

Características do Efluente e Composição Químico-Bromatológica da Silagem de Capim-Elefante sob Diferentes Níveis de Compactação¹

Daniele Rebouças Santana Loures², Rasmô Garcia³, Odilon Gomes Pereira³,
Paulo Roberto Cecon³, Alexandre Lima de Souza⁴

RESUMO - Foi realizado um experimento utilizando capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*) cv. Cameroon, com o teor de 13% matéria seca, submetido a cinco pressões de compactação no processo de ensilagem, com o objetivo de determinar as características quantitativas e qualitativas do efluente produzido, bem como a qualidade da silagem. A ensilagem foi realizada em silos cilíndricos de PVC com 25 cm de diâmetro e 75 cm de altura. Aplicaram-se as pressões de 356,67; 446,67; 531,33; 684,00 e 791,00 kg/m³. A produção de efluente aumentou, à medida que ocorreu o incremento das pressões de compactação, registrando-se maior produção nos dois primeiros dias após a ensilagem, independentemente da pressão exercida. Avaliaram-se as perdas totais, sendo possível observar que a compactação equivalente a 550 kg/m³ apresentou maior adequação ao processo de conservação. Os valores observados no efluente para demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), relação DBO/DQO, pH, teores de magnésio e sódio não variaram em função da compactação efetuada e ao longo dos dias de coleta, sendo equivalentes a 14.596,69 mg/L, 31.138,2 mg/L, 2,38, 4,30, 0,3997% e 0,0008%, respectivamente. Para os teores de fósforo, potássio, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, nitrogênio orgânico, proteína bruta e sólidos totais foram observadas variações, devido à pressão de compactação, ao longo de todo o período de avaliação.

Palavras-chave: conservação, poluição, minerais, pH, *Pennisetum purpureum*, perdas, pressão

Effluent Characteristics and Chemical-Bromatologic Compound of Elephantgrass Silage under Different Levels of Pressure

ABSTRACT - An experiment was conducted using elephant grass (*Pennisetum purpureum Schum.*) cv. Cameroon, with the purpose of determining the quantitative and qualitative characteristics of effluent released, correlating this with levels of pressure and the quality of silage. The material with 13% of dry matter was ensiled in experimental plastic silos. The levels of pressure were: 356.67; 446.67; 531.33; 684.00 and 791.00 kg/m³. The effluent of silages with high moisture content was collected and measured during seven days. In silages with high moisture content, for level of 356.67 kg/m³, were found proportional losses to those found in high pressure (791.00 kg/m³). In relation of minimum of total losses, the pressure more desirable was 550.00 kg/m³ in this experimental conditions. The values of DOB₅ (14.596,69 mg/L), DQO (31.138,2 mg/L), DQO/DBO (2.38), pH (4.30), Mg (0.3997% DM) and Na (0.0008% DM) did not varied with pressure and number of days of collect. Content of P, K, level of ammoniacal nitrogen, total nitrogen, organic nitrogen, crude protein and total solids were influenced by pressure and number of days.

Key Words: conservation, losses, moisture content, *Pennisetum purpureum*, pH

Introdução

Os diferentes processos de conservação de forragens convivem rotineiramente com perdas de nutrientes de diversas magnitudes. Especificamente para o processo de ensilagem, a qualidade final do alimento está diretamente relacionada ao material que lhe deu origem e às condições em que o mesmo foi ensilado. Portanto, muitos estudos comprovam que a qualidade da silagem é dependente da espécie vegetal utilizada no que se refere ao seu grau de maturidade e teor de

açúcares solúveis, assim como das operações realizadas ao longo do seu processo de conservação (rápido enchimento do silo, expulsão do oxigênio da massa ensilada e correto vedamento do silo ao longo de todo o período de conservação), contudo são escassas as informações a respeito das perdas de nutrientes que, eventualmente, ocorrem ao longo do período de ensilagem, na forma de efluente.

Segundo McDonald et al. (1991), o efluente contém grande quantidade de compostos orgânicos como: açúcares, ácidos orgânicos, proteínas e outros compo-

¹ Parte da Tese de Mestrado, apresentada à UFV, pelo primeiro autor, parcialmente financiada pela CAPES.

² Estudante de Doutorado – Produção Animal/ESALQ – Piracicaba -SP. E.mail: dloures@esalq.usp.br

³ Professores da UFV, bolsistas do CNPq.

⁴ Doutor em Zootecnia/UFV. E.mail: alex-ls@bol.com.br

nentes provenientes do material ensilado, constituindo uma fonte nutricional para os diferentes microorganismos saprófitos que vivem em córregos e rios. Quando este atinge os cursos d'água, disponibiliza substâncias que são utilizadas por microorganismos e, durante este evento, parte ou todo o oxigênio presente na água pode ser esgotado. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) presente no efluente da silagem é tida como alta, chegando a superar os valores encontrados no esgoto doméstico, assim sendo é considerada um sério poluente para lençóis freáticos e cursos d'água. O efluente é também considerado bastante corrosivo, fato que o torna difícil de ser armazenado. Em vista disso, tem sido recomendado seu aproveitamento, como adubo de culturas, na alimentação animal e, na impossibilidade desta reciclagem, deve-se efetuar o tratamento do efluente.

O volume do efluente produzido em um silo é influenciado, principalmente, pelo conteúdo de matéria seca da espécie forrageira ensilada e o grau de compactação, além de outros, tais como: tipo de silo, pré-tratamento mecânico da forragem, dinâmica de fermentação e fertilização do solo que tem influência direta sobre o desenvolvimento da cultura e, em consequência, sobre a percentagem de matéria seca.

O maior volume de efluente ocorre no período inicial da ensilagem. Isso foi verificado em um estudo sobre o fluxo de efluente, em que Bastiman (1976), utilizando 11 silagens armazenadas em silo tipo trincheira, observou que o pico do fluxo ocorria na primeira semana e quantidades diárias de 29 L/t foram registradas para materiais com um conteúdo de MS inferior a 16%. Silagens contendo 25% de MS produziram somente 45% do total do efluente, nos primeiros 20 dias, enquanto verifica-se aumento de 90% para materiais ensilados com um conteúdo de MS de 16%.

Com o objetivo de estimar o efeito da compactação do silo sobre a produção de efluente, Reynolds & Williams (1995) propuseram um modelo matemático capaz de representar os eventos envolvidos na produção de efluente. Outros autores (Pitt & Parlange 1987; Sutter 1957, citado por Jones & Jones 1995; Zimmer, 1967, citado por Woolford 1984; Bastiman, 1976) também efetuaram propostas matemáticas com o objetivo de quantificar a influência dos fatores envolvidos na produção de efluente de silagens. Na maioria das equações propostas, é possível observar que os níveis mínimos do efluente ocorrem quando o teor de MS das forrageiras varia entre 29 e 30%, no momento da colheita.

A importância do teor de MS da forragem influenciando a quantidade de efluente é demonstrada por Castle & Watson (1973) que relatam a inexistência da produção de efluente em silagens de alfafa, azevém e centeio, quando o teor de matéria seca destas foram superiores a 23%. A produção inicial do efluente parece estar relacionada ao rompimento da membrana celular da planta, ou seja, à alteração da integridade estrutural e ao começo da fermentação (Greenhill, 1964; Pitt & Parlange, 1987). Tão logo ocorre a exposição do conteúdo celular, é iniciada a sua percolação. Materiais muito úmidos são facilmente compactados, o que resulta em uma barreira física, que dificulta o escoamento do efluente (Woolford, 1984). Este mesmo autor observa que materiais mais secos, geralmente de idade mais avançada e advindos de cortes mais longos, por apresentarem dificuldade de compactação da massa ensilada, permitem o melhor escape do efluente.

Segundo Woolford (1984), a perda de matéria seca da silagem pelo efluente envolve valores entre 5 a 10%. Trabalhos da Universidade de Cornell relataram perdas de 6,8-8,7% de matéria seca da silagem de trevo e alfafa armazenada com 77-85% de umidade em silos tipo torre com aproximadamente 9,1 m. Já Gordon et al. (1957) observaram perdas de MS entre 12 e 13% em silagens de capim dos pomares e trevo com 85% de umidade em silos tipo torre com 7,6 m.

McDonald (1981) verificou que a demanda bioquímica de oxigênio em efluente, conforme o tipo de silagem, variava na literatura de 40.000 a 90.000 mg/L. A produção de efluente pode ser o fator responsável por 25% dos incidentes de poluição de água na agricultura da Inglaterra, em épocas úmidas de colheita, quando comparado a 14% em épocas secas. Haigh (1994) cita outros fatores técnicos que vêm contribuindo para aumentar a quantidade de efluente das silagens, e destaca os seguintes: redução do teor de MS das forragens no momento da ensilagem, inadequação das máquinas e implementos utilizados na confecção de silagens (por exemplo, eficiência de corte), aumento da altura dos silos cilíndricos, com consequente aumento da pressão da massa, o crescente uso de fertilizantes nitrogenados e de determinados aditivos. Inúmeros esforços têm sido feitos com o objetivo de diminuir os efeitos provocados pela emissão do efluente advindo dos silos, principalmente, no exterior. No Brasil, poucos esforços vêm sendo realizados com o objetivo de conhecer o efeito do efluente sobre os mananciais, assim como pratica-

mente inexistem esforços no sentido de reduzir os impactos provocados por este agente tóxico.

Objetivou-se com este estudo conhecer as características qualitativas e quantitativas do efluente oriundo da ensilagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Cameroon), assim como a qualidade de sua silagem, obtida mediante a utilização de diferentes pressões de compactação.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, no período de 13 de maio a 17 de setembro do ano de 1998.

Silos experimentais em tubos de PVC, cujas dimensões eram: 75 e 25 cm de altura e diâmetro, respectivamente, foram dispostos em bancadas de madeira. Estes silos foram devidamente lacrados com silicone, tampas de madeira e sacos plásticos e, em sua parte inferior, havia uma tubulação por onde foi feito o escoamento do efluente. Abaixo dos silos, foram colocadas garrafas de plástico devidamente identificadas para a coleta do fluido. O material ensilado foi o capim-elefante, cortado manualmente, variando suas partículas 6,35 a 12,7 mm, quando o teor de MS era igual a 13,0%. O material foi ensilado, sob diferentes densidades 356,67; 446,67; 531,33; 684,00 e 791,00 kg/m³, de acordo com a relação existente entre seu peso e o volume do silo (kg/m³), com pesos de 13,19; 16,52; 19,67; 25,33 e 29,77 kg respectivamente. Amostras foram efetuadas no momento da ensilagem com o objetivo de proceder a determinação dos níveis de MS e da composição bromatológica. Os silos experimentais foram pesados individualmente, antes, após a ensilagem, conforme a pressão imprimida sobre a massa vegetal, na seqüência da maior compactação para a menor, para as três repetições, fazendo-se em seguida o fechamento dos silos.

O volume do efluente foi determinado mediante duas coletas diárias, uma, pela manhã, e outra, à tarde, do primeiro ao sétimo dia, através da mensuração efetuada com auxílio de uma proveta e, logo após, o efluente foi conduzido ao freezer, onde permaneceu armazenado à temperatura de - 20°C.

Terminado o período de coleta do efluente, as tubulações de escoamento foram vedadas com fita adesiva.

Aos 125 dias após o fechamento dos silos, foram efetuadas pesagens dos mesmos e efetuada a abertura

e retirada do material ensilado, tendo sido o conteúdo de cada silo misturado uniformemente. As amostras foram congeladas para serem posteriormente utilizadas na determinação do valor nutritivo das silagens.

As amostras do material ensilado e da silagem foram liofilizadas e moídas para a realização das seguintes análises: matéria seca (MS), minerais (P, Mg, Ca, Na e K), proteína bruta (PB) pelo método semi-micro Kjeldahl, carboidratos solúveis (CS), pH, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e o nitrogênio amoniacal expresso como percentagem do nitrogênio total, segundo Silva (1981); granulometria, segundo ANSI/ASAE (1993). O efluente foi analisado quanto aos teores de minerais (P, Mg, Ca, Na e K), utilizando o espectrofotômetro, segundo Silva (1981); a demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH e nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e sólidos totais ou matéria seca, segundo Silva (1977).

A densidade da massa ensilada foi determinada pela relação existente entre o peso líquido das silagens e volume interno dos silos experimentais.

Os parâmetros da silagem: matéria seca (MS), minerais (P, Mg, Ca, Na e K), proteína bruta (PB), carboidratos solúveis, pH, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foram estudadas adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram interpretados estatisticamente por meio de análises de variância e regressão. Os modelos foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível até 10% de probabilidade, utilizando-se o teste "t". Para as variáveis do efluente: minerais (P, Mg, Ca, Na, K), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH e nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e sólidos totais ou matéria seca, os tratamentos foram dispostos em um esquema de parcela subdividida, tendo, nas parcelas, as densidades (356,67; 446,67; 531,33; 684,00 e 791,00 kg/m³) e na subparcela, os dias de coleta do efluente (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), em delineamento inteiramente ao acaso com três repetições. Os dados foram analisados empregando-se a metodologia da superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão,

adotando-se o nível até 10% de probabilidade utilizando-se o teste “t”, e no coeficiente de determinação calculado através da soma de quadrados de regressão dividido pela soma de quadrado de tratamentos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAEG - Sistema para Análises Estatística e Genética (Universidade Federal de Viçosa – UFV, 1995).

Resultados e Discussão

O capim-elefante contendo alto teor de umidade apresentou teor médio de 9,08% de CS, no momento da ensilagem, que contribuiria para melhoria na qualidade da silagem, considerando que Zago (1991) verificou que teores de açúcares ao redor de 6 a 8% eram suficientes para um adequado processo de fermentação. Porém, segundo Vilela (1989) há grande probabilidade de ocorrência de fermentação secundária, devido ao baixo teor de MS na planta. Apesar do elevado teor de umidade, as silagens não apresentaram odor desagradável e sua coloração era de verde intenso semelhante à do material original. Nas camadas próximas às extremidades do silo, ocorreu certa deterioração aeróbia, acarretando, assim, má preservação da silagem nessas faixas.

Também, foi verificada maior umidade no material localizado na parte inferior do silo.

Para a matéria seca, ajustou-se a seguinte equação: $\hat{Y} = 13,3369 + 0,00163326 \cdot CO$ ($r^2 = 0,39$), estimando-se incrementos de 0,0016% por unidade de aumento na pressão de compactação. Tal comportamento se explica pela acentuada perda de efluente sob maiores condições de pressão. Observou-se efeito quadrático ($P < 0,01$) para o teor médio de PB nas diferentes pressões de compactação, tendo sido observado 11,18% como valor máximo para o nível de compactação $592,08 \text{ kg/m}^3$ (Figura 1).

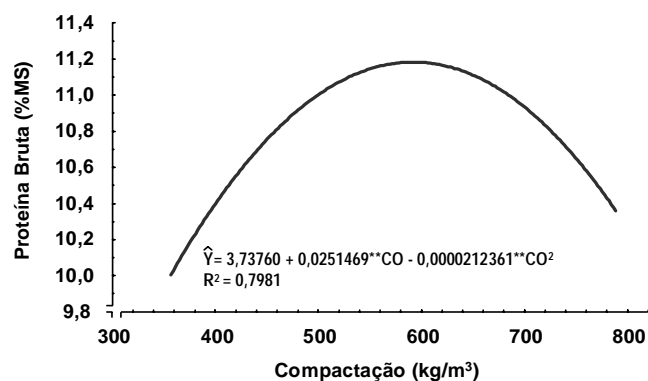
Baixos teores protéicos foram obtidos quando as compactações foram de $356,66$ e $791,00 \text{ kg/m}^3$. Estas observações podem ter ocorrido em razão das grandes perdas de compostos nitrogenados pela lixiviação, assim como pela deterioração microbiana, dado o alto teor de umidade (78%) da massa ensilada. Observação semelhante a esta foi efetuada por Lafetá (1984), que relacionou o alto teor de umidade da silagem à grande lixiviação dos compostos nitrogenados.

Para os teores fibra em detergente neutro e fibra de detergente ácido, detectou-se efeito quadrático da

pressão de compactação, estimando-se teores mínimos para as compactações de $585,45$ e $598,15 \text{ kg/m}^3$, registrando-se valores de 42,22 e 68,85%, respectivamente (Figura 2).

O elevado teor observado para FDA na densidade de massa, igual a $365,66 \text{ kg/m}^3$, pode ser atribuído à ocorrência da reação de Maillard, a qual produz componente insolúvel em detergente ácido (Vilela, 1989), o que também explica o teor de FDN sob esta compactação, pois, ocorrendo essa reação, os açúcares e glicídios reagiriam com o aminoácido, diminuindo a digestibilidade e aumentando o FDN (Mühlbach, 1998). Possíveis retenções de ar, na massa ensilada, poderiam ter ocorrido, ocasionando perdas. Em compactações elevadas, grande parte dos constituintes passíveis de serem solubilizados da matéria seca (CS, minerais etc) pode ser consumida ou lixiviada ao longo do processo de ensilagem, seguindo-se a fermentação, favorecendo o aumento do teor de FDN. A perda por efluente seria o principal fator responsável pelos teores obtidos de FDA e FDN, na fração da matéria seca, que passam a representar uma parte significativa dos componentes da silagem; este fato explicaria o aumento das respectivas frações.

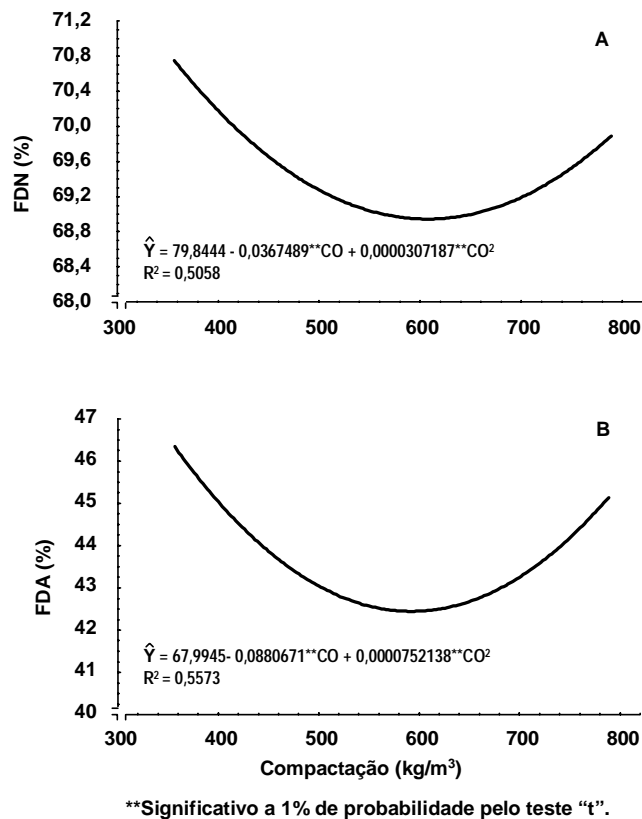
O comportamento das curvas relacionadas aos modelos matemáticos que descrevem os teores de nitrogênio amoniacal e pH, e os seus respectivos coeficientes de determinação são apresentados na



**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

Figura 1 - Estimativa da percentagem de proteína bruta de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

Figure 1 - Estimate of percentage of crude protein of elephant grass silage with 13% of dry matter, under levels of pressure.



**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste "t".

Figura 2 - Estimativa da porcentagem de FDN (A) e FDA (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

Figure 2 - Estimate of percentage of NDF (A) and ADF (B) of elephant grass silage with 13% of dry matter, under levels of pressure.

Figura 3. Os valores estimados para o pH, que variaram de 4,4 a 4,7, estão acima da faixa considerada adequada (3,8 a 4,2) para boa preservação do material ensilado, segundo Lavezzo (1985).

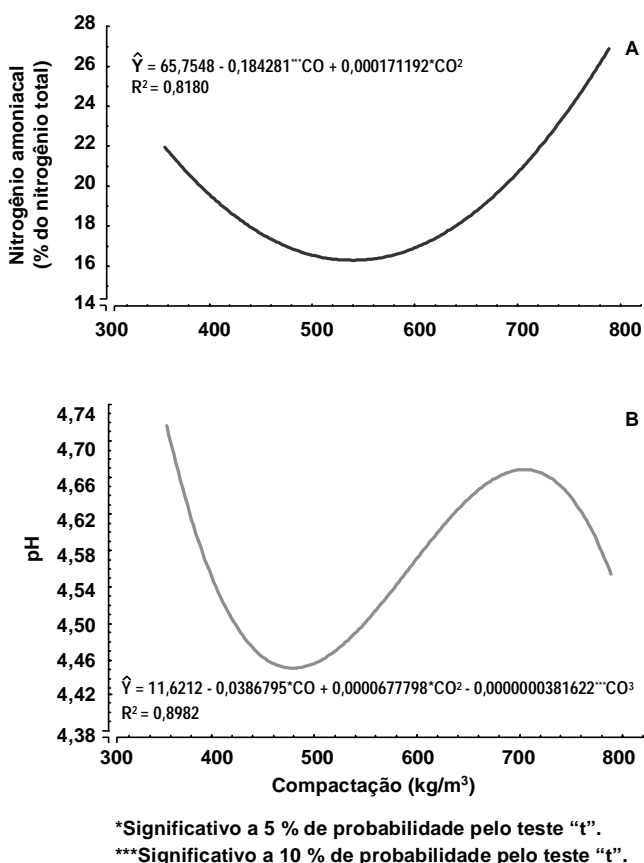
A queda do pH reduz a atividade proteolítica, mas não a elimina totalmente (Rotz & Muck, 1994). Já McDonald et al. (1991) afirmam que a atividade proteolítica atribuída à ação enzimática não é inibida até que o pH atinja valores entre 4,0 a 4,5. Dessa forma, é possível atribuir os altos teores de nitrogênio amoniacal do presente estudo à ação enzimática, dados os valores médios observados para o pH (4,4 - 4,7), nas diferentes densidades de compactação. Os valores de pH observados diferem daqueles obtidos por Tosi et al. (1983), que avaliaram silagens de capim-elefante, cultivar

Taiwan AI - 48, submetidas às densidades de compactação de 359; 406 e 446 kg/m³ e obtiveram

valores variando entre 3,77 e 3,91.

Os teores de nitrogênio amoniacal foram influenciados pela pressão de compactação, tendo sido observado o efeito quadrático, que permitiu a obtenção de 16,16% de nitrogênio amoniacal (valor mínimo) para a compactação de 538,23 kg/m³. A elevação do teor de nitrogênio amoniacal, a partir desta densidade, pode estar relacionada a um maior rompimento das células devido à alta pressão, liberando assim seiva e enzimas responsáveis pela quebra da proteína em peptídeos, aminoácidos e amônia através da atividade de proteases da planta (Rotz & Muck, 1994).

Teores de nitrogênio amoniacal acima de 15% do nitrogênio total, em silagens de gramíneas, indicam fermentação indesejável, conforme Mahanna (1993). Assim, as silagens analisadas não podem ser



*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste "t".

***Significativo a 10% de probabilidade pelo teste "t".

Figura 3 - Estimativa da porcentagem de nitrogênio amoniacal (A) e pH (B) de silagem de capim-elefante com 13% de matéria seca, em função da compactação.

Figure 3 - Estimate of percentage of ammoniacal nitrogen (A) and pH (B) of elephant grass silage with 13% of dry matter, under levels of pressure.

consideradas de boa qualidade, quando este parâmetro é considerado.

As densidades de compactação não influenciaram ($P>0,01$) os teores de cinzas e sódio das silagens, estimando-se valores de 7,8 e 0,02% para as respectivas variáveis.

Para os teores médios de fósforo, cálcio e magnésio, foram observados efeitos lineares, que refletiram em incrementos de 0,0001; 0,0002; e 0,0001% por unidade de aumento na pressão de compactação, respectivamente. Isso se deve ao efeito de concentração na matéria seca da silagem, com o aumento da pressão de compactação.

Já para o teor de potássio, detectou-se efeito quadrático da pressão de compactação, estimando-se valor de máximo 4,44% para a pressão de compactação de 597,87kg/m³.

As curvas que se relacionam à quantidade de efluente produzida, nas diferentes pressões de compactação, são apresentadas na Figura 4. Verificou-se que mais de 55% do total do efluente foram produzidos nos dois primeiros dias após o fechamento dos silos, em todas as pressões de compactação, sendo que o pico de fluxo foi registrado no primeiro dia de ensilagem, excetuando-se aquela de 356,67 kg/m³, que apresentou de 35% do total de efluente produzido nos primeiros dois dias e pico de fluxo no segundo dia após a ensilagem. Ainda na Figura 5 é possível observar que à medida que a pressão de compactação

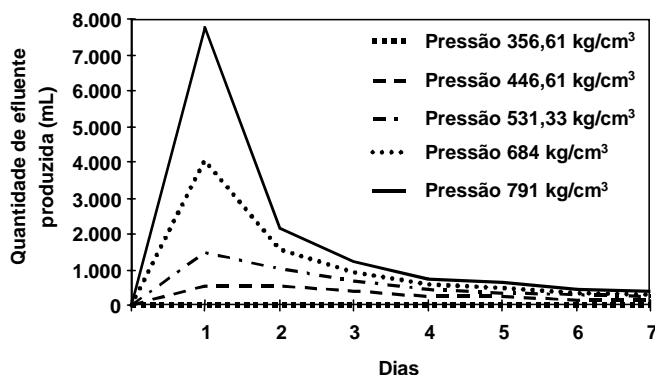


Figura 4 - Relação entre a quantidade observada (mL) do efluente e a densidade aplicada (kg/m³) em um período de sete dias, em silagens de capim-elefante com 13% de matéria seca.

Figure 4 - Relation between production of effluent (mL) and density (kg m⁻³) during seven days to elephantgrass silages with 13% of dry matter.

é elevada sobre a massa ensilada há aumento simultâneo de efluente.

Ao utilizar equação proposta por Miller & Clifton (1965) para cálculo de perdas de MS (% de perdas de MS = 17,614 - 0,538 X % de MS da forragem ensilada), houve a superestimação dos resultados calculados em comparação com os obtidos para silagens de capim-elefante com 13% de MS. O comportamento observado para as perdas de matéria seca, em função da compactação, foi estimado por intermédio do modelo matemático: $\hat{Y} = 52,0728 - 0,117894^{**}CO + 0,000106602^{**}CO^2$ ($R^2 = 0,82$), obtendo-se o menor valor 19,47% para a densidade de 552,96kg/m³. Pode-se perceber que o total de matéria seca perdida na silagem que sofreu menor compactação (365,67 kg/m³) foi semelhante ao que sofreu maior compactação (791,00 kg/m³). Isto pode ser devido ao fato de que não houve apenas perdas por efluente na silagem, mas também perdas por fermentação secundária, já que a menor compactação parece não ter sido adequada para a retirada da água e oxigênio presente no silo, acarretando assim perda significativa.

Em relação aos resultados obtidos para a razão DQO/DBO de 2,38, DBO de 14.596,69 mg/L e DQO de 31.138,2 do efluente, verifica-se que não houve variação em função dos dias ou da compactação. O valor encontrado para a DBO encontra-se abaixo dos valores encontrados na literatura, que variam em média de 40.000 a 90.000 mg/L, e o valor da relação

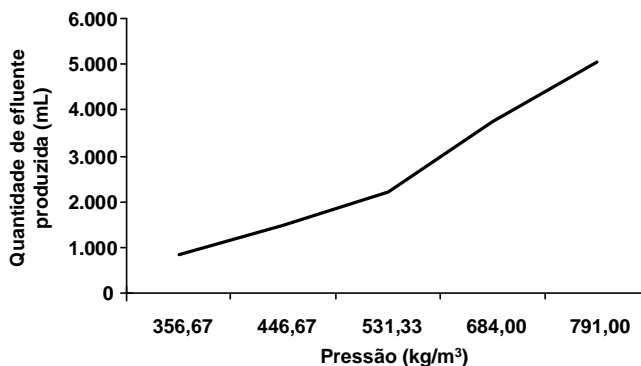


Figura 5 - Relação entre a quantidade de efluente (mL) e densidade aplicada (kg/m³).

Figure 5 - Relation between production of effluent (mL) and density (kg m⁻³).

DQO/DBO mostra que esse efluente é facilmente biodegradável. Porém, o nível obtido neste experimento não deixa de ser considerado elevado e capaz de oferecer grande poder poluente, levando-se em conta que a legislação brasileira estipula que os valores da DBO e DQO sejam, no máximo, 60 e 90 mg/L respectivamente para os esgotos e dejetos lançados em cursos de água ou rios (COPAM, 1986; FEAM, 1998).

Ao submeter os dados referentes aos teores de Na e Mg à técnica de superfície de resposta, não foi detectado efeito das densidades de compactação e dos dias de coleta do efluente, permanecendo constante os seus teores, tendo sido observados valores médios de 0,0008 e 0,3997%, respectivamente. Para o P, detectou-se efeito ($P < 0,05$) entre as densidades de compactação e os dias de coleta de efluente. Observaram-se incrementos dos teores de P no efluente recolhido, à medida que o período de coleta se estendeu. Em relação à densidade, notou-se que até o quarto dia houve aumento do teor de P, à medida que a densidade estava sendo aumentada, ocorrendo sua redução a partir do quinto dia.

Para o teor K, verificou-se o efeito ($P < 0,01$) das densidades de compactação e dos dias de coleta ($P < 0,05$) do efluente. Os teores de K, no efluente, apresentaram-se em níveis decrescentes, à medida que as densidades de compactação aumentaram. Ao avaliar-se o efeito dos dias de coleta dentro de cada nível de compactação, verificou-se que os teores máximos de K de 7,18; 7,00; 6,83; 6,53 e 6,32% foram registrados no quarto dia de coleta.

Os teores de Na encontrados no efluente foram inferiores ao da silagem, sendo que este evento não foi observado para Mg, P e K, que alcançaram teores superiores àqueles obtidos na silagem. Para o Ca não foi observado no efluente, por ser considerado um elemento mineral imóvel no tecido da planta. Em se tratando do Mg, P e K, são esperados valores elevados, no efluente, devido à perda do conteúdo mineral por lixiviação. Verificou-se que o conteúdo mineral para estes elementos, na silagem, apresentaram valores inferiores ao da forragem original, como foi sugerido por Purves & McDonald (1963). Além disso, verificou-se que o efluente foi mais rico em elementos minerais que a própria forrageira original.

Os dados relativos aos sólidos totais foram submetidos à técnica de superfície de resposta e detectou-se efeito ($P < 0,01$) dos níveis de compactação e dos dias referentes à coleta de efluente.

Observou-se que a concentração dos sólidos totais foi incrementada à medida que a densidade aumentou. Ao se avaliarem os efeitos dos dias de coleta do efluente dentro de cada nível de compactação, verificou-se que os teores máximos de 32.282,82; 33.367,10; 34.387,14; 36.226,41; e 37.515,50 mg/L foram obtidos no quinto dia de coleta. A média geral para sólidos totais encontrada foi de 31.730 mg/L, tendo uma variação de 24.380,99 a 38.185,20 mg/L, estando assim dentro dos valores encontrados na literatura, onde verificou-se alteração de 10.000 a 110.000 mg/L.

Ao submeter os valores de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e proteína bruta do efluente à técnica de superfície de resposta, observou-se efeito ($P < 0,01$) dos níveis de compactação e dos dias de coleta de efluente para as respectivas variáveis. Por sua vez, o pH do efluente não foi influenciado por níveis de compactação e dias, estimando-se valor médio de 4,30.

Observou-se considerável aumento (de 475 a 1639 mg/L) do teor de nitrogênio total no efluente com a elevação dos níveis de compactação. O mesmo comportamento foi verificado para o nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico e proteína bruta.

Avaliando-se o efeito dos dias dentro de cada nível de compactação, constatou-se que, para os níveis de pressão de 356,67; 446,67; 531,33; 684,00; e 791,00 kg/m³, os teores máximos de nitrogênio total foram respectivamente 1.177,81; 1.274,56; 1.365,57; 1.529,69; e 1.644,72 mg/L para o efluente coletado no quinto dia.

Para o nitrogênio amoniacal, verificaram-se teores máximos de 89,16; 93,90; 98,36; 106,40; e 112,03 mg/L também registrados no quinto dia.

Foram registrados, no quinto dia de coleta efluente, para nitrogênio orgânico, os teores máximos de 1.089,05; 1.181,06; 1.267,62; 1.423,70; e 1.533,9 mg/L; para proteína bruta, os teores de 7.361,30; 7.965,99; 8.534,85; 9.560,59; e 10.279,50 mg/L.

Para o nitrogênio total, o nitrogênio amoniacal, o nitrogênio orgânico e a proteína bruta, verificaram-se as seguintes variações de: 475,06 a 1.630,83; 28,52 a 111,89; 446,55 a 1.518,95; e 2969,15 a 10.192,73 mg/L, respectivamente.

Os valores encontrados para as concentrações de nitrogênio total ainda são muito elevados, o que representa a necessidade de realização de um processo de tratamento para reduzir esta concentração a níveis de 10 mg/L (Mota, 1995).

Conclusões

A maior produção de efluente ocorreu nos primeiros dois dias após a ensilagem, independentemente da pressão de compactação.

O efluente oriundo das silagens apresenta potencial poluidor preocupante.

O aumento da densidade contribui para elevar os valores de perdas de MS da silagem, assim como influenciou a sua qualidade.

À medida que a densidade foi acrescida, foi observado aumento das perdas de nutrientes (carboidratos, PB e minerais) através do efluente. Em vista disso, sugere-se que, na ensilagem de capim-elefante com baixo teor de matéria seca, adotem-se densidades de compactação próximas a 550 kg/m³, com o objetivo de manter alta a concentração de nutrientes no material ensilado.

Literatura Citada

- ANSI/ASAE S424. **Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening**. St. Joseph, MI: ASAE STANDARDS, 1993. p.459-461.
- BASTIMAN, B. Factors affecting silage effluent production. **Experimental Husband**, v.31, p.40-46, 1976.
- CASTLE, M.E.; WATSON, J.N. The relationship between the M.D. content of herbage for silage making and effluent production. **Journal of the British Grassland Society**, v.28, p.135-138, 1973.
- COPAM. **Legislação ambiental**. 3.ed. Belo Horizonte: Imprensa Oficial, 1986. 183p.
- FEAM. Licenciamento ambiental: Coletânea de legislação. In: **Manual de saneamento e proteção ambiental para municípios**. Belo Horizonte: FEAM, 1998. 382p.
- GORDON, C.H.; IRVIN, H.M.; MELIN, C.G. et al. Some experiments in preservation of high-moisture hay-crop silages. **Journal Dairy Science**, v.40, p.789-798, 1957.
- GREENHILL, W.L. Plant juice in relation to silage fermentation. I The role of the juice. **Journal of the British Grassland Society**, v.19, p.30-37, 1964.
- HAIGH, P.M. A review of agronomic factors influencing grass silage effluent production in England and Wales. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 57, p.73-87, 1994.
- JONES, D.I.H.; JONES, R. The effect of crop characteristics and ensiling methodology on grass silage effluent production. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.60, p.73-81, 1995.
- LAFETÁ, J.A.Q. **Avaliação da ensilagem, fenação natural, e artificial de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum)**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1984. 41p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- LAVEZZO, W. Silagem de capim-elefante. **Informe Agropecuário**, v.11, p.50-57, 1985.
- MAHANNA, B. Troubleshooting silages problems. In: STATE APPLIED NUTRITION CONFERENCE, 4., 1993, West Des Moines. **Summary...** West Des Moines: Pioneer Hybrid International Inc., 1993. p.1-21.
- McDONALD, P.; HERDERSON; A.R., HERON; S.J.E. In: **The biochemistry of silage**. 2.ed. Malow: Chalcombe Publications, 1991. p.167-249.
- McDONALD, P. **The biochemistry of silage**. New York: John Wiley & Sons, 1981. 207p.
- MILLER, W.J.; CLIFTON, C.M. Relation of dry matter content in ensiled material and other factors in nutrient losses by seepage. **Journal of Dairy Science**, v.48, p.917-923, 1965.
- MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200p.
- MÜHLBACH, P.R.F. Uso de silagens na produção animal. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 3., 1998, Canoas. **Anais...** Canoas: Universidade Luterana do Brasil, 1998. p.40-53.
- PITT, R.E.; PARLANGE, J.Y. Effluent production from silage with application to tower silos. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v.30, p.1198-1204, 1987.
- PURVES, D.; McDONALD, P. The potential of silage effluent as a fertilizer. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p.220-222, 1963.
- REYNOLDS, A.M.; WILLIAMS, A.G. A model of silage consolidation and effluent flow. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.61, p.173-182, 1995.
- ROTZ, C.A.; MUCK, E.M. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAREY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.828-868.
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 166p.
- SILVA, M.O.S.A. **Análises físico-químicas para controle de estação de tratamentos de esgotos**. São Paulo: CETESB, 1977. 266p.
- TOSI, H.; BONASSI, I.A.; SILVEIRA, A.C. et al. Avaliação química de capim-elefante cultivar Taiwan A-148. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.62-72, 1983.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **SAEG. Sistemas de Análises Estatísticas e Genética**. Viçosa, MG: 1995. (Apostila)
- VILELA, D. **Avaliação nutricional da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), submetido a emurchecimento e adição de uréia na ensilagem**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 186p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 322p.
- ZAGO, C. P. Cultura de sorgo para a produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1991. p.168-217.

Recebido em: 10/09/02

Aceito em: 16/05/03