAFFEE BUSINESS, 2001. Notícias Online. Pesquisado em: http://www.coffeebusiness.com.br/menu_ler_online_all.asp (extraído em março de 2001).
- CAFFEE RESEARCH INSTITUTE, 2001. Coffee plant – overview. Pesquisado em: <http://www.coffeeresearch.org/coffee/coffeeplant.htm> (extraído em março de 2001).
- CAMPOS, J. M. C. **Contaminación del agua em Costa Rica por residuos del procesamiento del café y de la porcicultura.** In: —. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Santiago: FAO, 1993. p.113-124. (Informe sobre temas hídricos, n. 1).
- CAMPOS, L. P. R.; LOPES, A. L. B.; HORTA, A. H. V.; CARNEIRO, R. **Licenciamento ambiental: coletânea de legislação.** Belo Horizonte: FEAM, Projeto Minas Ambiente, 1998. 382 p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, v.5).
- CARVALHO, V. D.; CHAGAS, A. J. R.; SOUZA, S. M. C. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, v. 18, n. 187, p.5-20, 1997.
- CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação).** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. 359 p.
- CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de esgotos domésticos no solo pelo método do escoamento superficial.** São Paulo: USP, 1991. 400 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.
- CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; NOUR, E. A.; ANDREOLI, F. D. N.; SOUZA, H. N.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, M.; AISSE, M. M.; FIGUEIREDO, R. F.; STEFANUTTI, R. Tecnologia do tratamento de águas residuárias no solo: infiltração rápida, irrigação e escoamento superficial. In: —. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 357-407.
- DELGADO, E. A.; BAROIS, I. Lombricompostaje de la pulpa de café em México. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.335-343.
- EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS, Documentos, 1).

- EPA – U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process design manual – land treatment of municipal wastewater.** Washington, D.C.: Department of the Interior, 1981.625 p.
- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. **Silagens: do cultivo ao silo.** Lavras, MG: UFLA, 2000.1996 p.
- FAO/UNESCO. **Irrigation, drainage and salinity: internacional source book.** London: Hutchinson e Co. LTD., 1973.510 p.
- FLARESSO, J. A.; GROSS, C. D.; ALMEIDA, E. X. Época e densidade de semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) no alto vale do Itajaí, SC. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, 1998. **Anais...** Botucatu, SP: SBZ, 1998.4v, p.605-607.
- FLOSS, E. L. Manejo forrageiro de aveia preta (*Avena* sp.) e azevém (*Lolium* sp.). In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 9, Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba, SP: FEALQ, 1998. p.231-268.
- FONSECA, M. G. C. **Plantio direto de forrageira: sistema de produção.** Guaíba: Agropecuária, 1997. 101 p.
- GOMES, J. F.; REIS, J. C. L. Produção de forrageiras anuais de estação fria no litoral sul do Rio Grande do Sul. In: **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.4, p.668-674, 1999.
- GUIDELI, C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E. B. Produção de matéria seca de genótipos de milho em diferentes épocas de semeadura e níveis de adubação nitrogenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, 1998. **Anais...** Botucatu, SP: SBZ, 1998. 4v, p.572-574.
- GUSS, A.; DESSAUNE FILHO, N.; BARBOSA, M. A. **Competição de forrageiras de inverno em duas regiões do Espírito Santo.** Cariacica, ES: ENCAPA, 1981. 12p. (Boletim Técnico, 4).
- HARMSSEN, G. W.; KOLENBRANDER, G. J. Soil inorganic nitrogen. In: **SOIL NITROGEN.** USA American Society of agronomy, Inc., 1965. p.43-92.
- HORTON, R. K.; PACHECO, M.; SANTANA, M. F. Study of the treatment of the wastes from th preparation of coffee. In: INTER-AMERICAN REGIONAL CONFERENCE ON SANITARY ENGINEERING, 1946. **Separata...** Caracas, Venezuela, Sept. 26 – Oct.2, 1946.

- HUBBARD, R. D.; THOMAS, D. L.; LEONARD, R. A.; BUTLER, J. L. Surface runoff and shallow ground water quality as affected by center pivot applied dairy cattle waste. **Transaction of the ASAE**, v.30, n.2, p.430-437, 1987.
- ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2001a. Botanical aspects – plant breeding. Pesquisado em: <http://www.ico.org/botanic2.htm> (extraído em março de 2001).
- ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2001b. Coffee in history – the history of coffee. Disponível em: <http://www.ico.org/br/story2.htm>
- LEITE, C. A. M.; SILVA, O. M. A demanda de cafés especiais. In: — **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. 50-74.
- LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Trad. e adapt. De Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 155 p. Título original: Soil fertility manual, Potash & Phosphate Institute (PPI), 1978.
- MAIA, M. C.; PINTO, J. C.; GONÇALVES, T. M. Cultivo de milho em sucessão à cultura do feijão no sul de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, Botucatu, 1998. **Anais...** Botucatu, SP: SBZ, 1998. 4v, p.55-57.
- MARA, D. D.; CAIRNCROSS, S. **Guidelines for the safeuse of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture**. Geneva: World Health Organization, 1989. 187p.
- MATIELLO, J. B. **Quentes como o café: indicações de uso de equipamentos, produtos e serviços para a cafeicultura**. Rio de Janeiro: MAA/ PROCAFÉ, 1999. p. 124-140.
- MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A.; PINTO, A. B.; FIA, R.; FUKUNAGA, D. C. Pollutant potential of wastewater of the coffee fruits processing. In: INTER-REGIONAL COFERENCE ON ENVIRONMENT-WATER, 4,2001, Fortaleza. **Proceedings...** Brasilia: ABID, 2001. p. 158-165.
- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; BORGES, J. D. Caracterização de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro e possibilidade de seu uso na fertirrigação. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000a. p.345-355.

- MATOS, A. T.; SANTOS, J. H. T.; FIA, R. Contaminação do solo em áreas de depósito de cascas de frutos de cafeeiro. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 1, Poços de Caldas, 2000. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café e MINASPLAN, 2000b, v.2, p.981-984.
- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: **SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS**, 1, Ponte Nova, 1995. **Anais...** Viçosa, MG: EPAMIG, 1996. p. 45-54.
- MATOS, A. T.; SEDIYAMA, M. A. N.; VIDIGAL, S. M.; GARCIA, N. C. P.; RIBEIRO, M. F. Compostos orgânicos contendo dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio: I - Dinâmica da compostagem. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 24, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995.
- MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C. Nitrogênio e métodos de semeadura no rendimento da forragem de pós colheita de sementes de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) In: **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p.971-977, 2000.
- MORAES, A.; GROFF, E. C.; CARVALHO, P. C. F.; HAZARD, L.; MOUSSET, C. Avaliação da produção de espécies forrageiras de inverno. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 35, Botucatu, 1998. **Anais...** Botucatu, SP: SBZ, 1998. 4v, p.307-309.
- MORAES, Y. J. B. **Forrageiras: conceitos, formação, manejo**. Guaíba, RS: Agropecuária, 1995. 215 p.
- MOREIRA, A. C. O tesouro redescoberto. **Revista Panorama Rural**, v.1, n.6, p.16-41, 1999.
- MULLIN, J. B.; RILEY, J. P. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to sea-water. **Analytic chimica Acta**, v.12, p.464-480, 1955.
- NEMEROW, N. L. **Liquid waste of industry - Theories, practices, and treatment**. USA: Wesley Publishing Company Inc., 1971. 584 p.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of beef cattle**. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Science, 1984. 90 p.
- NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 6.ed. Washington, D.C.: National Academy of Science, 1988. 157 p.

- OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia, SP: EMBRAPA/CNPSA, 1993. 188 p. (EMBRAPA/CNPSA, Documentos, 27).
- PAGANINI, W. S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície.** São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232 p.
- PEREIRA, O. G. **Produtividade do milho (*Zea mays* L.), do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), da aveia (*Avena sativa*), do milheto (*Pennisetum americanum* L.) e do híbrido (*S. bicolor* x *S. sudanense*) e respectivos valores nutritivos sob forma de silagem e verde picado.** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1991. 86 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização.** Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 343 p.
- QUEIROZ, F. M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA EM 1991/92. In: **REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA.** Passo Fundo, RS: FA-UPF, 1991. 43 p.
- REIS, R. A.; RODRIGUES, L.R.; COAN, R.; YAMANAKA, N. Avaliação de cultivares de aveia para produção de forragem e de sementes. In: LIMA, F. A. M.; MARTINS FILHO, R.; VILLARROEL, A. B. S.; FERNANDES, A. A. O.; MOURA, A. A. A.; FREITAS, B. M. (Eds.). **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 33, 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. v. 2, p. 95-97.
- SAUCEDO, C. G.; ROMANO, M. J. M.; GUTIÉRREZ, S. G.; DELGADO, V. F.; RAMÍREZ, R. G.; PERRAUD, G. Experiencia mexicana de valorización biotecnológica de subproductos de la agroindustria del café. In: **INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY**, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.329-334.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes. In: **DIA DE CAMPO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS**, Concórdia, 1994. **Anais...** Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1994. p.47. (EMBRAPA-CNPSA, Documento, 32).

- SILVA, D. J. **Análises de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 165 p.
- SILVA, J. S.; BERBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenamento de café**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 1999. 146 p.
- SILVA, O. M.; LEITE, C. A. M. Competitividade e custos do café no Brasil. In: **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p. 27-50.
- SMITH, R. G.; SCHROEDER, E. D. Field studies of overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.57, n.7, p.785-794, 1985.
- SOCOL, C. R.; LEIFA, F.; WOICIECHOWSKI, A. L.; BRAND, D.; MACHADO, C.M.M.; SOARES, M.; CHRISTEN, P.; PNADEY, A. Experiência brasileira na valorização biotecnológica de subprodutos da agroindústria do café. In: **INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY**, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.323-328.
- SOUZA, S. M. C.; CARVALHO, V. L. Efeito de microorganismos na qualidade da bebida de café. **Informe Agropecuário**, v.18, n.187, p.5-20, 1997.
- STEFANUTTI, R.; MATTIAZO, M. E.; COURACCI FILHO, B.; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. Comportamento de duas forrageiras sob diferentes taxas de aplicação de efluentes sanitários utilizando o método do escoamento superficial. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 28, Pelotas, 1999. **Anais...** Pelotas, RS: UFPEL, 1999. (CD-ROM).
- STOBBS, T. H. A comparison of zulu sorghum, bulrush millet and White panicum in terms of yield, forage quality and milk production. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.**, v.15, n.73, p.211-218, 1975.
- TAYLOR, G.L.; NEAL, L.A. Land treatment of waste as an industrial siting advantage. In: **INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE**, 37, Purdue, 1982 **Proceedings...** Purdue: 1982. p. 11-13.
- TERADA, M.; ZUCCOLO, A. C. F.; PAGANINI, W. S. Tratamento de efluentes domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. **Revista DAE**, v.45, n.142, p. 249-254, 1985.

- VASCO, J. Z. Procesamiento de frutos de café por vía húmeda y generación de subproductos. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, Londrina, 2000. **Proceedings...** Londrina, PR: UFPR, IAPAR, IRD, 2000. p.345-355.
- VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. Potencialidade de uso de resíduos e subprodutos do processamento agroindustrial do café. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3, 2000, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR/IRD, 2000. p. 357-359.
- VIEIRA, M.; CARVALHO, G. Perspectivas para cafés do Brasil. In: **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**, Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2000. p.75-89.
- VON SPERLING, M. Alternativas tecnológicas para o tratamento de águas residuais. **Revista Ação Ambiental**, v.2, n.6. p.11-14, 1999.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária, 1996.243 p.
- WESTERMAN, P. W.; KING, L. D.; BURNS, J. C.; CUMMINGS, G. A.; OVERCASH, M. R. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture II Rainfall runoff and **soil** chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.16, n.2, p.106-12, 1987.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1A – Análise de variância do rendimento acumulado de matéria seca (RMS) e do rendimento acumulado de proteína bruta (RPB) das gramíneas forrageiras, avaliadas durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	RMS			RPB		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	49,224	16,4080	7,69	2.607.012,0	869.003,8	7,50
Forrageiras (F)	2	193,052	96,5261	45,26**	4.657.281,0	2.328.640,0	20,10**
Qualidade da água (A)	1	15,472	15,4722	7,25*	1.290.005,0	1.290.005,0	11,13**
(F x A)	2	1,354	0,6770	0,32 ^{ns}	46.601,1	23.300,5	0,20 ^{ns}
Resíduo	15	31,9933	2,1329		1.738.043,0	115.869,5	
Coeficiente de variação			16,4			23,2	

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 2A – Análise de variância dos conteúdos de matéria seca (MS) e proteína bruta (PB) no tecido vegetal das gramíneas forrageiras azevém-comum e milho, considerando-se o primeiro e segundo cortes durante o período experimental

100

Fontes de Variação	GL	Conteúdo de MS			Conteúdo de PB		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	52,3734	17,4578	6,80	58,9906	19,6635	3,80
Forrageiras (F)	1	56,5517	56,5517	19,97**	17,8802	17,8802	2,31 ^{ns}
Qualidade da água (A)	1	12,7260	12,7260	4,49 ^{ns}	32,2003	32,2003	4,17 ^{ns}
(F x A)	1	8,5698	8,5698	3,03 ^{ns}	0,6498	0,6498	0,08 ^{ns}
Resíduo (a)	9	25,4813	2,83 13		69,5200	7,7244	
Parcelas	15						
Cortes (C)	1	20,7368	20,7368	9,89**	6,0378	6,0378	1,17 ^{ns}
(C x A)	1	1,9900	1,9900	0,95 ^{ns}	0,5460	0,5460	0,11 ^{ns}
(C x F)	1	91,8690	91,8690	43,84**	68,9137	68,9137	13,30**
(C x A x F)	1	0,3200	0,3200	0,15 ^{ns}	16,1312	16,1312	3,11 ^{ns}
Resíduo (b)	12	25,1491	2,0958		62,1753	5,1813	
Total	31	295.7669			333,0450		
Coeficiente de variação			9,1			13,9	

* Significativa a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativa a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 3A – Análise de variância dos conteúdos de fósforo e potássio no tecido vegetal das gramíneas forrageiras azevém-comum e milho, considerando-se o primeiro e segundo cortes durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Concentração de Fósforo			Concentração de Potássio		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	0,1624	0,0541	8,41	4,2284	1,4095	8,54
Forrageiras (F)	1	0,0026	0,0026	0,36 ^{ns}	11,9072	11,9072	22,86**
Qualidade da água (A)	1	0,0013	0,0013	0,19 ^{ns}	0,4050	0,4050	0,78^{ns}
(F x A)	1	0,0399	0,0399	5,51 [*]	1,1935	1,1935	2,29^{ns}
Resíduo (a)	9	0,0652	0,0072		4,6881	0,5209	
Parcelas	15						
Cortes (C)	1	0,0095	0,0095	1,47 ^{ns}	2,5425	2,5425	15,40**
(C x A)	1	0,0116	0,0116	1,81 ^{ns}	0,1984	0,1984	1,20^{ns}
(C x F)	1	0,0488	0,0488	7,59 [*]	6,7712	6,7712	41,01**
(C x A x F)	1	0,0026	0,0026	0,41 ^{ns}	0,0010	0,0010	0,01^{ns}
Resíduo (b)	12	0,0772	0,0064		1,9813	0,1651	
Total	31	0,4212			33,9167		
Coeficiente de variação			26,9			11,8	

* Significativa a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativa a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 4A – Análise de variância dos conteúdos de cálcio e magnésio no tecido vegetal das gramíneas forrageiras azevém-comum e milho, considerando-se o primeiro e segundo cortes durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Concentração de Cálcio			Concentração de Magnésio		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	0,03 11	0,0104	1,43	0,0186	0,0062	3,61
Forrageiras (F)	1	0,1378	0,1378	32,03**	0,1035	0,1035	51,01**
Qualidade da água (A)	1	0,0136	0,0136	3,16 ^{ns}	0,4500E-03	0,4500E-03	0,22 ^{ns}
(F x A)	1	0,0024	0,0024	0,57 ^{ns}	0,2000E-03	0,2000E-03	0,10 ^{ns}
Resíduo (a)	9	0,0387	0,0043		0,0183	0,0020	
Parcelas	15						
Cortes (C)	1	0,1125E-01	0,1125E-01	0,02 ^{ns}	0,6125E-03	0,6125E-03	0,36 ^{ns}
(C x A)	1	0,03 12	0,0312	4,3 1 ^{ns}	0,1800E-02	0,1800E-02	1,05 ^{ns}
(C x F)	1	0,0041	0,0041	0,56 ^{ns}	0,3125E-03	0,3125E-03	0,18 ^{ns}
(C x A x F)	1	0,00 15	0,0015	0,21 ^{ns}	0,2220E-15	0,2220E-15	0,00 ^{ns}
Resíduo (b)	12	0,0870	0,0072		0,0206	0,0017	
Total	31	0,3476			0,1643		
Coeficiente de variação			16,5			17,8	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 5A – Análise de variância do conteúdo de sódio no tecido vegetal das gramíneas forrageiras azevém-comum e milho, considerando-se o primeiro e segundo cortes durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Concentração de Sódio		
		SQ	QM	F
Blocos	3	0,3713E-04	0,1238E-04	0,80
Forrageiras (F)	1	0,9800E-04	0,9800E-04	4,58 ^{ns}
Qualidade da água (A)	1	0,3125E-05	0,3125E-05	0,15 ^{ns}
(F x A)	1	0,1800E-04	0,1800E-04	0,84 ^{ns}
Resíduo (a)	9	0,1926E-03	0,2140E-04	
Parcelas	15			
Cortes (C)	1	0,6125E-05	0,6125E-05	0,40 ^{ns}
(C x A)	1	0,5512E-04	0,5512E-04	3,56 ^{ns}
(C x F)	1	0,1620E-03	0,1620E-03	10,47**
(C x A x F)	1	0,8000E-05	0,8000E-05	0,52 ^{ns}
Resíduo (b)	12	0,1858E-03	0,1548E-04	
Total	31	0,7659E-03		
Coeficiente de variação		12,5		

* Significativa a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativa a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 6A – Análise de variância da extração acumulada de fósforo e potássio das gramíneas forrageiras avaliadas durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Extração de Fósforo			Extração de Potássio		
		SO	OM	F	SO	OM	F
Blocos	3	2.097,780	699,2601	11,17	165.767,2	55.255,75	11,71
Forrageiras (F)	2	1.473,735	736,8676	11,77**	159.715,1	79.857,55	16,92**
Qualidade da Água (A)	1	174,0431	174,0431	2,78 ^{ns}	34.678,05	34.678,05	7,35*
(F x A)	2	113,2303	56,6152	0,90 ^{ns}	3.745,831	1.872,92	0,40 ^{ns}
Resíduo	15	939,3901	62,6260		70.808,06	4.720,538	
Coeficiente de variação			28,1			22,3	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 7A – Análise de variância da extração acumulada de cálcio e magnésio das gramíneas forrageiras avaliadas durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Extração de Cálcio			Extração de Magnésio		
		SQ	QM	F	-	QM	F
Blocos	3	2.602,052	867,3508	5,30	507,3972	169,1324	10,63
Forrageiras (F)	2	5.496,932	2.748,466	16,79**	1.364,385	682,1923	42,86**
Qualidade da água (A)	1	1.733,830	1.733,830	10,59**	135,8505	135,8505	8,54*
(F x A)	2	80,9727	40,4864	0,25 ^{ns}	16,0328	8,0164	0,50 ^{ns}
Resíduo	15	2.454,862	163,6575		238,7402	15,9160	
Coeficiente de variação			26,8			19,6	

* Significativa a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativa a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 8A – Análise de variância da extração acumulada de sódio das gramíneas forrageiras avaliadas durante o período experimental

Fontes de Variação	GL	Extração de Sódio		
		SQ	QM	F
Blocos	3	8,3319	2,7773	5,61
Forrageiras (F)	2	6,9884	3,4942	7,06**
Qualidade da água (A)	1	3,9123	3,9123	7,91*
(F x A)	2	0,0489	0,0244	0,05 ^{ns}
Resíduo	15	7,4228	0,4949	
Coeficiente de variação			23,2	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 9A – Análise de variância das concentrações de fósforo e potássio nas amostras de solo das parcelas experimentais após o término do período experimental

Fontes de Variação	GL	Concentração de Fósforo			Concentração de Potássio		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	19.156,81	6.385,602	5,53	1.212,00	404,00	0,13
Forrageiras (F)	2	3.436,593	1.718,297	1,49 ^{ns}	14.209,54	7.104,771	2,25 ^{ns}
Qualidade da água (A)	1	16.331,94	16.331,94	14,15**	161.008,3	161.008,3	50,94**
Profundidade (P)	1	1.971,203	1.971,203	1,71 ^{ns}	18.881,33	18.881,33	5,97*
(F x A)	2	7.528,450	3.464,225	3,26 ^{ns}	4.124,292	2.062,146	0,65 ^{ns}
(F x P)	2	1.620,527	810,2633	0,70 ^{ns}	132,0417	66,0208	0,02 ^{ns}
(A x P)	1	446,5199	446,5199	0,39 ^{ns}	1.680,333	1.680,333	0,53 ^{ns}
(F x A x P)	2	2.683,815	1.341,907	1,16 ^{ns}	721,2917	360,6458	0,11 ^{ns}
Resíduo	33	38.090,59	1.154,260		104.297,5	3.160,529	
Coeficiente de variação			112			47,3	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 10A – Análise de variância das concentrações de cálcio e magnésio nas amostras de solo das parcelas experimentais após o término do período experimental

Fontes de Variação	GL	Concentração de Cálcio			Concentração de Magnésio		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Blocos	3	79,7954	26,5985	24,02	2,0912	0,6971	22,55
FORAGEIRAS (F)	2	4,9592	2,4796	2,24 ^{ns}	0,2652	0,1326	4,29*
QUALIDADE DA ÁGUA (A)	1	6,7126	6,7126	6,06*	0,2380	0,2380	7,70**
PROFUNDIDADE (P)	1	6,4021	6,4021	5,78*	0,0574	0,0574	1,86 ^{ns}
(F x A)	2	1,6355	0,8178	0,74 ^{ns}	0,1121E-01	0,5608E-02	0,18 ^{ns}
(F x P)	2	0,7547	0,3774	0,34 ^{ns}	0,0300	0,0150	0,49 ^{ns}
(A x P)	1	0,3521E-03	0,3521E-03	0,00 ^{ns}	0,6533E-02	0,6533E-02	0,21 ^{ns}
(F x A x P)	2	0,2097	0,1048	0,09 ^{ns}	0,6067E-02	0,3033E-02	0,10 ^{ns}
Resíduo	33	36,5446	1,1074		1,0201	0,3091E-01	
Coeficiente de variação			38,5			35,9	

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo.