

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS DOIS VIZINHOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

RASIEL RESTELATTO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO FORRAGEIRO E NA  
AVEIA PRETA**

DISSERTAÇÃO

DOIS VIZINHOS  
2014

RASIEL RESTELATTO

**ADUBAÇÃO NITROGENADA NO SORGO FORRAGEIRO E NA  
AVEIA PRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia – Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Dr. Paulo Sergio Pavinato  
Co-orientador: Dr. Laércio Ricardo Sartor

DOIS VIZINHOS  
2014

FICHA CATALOGRÁFICA



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Dois Vizinhos  
Gerência de Ensino e Pesquisa  
**Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **Título da Dissertação**

**Adubação nitrogenada no sorgo forrageiro e na aveia preta**

por

**Rasiel Restelatto**

Dissertação apresentada às **QUATORZE HORAS** do **DIA 07 DE FEVEREIRO DE DOIS MIL E QUATORZE**, como requisito parcial para obtenção do título de **MESTRE EM ZOOTECNIA**. Linha de Pesquisa – Produção animal, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de concentração: Adubação e produção de forragens), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. O candidato foi arguido, pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Banca examinadora:

---

**Dr Thomas N. Martin**  
UFSM

---

**Dr. Fernando Kuss**  
UTFPR

---

**Dr. Paulo S. Pavinato**  
ESALQ  
Orientador

---

**Dr. Laércio R. Sartor**  
UTFPR

Visto da Coordenação

---

**Dr. Ricardo Y. Sado**  
UTFPR

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

***Dedico este trabalho:***

Ao meu pai Nadir e a minha mãe Dilva, pelo exemplo de caráter, de conduta, de esforço, e acima de tudo de dignidade.

Aos meus irmãos Ronivam e Robson, pela amizade, pelo companheirismo, pela confiança depositada e acima de tudo por serem além de meus irmãos meus melhores amigos.

À minha noiva Camila, pelo carinho, pela compreensão, pela paciência, pela amizade, pela confiança depositada em mim e principalmente pelo amor que me proporcionou durante todos os dias desta caminhada, obrigado por existir e estar presente sempre em minha vida.

À minha futura sogra, Dona Olinda pelas orações e pedidos concedidos.

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela oportunidade de estudar, trabalhar, pensar, e ter me destinado conhecer pessoas e caminhos agradáveis e inesquecíveis, muito obrigado.

Aos meus pais por me apoiarem, me darem força, por serem os mediadores de minha vida, pelo amor e exemplo de pessoas batalhadoras, dedicadas, esforçadas e honestas. Agradeço e peço desculpa pôr às vezes estar longe.

Aos meus irmãos pelo apoio, força nos momentos que precisei, por serem exemplo de vida, honestos, trabalhadores, esforçados os quais tenho como exemplo a segui-los. Obrigado meus irmãos e meus melhores amigos.

À minha noiva, por toda a compreensão, apoio, ajuda, amizade, carinho, paciência e amor que demonstrou e não economizou esforços para que tudo isso acontecesse e por proporcionar à minha vida, ainda mais alegria de viver e mostra-me, a cada dia o que é o amor verdadeiro. Obrigado por fazer parte da minha vida.

À minha futura sogra, pelas orações e pedidos, e por me acolher como se fosse um filho, muito obrigado.

Aos professores e amigos Marcelo Montagner e Fabiana Martins Costa Maia pelo conhecimento adquirido dentro e fora das salas de aulas. Muito Obrigado.

Ao professor Paulo Sérgio Pavinato, pela orientação, amizade, honestidade e por sempre estar pronto para me ajudar e esclarecer dúvidas, mesmo que às vezes distante. Agradeço.

Ao professor Laércio Ricardo Sartor pela co-orientação e ajuda em tudo o que precisei. Muito Obrigado.

Aos colegas e amigos de mestrado Sandro José Paixão, Silvonei Tiago Ricacheski, Renato Marchesan, Sidney Ortiz, Tiago Venturini. Obrigado por me ajudarem no desenvolvimento do experimento e das análises de laboratório.

Aos amigos e amigas Fernando Cappellesso, Júlio Cezar Machado, Suelen Maria Einsfeld e Fernanda Paula Baldicera, obrigado pelo companheirismo e pela ajuda quando precisei.

Ao Programa de Assistência ao Ensino – PAE, pela concessão da bolsa.

A UTFPR pela disponibilidade de um curso de mestrado em Zootecnia e a todos os professores do programa.

***Muito Obrigado.***

*"A coragem é a primeira qualidade humana, pois garante todas as outras."  
Aristóteles*

*"Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado,  
mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado."  
Albert Einstein*

*"Em nossas vidas, o tempo quando mal aproveitado se torna o principal inimigo,  
só nós devemos determinar o que fazer com nosso próprio tempo,  
já que este é nosso bem mais estimado quando foge,  
e difícil de recuperá-lo.*

*Há ocasiões em que é preciso jogar "de primeira",  
tanto no futebol como na vida diária.*

*Há ocasiões em que a pressa é necessária porque podemos perder  
um avião ou a hora do dentista.*

*Um bom usuário do tempo faz o que deve com ele  
de acordo com os ritmos ditados pela própria urgência,  
pela própria mente e pelo próprio coração;  
não os dos outros.*

*Dois coisas são imprescindíveis para poder administrar o próprio tempo:  
organizar-se e  
saber resistir às pressões, saber dizer não.*

*Ivan Izquierdo*

*"A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana."  
Louis Pasteur*

*"O mais valioso de todos os talentos é o de nunca usar duas palavras  
quando uma basta."  
Thomas Jefferson*

## RESUMO

RESTELATTO, Rasiel. Adubação nitrogenada no sorgo forrageiro e na aveia preta. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de Concentração: Produção Animal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Dois Vizinhos, 2014.

No Brasil a produção de leite e carne tem como principal característica a produção quase que exclusiva a pasto, essa característica tem suas vantagens e desvantagens, dentre as vantagens a principal é o baixo custo de produção. Como desvantagem seria conseguir produzir alimento de qualidade e quantidade o ano todo. Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produção e no valor nutricional das forragens, bem como a eficiência do uso do nitrogênio e a extração dos macronutrientes (N, P, K) do solo, nas culturas do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. Iapar 61. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas culturas anuais de ciclo estival e hibernal. Para o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, foi utilizada a cultura do sorgo forrageiro cv. Jumbo e para a cultura anual de inverno, ano de 2011, foi utilizada a aveia preta cv. Iapar 61. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente casualizados, com três repetições. Para o sorgo forrageiro nos dois ciclos de verão foi utilizada uma densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis, sendo testadas as doses de 0; 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg de N ha<sup>-1</sup>, distribuídas em três aplicações iguais, 1/3 na semeadura, 1/3 após o primeiro corte e 1/3 após o terceiro corte. Para a aveia preta, foi utilizada uma densidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de semente viáveis, testando as doses de 0; 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg de N ha<sup>-1</sup>, sendo essas doses também distribuídas em três aplicações, 1/3 no perfilhamento, 1/3 após o primeiro corte e 1/3 após o terceiro corte. A coleta do material forrageiro do sorgo produzido durante o verão foi realizado quando a cultura atingia uma altura média entre 0,70 a 0,80 m, deixando um resíduo médio de planta de 0,20 m de altura para rebrote e nova coleta. Para a aveia preta a coleta do material ocorreu quando a cultura atingia altura de 25 cm, com um corte manual a 10 cm do solo de uma área conhecida de 0,25 m<sup>2</sup> por unidade experimental. Para determinação das características bromatológicas de ambas as culturas, o material foi seco em estufa a 60 °C até peso constante, moído em peneira de 1 mm e em seguida foram avaliados os seguintes parâmetros: massa seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutra (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), determinação dos macronutrientes N, P e K; recuperação, eficiência de recuperação e eficiência fisiologia do nitrogênio. Todos os dados avaliados foram submetidos à análise da variância pelo programa SAS 8.1 a 5% de probabilidade de erro. As doses de 288 e 264 kg de N ha<sup>-1</sup>, foram as que apresentaram a maior produção de forragem para o sorgo forrageiro nos anos agrícola de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Já para a aveia, a dose de 187 kg de N ha<sup>-1</sup> foi a que apresentou a maior produção de forragem. As doses de 349 e 328; 212 e 207 kg de N ha<sup>-1</sup> foram as que apresentaram os maiores teores de PB e DIVMS para sorgo, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Os teores de FDN e FDA não foram influenciados pelas doses de N no cultivo do sorgo. Para a aveia preta, a dose de 220 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que apresentou o maior teor de PB, enquanto que a DIVMS, FDN e FDA as doses de N não tiveram efeito significativo. As maiores extrações de N, P e K foram atingidas quando sob as doses de 298; 375 e 271 kg de N

ha<sup>-1</sup>, respectivamente para a cultura do sorgo no ano de 2010/2011, já para o ano de 2011/2012 essas doses foram 234; 375 e 324 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a aveia preta as doses de 218, 240 e 198 kg ha<sup>-1</sup> de N são as que proporcionam as maiores extrações de N, P e K, respectivamente. Quanto aos valores de recuperação, eficiência de recuperação e eficiência fisiologia do nitrogênio, as menores doses de N são as mais eficientes para ambas as culturas.

**Palavras-chave:** Fertilidade do solo. Foragem de ciclo estival e hibernal. Fluxo de nutrientes. Plantas forrageiras. Qualidade bromatológica.

## ABSTRACT

RESTELATTO, Rasiel. Nitrogen fertilization on forage sorghum and black oat. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de Concentração: Produção Animal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Dois Vizinhos, 2014.

In Brazil the production of milk and meat has as main feature the production almost exclusively on pasture, this trait has its advantages and disadvantages; among the main advantages is the low cost of production. The disadvantage would be able to produce food with quality and quantity throughout the year. The aim of this study was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the production and nutritional value of forage as well as the efficiency of nitrogen use and extraction of macronutrients (N, P, K) of the soil through crop of sorghum cv. Jumbo and oat cv. Iapar 61. The study was conducted in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. For the development of the work, annual crop cycle summer and Winter. For the summer period of the crop years 2010/2011 and 2011/2012, was used forage sorghum cv. Jumbo and culture winter annual, year 2011, was used oat cv. Iapar 61. The experimental design was a completely randomized block design with three replications for each treatment. For forage sorghum in the two summer cycles we used a density of 15 kg ha<sup>-1</sup> of viable seeds, being tested doses of 0, 37.5, 75, 150, 225, 300 and 375 kg N ha<sup>-1</sup>, distributed in three applications equal 1/3 at sowing, 1/3 after the first cut and 1/3 after the third cut. For black oat, we used a density of 40 kg ha<sup>-1</sup> of viable seeds, testing doses of 0, 40, 80, 120, 160, 200 and 240 kg N ha<sup>-1</sup>, were also distributed in three applications, 1/3 at tillering, 1/3 after the first cut and 1/3 after the third cut. Material collection forage sorghum produced during the two summer was performed with manual harvesting of crops, when the culture reached an average height between 0.70 and 0.80m, leaving a residue of plant average of 0.20 m height for regrowth and new collection. For the oat sample collection occurred when the culture reached a size for grazing 25 cm tall, with a manual cut to 10 cm of soil from a known area of 0.25 m<sup>2</sup> each. To determine the chemical characteristics of both cultures, the material was dried at 60 °C for 72 hours or until constant weigh, ground through 1 mm sieve, and then evaluated the following parameters: dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), in vitro dry matter digestibility (IVDMD), determination of macronutrients N, P and K, recovery, recovery efficiency and physiological efficiency of nitrogen. All evaluated data were subjected to analysis of variance using SAS 8.1 to 5% of error probability. Doses of 288 and 264 kg N ha<sup>-1</sup>, showed the most forage production for sorghum forage in agricultural years 2010/2011 and 2011/2012 respectively, for black oat the dose of 187 kg N ha<sup>-1</sup> was that with the highest forage yield. Doses of 349 and 328, 212 and 207 kg N ha<sup>-1</sup> were those that showed the highest levels of CP and IVDMD for sorghum, the crop years 2010/2011 and 2011/2012 respectively. NDF and ADF were not affected by N in sorghum crop. For oats, the dose of 220 kg ha<sup>-1</sup> N was the one with the highest content of CP, for IVDMD, NDF and ADF doses of N had no significant effect. The major extractions of N, P and K were achieved when applied doses of 298, 375 and 271 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively for sorghum in 2010/2011 already for the year 2011/2012 these doses were 234, 375 and 324 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively. For oats the doses of 218, 240 and 198 kg N ha<sup>-1</sup> was that provided the largest extraction of N, P and K, respectively.

The values of recovery, recovery efficiency and physiological efficiency of nitrogen, the lowest N are the most efficient for the cultivation of sorghum and oats.

**Keywords:** Soil fertility. Winter and summer forage cycle. Flow of nutrients. Forage plants. Chemical quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Capítulo I</b> .....	39
Figura 1. Índice pluviométrico, temperatura média das máximas e média das mínimas mensais no período de novembro de 2010 à abril de 2012.....	46
Figura 2. Produção acumulada de MS do sorgo forrageiro nos anos agrícolas 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta no ano de 2011 (C), em função da adubação nitrogenada. ....	47
Figura 3. Teores médios de PB e DIVMS do sorgo forrageiro em 2010/2011 (A e D, respectivamente) e 2011/2012 (C e F, respectivamente), e da aveia preta em 2011 (B e E, respectivamente), em função da adubação nitrogenada.....	49
Figura 4. Teores médios de FDN e FDA ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do sorgo forrageiro em 2010/2011 (A e D, respectivamente) e 2011/2012 (C e F, respectivamente) e da aveia preta em 2011 (B e E, respectivamente), em função da adubação nitrogenada.....	50
<b>Capítulo II</b> .....	61
Figura 1. Balanço hídrico climatológico da área experimental durante o período de novembro de 2010 à abril de 2012. ....	64
Figura 2. Produção acumulada de massa verde ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e teor médio de massa seca (%) do sorgo forrageiro nos anos agrícolas 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta no ano de 2011 (C), em função da adubação nitrogenada. ....	69
Figura 3. Extração acumulada de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno do ano de 2011 (C) em função das doses de N.....	70
Figura 4. Recuperação do N (%) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta cv. Iapar 61 durante no outono/inverno do ano de 2011 (C) em função das doses de N. ..	71
Figura 5. Eficiência fisiológica do N ( $\text{kg MS por kg ha}^{-1}$ de N absorvido) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno do ano de 2011 (C), em função das doses de N. ....	72
Figura 6. Eficiência de recuperação do N ( $\text{kg MS kg}^{-1}$ de N aplicado) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011 (C), em função das doses de N. ....	73
Figura 7. Extração acumulada de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011, em função das doses de N. ....	74
Figura 8. Extração acumulada de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv.umbo durante o verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011 (C), em função das doses de N. ....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Capítulo I</b> .....	39
Tabela 1. Atributos químicos do solo anteriormente ao cultivo do sorgo forrageiro no ano de 2010. Dois Vizinhos.....	42
<b>Capítulo II</b> .....	61
Tabela 1. Atributos químicos do solo anteriormente ao cultivo do sorgo forrageiro no ano de 2010. Dois Vizinhos, PR.....	64

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. OBJETIVO GERAL .....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
3.1 Produção e qualidade de pastagens anuais de verão.....	18
3.2 Produção e qualidade de pastagens de inverno.....	24
3.3 Adubação nitrogenada no sorgo forrageiro e aveia preta .....	26
3.4 Extração de nutrientes.....	27
3.5 Eficiência de uso do nitrogênio .....	29
4. REFERÊNCIAS .....	31
5. CAPÍTULO I: Produção e valor nutricional do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. Iapar 61 sob adubação nitrogenada.....	39
5.1 Resumo: .....	39
5.2 Palavras-chave.....	39
5.3 Abstract: .....	39
5.4 Keywords:.....	39
6. INTRODUÇÃO.....	39
7. MATERIAL E MÉTODOS .....	41
7.1 Local do Experimento.....	41
7.2 Culturas utilizadas.....	42
7.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	42
7.4 Produção de forragem e manejo da pastagem .....	43
7.5 Análises químicas e bromatológicas.....	43
7.6 Análise estatística .....	45
8. RESULTADOS .....	45
9. DISCUSSÕES.....	50
10. AGRADECIMENTOS.....	57
11. REFERÊNCIAS .....	58
12. CAPÍTULO II: Extração dos nutrientes N, P, K e eficiência de utilização do nitrogênio pelo sorgo forrageiro e pela aveia preta, sob adubação nitrogenada .....	61
12.1 Resumo: .....	61
12.2 Palavras-chave: .....	61
12.3 Abstract:.....	61
12.4 Keywords:.....	61
13. INTRODUÇÃO .....	61

14. MATERIAL E MÉTODOS .....	63
14.1 Local do Experimento.....	63
14.2 Culturas utilizadas.....	64
14.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	65
14.4 Determinação da produção de forragem.....	65
14.5 Determinação dos macronutrientes.....	66
14.6 Eficiência de utilização do nitrogênio na produção de forragem .....	66
14.7 Análise estatística .....	67
15.RESULTADOS .....	68
16. DISCUSSÃO.....	75
17. AGRADECIMENTOS.....	83
18. REFERÊNCIAS .....	83
19. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
20. ANEXOS.....	89

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, um país em disparidade, destaca-se por possuir o segundo maior rebanho comercial de corte do mundo, com aproximadamente 180 milhões de cabeças, sendo o maior exportador de carne bovina e o quinto maior produtor de leite (ANUALPEC, 2012, FAO, 2013). No entanto, Vaz & Lobato (2010) comentam que a pecuária pode ser mais eficiente e lucrativa, quando conseguir elevar os índices produtivos, pois se sabe que o principal problema para os pecuaristas é conseguir produzir alimento em quantidade, com qualidade e eficiência o ano todo.

A pecuária brasileira tem como base alimentar as forragens, formadas por diversas espécies de gramíneas, tanto C<sub>3</sub> como C<sub>4</sub> (Oliveira, 2010). A utilização dessas forragens na alimentação dos bovinos, além de ter como principal objetivo a produção de leite e carne, destaca-se por ser de baixo custo. Mas isso depende da correção do solo para manter todos os nutrientes disponíveis à planta, da utilização eficiente dos fertilizantes, de um bom manejo da cultura, e principalmente da eficiência do animal em transformar produto de origem vegetal (pasto) em produto de origem animal (carne e leite). Cerca de 80% das áreas de pastagens brasileiras encontram-se em algum estágio de degradação, em função do manejo inadequado do solo, da escolha de espécies forrageiras inadequadas para determinadas regiões, bem como, pela má fertilidade do solo, a qual influencia diretamente na produção e na qualidade das (Santos et al., 2009).

A região Sul, uma região subtropical com as quatro estações do ano bem definidas, caracteriza-se pelo elevado número de espécies forrageiras com grande potencial de utilização na alimentação de ruminantes. Nas estações da primavera e do verão, onde há maior incidência de chuvas, temperatura elevada e alta luminosidade, há alta produtividade de forragem, o que não ocorre no outono e inverno (Córdova, 2004). Desta forma, tem-se a necessidade de produzir forragem complementares nos períodos de escassez (outono/inverno), por meio do cultivo de espécies anuais de inverno.

A aveia preta, uma forrageira de clima temperado e subtropical, anual, de hábito ereto, com desenvolvimento uniforme, bom perfilhamento, alto valor nutritivo, boa digestibilidade, é uma excelente alternativa para ser utilizada na alimentação dos bovinos, ou como planta de cobertura durante o período de outono/inverno, devido a sua adaptação às baixas temperaturas e principalmente pela qualidade da forragem produzida (Skonieski et al., 2011). Segundo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a aveia preta cv. Iapar 61 é uma cultivar selecionada da *Avena Strigosa* com ciclo mais tardio, de

aproximadamente 135 dias, conseqüentemente essa cultivar possibilita maior número de pastejos e cortes, aumenta o rendimento forrageiro e prolonga o período de cobertura do solo durante o período de outono/inverno, quando comparados com outros cultivares de aveia preta.

Para o período da primavera/verão, o milho (*Zea mays*), milheto (*Pennisetum americanum*), capim sudão (*Sorghum sudanense*), sorgo (*Sorghum bicolor*), papuã (*Uruchloa plantaginea*) e o girassol (*Helianthus annuus*) são as forrageiras mais utilizadas pelos pecuaristas na alimentação bovina, pela alta capacidade produtiva dessas espécies e o alto valor nutritivo (Oliveira et al., 2010, Sartor et al., 2011).

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L)), originário do centro da África e parte da Ásia, apresentou expressiva expansão nos últimos anos, sendo o quinto cereal mais importante no mundo, depois do arroz, milho, trigo e cevada, cultivado em 104 países, em uma área estimada de 43,79 milhões de hectares, com uma produção anual de aproximadamente 64,6 milhões de toneladas de grãos (FAO, 2013), espalhadas pela África, Ásia, Oceania e nas Américas. No mundo, segundo Upadhyaya et al. (2010), os maiores produtores de sorgo são a Índia (8,45 milhões de hectares plantados), Nigéria (7,40 milhões de hectares plantados), Sudão (6,7 milhões de hectares plantados) e os EUA (2,75 milhões de hectares plantados). O sorgo forrageiro é uma excelente alternativa para ser utilizada na alimentação bovina, pela adaptabilidade a altas temperaturas e baixa exigência de chuvas (Singh & Singh, 1995).

Um dos principais nutrientes do solo que afeta diretamente a produção das forragens é o nitrogênio. A aplicação deste fertilizante não influencia somente o rendimento das culturas e absorção pelas plantas, mas também o valor nutritivo da forragem (Barbanti et al., 2011). Quando se aplica a adubação nitrogenada nas pastagens, parte do N é frequentemente perdido no sistema, por volatilização, lixiviação ou percolação, o que reduz a eficiência do uso, e aumenta o custo com a adubação (Stevens et al., 2005). Com isso, monitorar a eficiência de utilização do N é uma ferramenta fundamental dentro do programa de adubação, o qual evita gastos desnecessários.

Segundo Diouf et al. (2004) e Zegada-Lizarazu & Iijima (2005), a principal forma de aumentar a produtividade e a qualidade nutricional de qualquer forrageira, seja ela C<sub>3</sub> ou C<sub>4</sub>, é a nutrição mineral adequada do solo, por intermédio de programas de adubação equilibrado, levando em conta a quantidade de fertilizantes fornecida e o balanço entre os macro e microminerais requeridos pelas culturas, além da quantidade necessária de água exigida pela cultura.

Em função da necessidade de maior conhecimento sobre o comportamento de forrageiras anuais, em resposta à adubação, o presente trabalho teve como hipótese que, a adubação nitrogenada aumenta a produção e o valor nutricional da forragem do sorgo forrageiro e da aveia preta, mas doses muito elevadas podem ocasionar um desbalanço nutricional e serem prejudiciais à cultura, diminuindo, conseqüentemente, a eficiência de utilização do nitrogênio, a produção e a qualidade da mesma.

## **2. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produção e no valor nutricional das forragens, bem como a eficiência de uso do nitrogênio e a extração dos macronutrientes (N, P, K) do solo, com as culturas do sorgo forrageiro cv. Jumbo, e da aveia preta cv. Iapar 61, cultivadas na região sudoeste do Paraná.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

A grande maioria dos pecuaristas imagina que os sistemas de produção a pasto, são praticamente autossustentáveis, exigindo baixas quantidades de adubação para reposição das perdas exportadas na produção animal (Martha Jr et al., 2004). A continuidade da produtividade nesses sistemas parece ter condições de manter-se em equilíbrio por um longo período, sem a necessidade de se aplicar uma fertilização. Porém, isto não é verdade quando os nutrientes do sistema de produção acabam sendo retirados em maior quantidade em relação aos que estão sendo aplicados, o sistema acaba em desequilíbrio, exaurindo lentamente as reservas do solo, sendo necessária pelo menos a reposição para a manutenção da fertilidade no processo produtivo.

### **3.1 Produção e qualidade de pastagens anuais de verão**

A pecuária na região Sul do Brasil se caracteriza pela sua diversidade de produção durante todo o ano. Destacando os períodos de outono/inverno, com pastagens hibernais que produzem um menor volume de massa verde, mas com uma maior qualidade, e os períodos de primavera/verão, com pastagens perenes e anuais, com altas produções de massa verde, tornando-se um setor produtivo e complexo do agronegócio (Martins, 2005; Olivo et al., 2009).

De acordo com Fukumoto (2007), a pecuária no Brasil pode ser altamente competitiva e viável, devido ao seu baixo custo de produção, quando a atividade tem como base alimentar as pastagens, sendo que estas, na grande maioria das vezes, são o volumoso de menor custo. No entanto, segundo Fontaneli (2005), para se obter pastagens anuais de verão de boa qualidade e com uma elevada produção de massa verde, são necessários alguns procedimentos agrônômicos de fundamental importância, como a escolha da área, escolha da espécie que se adapte bem as condições da região, correção de acidez e fertilidade do solo, sementes de boa qualidade, controle de plantas daninhas e um excelente manejo de pastejo.

No Brasil, as principais pastagens que compõem a alimentação dos bovinos leiteiros e de corte são as gramíneas tropicais, devido ao seu rápido crescimento em condições favoráveis de temperatura, umidade no solo e, principalmente, radiação solar (fotossíntese), concentrando mais de 70% da produção de matéria seca durante a primavera/verão (Santos et al., 2002).

Para que os sistemas de produção de leite e de carne a pasto sejam eficientes, e produtivos o ano todo, é necessário tomar alguns cuidados básicos e essenciais, como por exemplo, um controle adequado de pastejo, um planejamento forrageiro bem elaborado e um programa de adubação adequado à pastagem (Assis, 1997). Com isso, a utilização de pastagens anuais cultivadas tem como principal objetivo reduzir o efeito sazonal na produtividade e na qualidade das pastagens em regiões subtropicais, aumentando a eficiência e a sustentabilidade produtiva e econômica (Tomich et al., 2004).

Atualmente, novas demandas e avanços tecnológicos estão surgindo, com o intuito de assegurar o desenvolvimento sustentável e competitivo da pecuária brasileira. Essas cobranças fazem com que haja novas mudanças no conceito de intensificação dos sistemas de produção, iniciando pela utilização de novas cultivares forrageiras melhoradas e do consórcio das forrageiras (Skonieski et al., 2011). De acordo com Silva & Nascimento Junior (2006), a intensificação de um sistema produtivo significa obter um maior rendimento possível por unidade de produção. Porém, a intensificação do sistema de produção não é obtida somente com aumento de produtividade via uso de fertilizantes, irrigação, consórcio de gramíneas, utilização de novas forrageiras e suplementos, mas sim por meio de mudanças nas diferentes fases do processo produtivo, sempre com o objetivo de aumentar a eficiência.

Quando a pecuária de corte e leite tem como base a alimentação exclusivamente a pasto, os piores momentos são no final do ciclo das culturas, os quais ocorrem geralmente

no final de inverno, início da primavera e no final de verão, início do outono, quando as pastagens de inverno e verão estão no final de seus ciclos, também conhecido como períodos de vazio forrageiro. Esses períodos podem ser amenizados com o uso de algumas pastagens anuais de ciclos diferenciados e do consórcio entre elas (Zago, 1997).

Segundo Rocha et al. (2004), as forragens anuais de verão podem ser utilizadas desde o final da primavera até o final do outono, na região Sul do Brasil, sustentando altas taxas de lotação animal com baixos custos, proporcionando ganhos de peso, individual e por área, semelhantes ou maiores que o proporcionado pelo campo nativo. Trabalhos realizados por Soares et al. (1999), Deresz et al. (2001), Santos et al. (2005) e Deresz et al. (2006) comprovam que vacas mestiças produtoras de leite, alimentadas com pastagens naturais (campo nativo) e com gramíneas tropicais melhoradas (capim sudão e milheto), apresentam um aumento na produção de leite de 7 para 14 kg vaca dia<sup>-1</sup>, e um aumento na taxa de lotação de 4 para 7 UA (Unidade Animal de 450 kg Peso Vivo) ha<sup>-1</sup>, quando substituíram o campo nativo pelas gramíneas tropicais.

Nas regiões do cerrado brasileiro, onde as temperaturas são mais elevadas e constantes durante o ano todo, algumas gramíneas anuais como sorgo forrageiro (*Sorghum* ssp. híbrido) e o capim-sudão ou aveia de verão (*Sorghum sudanense*) estão sendo bastante utilizadas para a alimentação dos bovinos, por serem cultivares com uma elevada produção de massa verde e por resistirem bem a altas temperaturas (Rodrigues, 2000). Estas pastagens anuais de verão são utilizadas para aumentar o desempenho animal e conseqüentemente obter uma maior eficiência do sistema produtivo. O sorgo forrageiro, uma planta C<sub>4</sub>, se adapta em várias regiões do mundo, principalmente em países de clima temperado (Dolciotti et al., 1998), e pode ser uma excelente alternativa para a produção de forragem, pela alta produção e boa qualidade.

A cultura do sorgo é caracterizada por uma notável altura (até 3 m), com hastes grandes (sorgo doce) e finas (sorgo forrageiro). O sorgo forrageiro é caracterizado por ser uma cultura bastante rústica a altas temperaturas, de rápido crescimento e responde bem à adubação nitrogenada, enquanto que o sorgo doce, possui uma elevada quantidade de carboidratos não-estruturados, como frutose e glucose, os quais acumulam-se na fase de crescimento (Lingle, 1987).

Segundo Neumann et al. (2005), o sorgo no Brasil se adapta bem em várias regiões como plantio de verão. No sul e na região central pode ser semeado em sucessão a cultivos de inverno e de verão, respectivamente, e no nordeste em condições do semiárido, com

alta temperatura e precipitação inferior a 600 mm anuais, pode ser semeado durante todo o ano.

Ribas & Machado (2010), comentam que nas regiões subtropicais do Brasil, o sorgo para pastejo não deve ser compreendido como a única solução forrageira para a alimentação bovina, ou como concorrente de outras fontes volumosas, mas sim como uma ótima alternativa para ser consorciada com outras culturas no período de verão.

O consórcio de gramíneas é uma excelente alternativa para melhorar a qualidade das pastagens durante o ciclo das culturas. Tomich et al. (2006), consorciando sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) com capim sudão (*Sorghum sudanensis*), em épocas de baixa disponibilidade de forragens, na região de Corumbá-MS, atingiu resultados médios de 146 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS e 651 g de FDN kg<sup>-1</sup> de MS. Segundo os autores o principal objetivo do consórcio de gramíneas anuais de verão é prolongar a produção de forragem no período de verão/outono, pois as duas cultivares se desenvolvem bem, por serem cultivares adaptadas à baixa disponibilidade de água e altas temperaturas, caso típico da região do cerrado brasileiro.

A estacionalidade das forrageiras está relacionada diretamente com a necessidade de se obter maior uniformidade na produção de leite e carne durante o ano todo. Essa necessidade faz com que os pecuaristas adotem práticas de conservação de forragens, na forma de silagem. Existe, atualmente, um grande número de plantas forrageiras, anuais e perenes, que podem ser utilizadas para a produção de silagem (Gontijo Neto et al., 2002). A utilização do sorgo para produção de conservados de forragem, na forma de silagem, é uma ótima alternativa, com algumas vantagens interessantes para os pecuaristas, como altos rendimentos na produção de massa seca por área (Pereira et al., 1993) e boa qualidade do volumoso produzido, porém com um custo elevado por kg de MS produzida, em relação a produção de forragem.

Apesar da grande disponibilidade de cultivares de sorgo com características que possibilitam a sua adequação às diferentes regiões e o alto potencial produtivo desta cultura, observa-se, muitas vezes, uma baixa e irregular produtividade (Gontijo Neto et al., 2002). Nesse aspecto, considera-se que a fertilidade do solo e as baixas aplicações de fertilizantes sejam os principais fatores responsáveis pela baixa produtividade. Além das variações de produtividade, a deficiência de nutrientes pode afetar diretamente o valor nutricional da pastagem produzida, principalmente os valores de proteína bruta da forragem.

Atualmente, percebe-se na literatura, poucos trabalhos sobre a utilização de sorgo forrageiro na alimentação dos bovinos sob pastejo. A maioria dos trabalhos conduzidos com sorgo tem por finalidade estudar as competições entre cultivares, a produção de biodiesel, e observar a produção de grãos e silagem. No entanto, o pastejo é a forma mais econômica de se produzir alimento aos animal, uma vez que não há necessidade de entrar com máquinas na lavoura para colheita, pois é o animal que colhe, além de não precisar armazenar o produto.

Os elementos são denominados essenciais para o desenvolvimento de uma planta vegetal quando a mesma não consegue completar o ciclo de vida sem eles (Oenema et al., 2003). Dentre os inúmeros nutrientes encontrados no solo, nas raízes das plantas, na matéria orgânica, no material em decomposição, o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são os minerais primários essenciais para o desenvolvimento das plantas, e normalmente necessitam serem fornecidos às mesmas para a obtenção de uma boa produção.

Dentro do sistema de produção, onde existem condições satisfatórias de clima (temperatura, luminosidade) e precipitação, a fertilidade é considerada como um fator determinante na produção e qualidade das forragens (Diouf et al., 2004; Zegada-Lizarazu & Iijima, 2005; Barbanti et al., 2011)

Segundo Soares (2000) e Alves Filho et al. (2003), independente da cultura forrageira utilizada como alimentação para os bovinos, ela deve apresentar elevada produção de massa por área, associada aos parâmetros de qualidade. Porém, um dos principais pontos para se melhorar a qualidade dessas forragens é a fertilidade do solo, sendo que a intensificação dos sistemas a pasto requer maiores investimentos em adubação no momento da implantação e durante todo o ciclo da cultura, independentemente da espécie.

Normalmente a fertilização do solo no momento da implantação das pastagens, para os pecuaristas, representa o componente de maior custo inicial, fazendo com que a grande maioria não adote essa prática, que é de extrema importância para o sistema de produção (Alves Filho et al., 2003). Trabalhos comprovam que a diminuição na aplicação de nitrogênio (N), na implantação e durante o ciclo da cultura, reduz a produção e a qualidade das pastagens, conseqüentemente essa redução faz com que haja uma descapitalização dos produtores (Alves Filho et al., 2003; Martha Júnior et al., 2004).

Dentre os fertilizantes utilizados, o N é um dos mais importantes, devido a sua alta capacidade de aumentar o número de perfilhos das pastagens, bem como o auxílio no

acrécimo do número de folhas. Sendo que dentro da planta o N faz parte de alguns componentes importantes, como proteínas, aminoácidos, aminas, amidas, aminoaçúcares, purinas, pirimidinas, alcalóides, coenzimas, vitaminas e pigmentos, além de participar do metabolismo das plantas e ser a base física da vida (Malavolta, 1980; Santos et al., 2010).

Outros resultados observados por Garcez Neto et al., (2002) e Martuscello et al., (2005) com gramíneas tropicais, confirmam a ação positiva do N em relação ao crescimento das folhas, com um acréscimo na taxa de alongamento das folhas em 80% para o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça); 79% para o capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e 27% para o capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) quando comparado a não aplicação de N.

Segundo Siqueira et al. (1987), as gramíneas de estação quente necessitam de aplicação de N, porém as doses recomendadas dependem do teor de matéria orgânica (MO) do solo, sendo que em solos com teor de matéria orgânica menor ou igual a 2,5% deve-se utilizar dosagens acima de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, em solos com teores de MO de 2,5 à 5,0% deve-se utilizar de 150 à 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

A aplicação de N nas pastagens tem por finalidade, aumentar a relação folha/colmo da cultura, conseqüentemente melhorar a produção e a qualidade da forragem. Esse aumento na relação folha/colmo acontece devido ao N fazer parte da composição de algumas moléculas envolvidas na fotossíntese, como a rubísco e a fosfoenol piruvato-carboxilase (Santos, 2004).

Uma característica fácil de ser percebida quando se aplica o nitrogênio é a coloração mais esverdeada das plantas. Isso é explicado pela alta taxa de fotossíntese exercida pela planta, conseqüentemente, maior teor de proteína bruta na folha verde, por apresentar na constituição da folha, maior parede celular delgada e menor percentual de fibra (Pacciulo et al., 2002). Medeiros (1972), testando doses de nitrogênio (0, 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>) na pastagem de milho no RS, concluiu que as doses influenciam no aumento linear da produção de MS e nos teores de proteína bruta da cultura, a qual se assemelha muito com o manejo adotado para a cultura do sorgo.

A aplicação da adubação nitrogenada é fundamental e essencial para a produção das forragens. Heringer & Moojen (2002), avaliando a cultura do milho, encontram produções variando de 8.862 a 17.403 kg ha<sup>-1</sup> de MS, com doses de 0 a 450 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Respostas lineares em relação à produção de massa verde com a aplicação de N demonstram que o suprimento de N no solo, na grande maioria das vezes não atende o potencial de crescimento das gramíneas anuais de verão, as quais têm uma

alta taxa de crescimento, conseqüentemente, uma grande demanda por nitrogênio (Santos et al., 2010).

Por outro lado, aplicações de nitrogênio em excesso nas plantas acabam obtendo respostas quadráticas em relação à produção de MS. Isso ocorre pelo fato da alta adubação nitrogenada deixar N disponível no solo em quantidade acima da capacidade de absorção pelas plantas, ou então promover uma absorção excessiva pelas mesmas, podendo provocar um desequilíbrio entre os nutrientes, com isso a produção da forragem não responde linearmente com a aplicação de N e a eficiência de uso diminui (Heringer & Moojen, 2002).

Portanto, o nitrogênio quando aplicado no solo, precisa ser eficientemente aproveitado pelas plantas, devido à facilidade de perdas do elemento. É importante estudar qual a melhor dose de N deve ser aplicada nas pastagens anuais de inverno e verão com diagnósticos precisos, visando atender às necessidades reais da planta no momento em que a mesma está demandando o nutriente.

### **3.2 Produção e qualidade de pastagens de inverno**

No Sul do Brasil, a produção de leite e carne tem como principal característica a produção semi-extensiva, ou seja, uma produção quase que exclusiva a pasto, tornando-se uma atividade com algumas vantagens e desvantagens. Uma dessas vantagens, é a localização que a região está situada, com latitude privilegiada, permitindo a utilização de várias espécies forrageiras tropicais e subtropicais; outra vantagem é o baixo custo de produção das pastagens (Fukumoto, 2007). Porém, a desvantagem é a dificuldade de fornecer um alimento de qualidade e em quantidade o ano todo, principalmente nos períodos de entressafra forrageira, também conhecido como vazio forrageiro (Silva, 2011).

O período de vazio forrageiro acontece no final de inverno, início da primavera, no qual as pastagens anuais de inverno estão no final de seus ciclos produtivo, e no final de verão, início do outono, quando as pastagens de verão estão no final de seus ciclos. Esses períodos críticos são difíceis de serem evitados, mas podem ser amenizados, através do fornecimento de alimentos conservados (silagem e feno), ou com um bom planejamento forrageiro, com uso de gramíneas anuais de inverno e verão e/ou consórcio de gramíneas (Restle et al., 2000; Grise et al., 2002; Skonieski et al., 2011; Silva, 2011).

A aveia preta (*Avena Strigosa*) aveia branca (*Avena sativa*) e o azevém (*Lolium multiflorum*) são as gramíneas anuais de inverno mais utilizadas na região Sul do Brasil para a alimentação animal e como plantas de cobertura, em função de serem espécies que se desenvolvem bem em baixas temperaturas, com uma boa produção de massa e boa qualidade da forragem para a época do ano (Rocha et al., 2004b).

Para se conseguir aumentar a produção de MS durante o período de inverno na região Sul, a utilização do consórcio entre gramíneas anuais de inverno é uma excelente alternativa. Skonieski et al. (2011) encontraram uma produção acumulada de MS de 5.439; 5.250 e 4.991 kg ha<sup>-1</sup> de MS, para as pastagens de azevém consorciadas com trevo branco, amendoim forrageiro e aveia preta, respectivamente, com valores médios de 248 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS.

Em trabalho desenvolvido por Paris et al. (2012) também foi encontrado produções médias de 3.501 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia preta consorciada com azevém, 4.408 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia preta consorciada com ervilhaca, 4.447 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia branca consorciada com azevém, 4.690 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia branca consorciada com azevém mais ervilhaca, 5.038 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia preta consorciada com azevém mais ervilhaca e 5.294 kg ha<sup>-1</sup> MS para a aveia branca mais ervilhaca, com valores médios de 266 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS para as primeiras coletas, e 124 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS para as coletas de final de ciclo, não diferindo entre os consórcios. Isso demonstra o potencial destas espécies na produção de forragem de qualidade no período hibernal.

De modo geral, percebe-se que a cultura da aveia preta, é uma excelente alternativa para ser utilizada, solteira ou consorciada, como pastagens para alimentação animal, ou como cultura de cobertura, durante os períodos de outono/inverno na região Sul do Brasil, por isso a mesma foi incluída na rotação no presente trabalho.

### **3.3 Adubação nitrogenada no sorgo forrageiro e aveia preta**

A aveia preta é uma forrageira de crescimento cespitoso, com colmos eretos e glabros e a inflorescência em panícula. Apresenta rápido crescimento inicial, com alta produção de forragem no primeiro pastejo. É originária da Ásia antiga, desta região passou para a Europa, cujas condições de solo e clima permitiram a expansão da cultura, tornando-se importante fonte de alimentação humana e animal (Skonieski et al., 2011).

A aveia preta é um dos cereais mais utilizadas no período de outono/inverno na região Sul, em função de apresentar boa produção de sementes, variando de 600 à 1.600 kg ha<sup>-1</sup>, 10.000 à 30.000 kg ha<sup>-1</sup> de massa verde e 2.000 à 6.000 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Além disso, apresenta excelente valor nutritivo, chegando a valores superiores à 260 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS nos primeiros pastejos, com uma boa palatabilidade e digestibilidade (60% a 80%). É atóxica aos animais em qualquer estágio vegetativo, adapta-se bem a várias condições de solo, suporta geadas, mas não tolera baixa fertilidade, excesso de umidade e temperaturas altas. Possui boa resposta à adubação, principalmente ao nitrogênio e ao fósforo (Kichel, 2000).

Existem inúmeras cultivares de aveias, todas com suas qualidades, e que se adaptam em diferentes regiões, porém sobre a aveia preta cv. Iapar 61, utilizada no presente trabalho, ainda são poucos os trabalhos realizados, por ser uma cultivar nova, melhorada geneticamente pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Segundo o Instituto Agrônomo do Paraná, a aveia preta cv. Iapar 61 é uma cultivar selecionada a partir da *Avena Strigosa*, apresentando ciclo produtivo mais tardio, de aproximadamente 135 dias, conseqüentemente, essa cultivar possibilita maior número de pastejos e cortes, aumentando o rendimento forrageiro e prolongando o período de cobertura do solo.

De acordo com Grise et al. (2002), ao trabalharem com a cultura a aveia preta comum consorciada com ervilhaca, em diferentes alturas de entrada dos animais, na região Noroeste do Paraná, encontraram ganho de peso médio diário variando de 0,497 à 1,017 kg<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Cecato et al. (2001), avaliando 18 cultivares de aveia preta na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá - PR, no período de maio a setembro, aplicando 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, encontraram produção de MS variando de 590 à 2.476 kg ha<sup>-1</sup> MS, essa produção é considerada baixa para cultura, isso pode ser justificado pela baixa quantidade de chuvas durante o período experimental. Para os valores bromatológicos, os autores encontraram uma variação de 171 à 223 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS e 368 à 407 g de FDN por kg<sup>-1</sup> de MS entre as cultivares avaliadas. Moreira et al. (2001), testando quatro níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) na aveia preta, encontraram uma resposta quadrática, atingindo uma produção de 5.519 kg ha<sup>-1</sup> de MS, com a máxima eficiência técnica sob 168 kg ha<sup>-1</sup> de N. Canto et al. (1997), observaram uma produção total de matéria seca da aveia preta de 4.545 kg ha<sup>-1</sup>, quando utilizaram 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

No estado de São Paulo, especificamente no município de Pirassununga, Luz et al. (2008), avaliando quatro doses de N (0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>) na aveia preta, com e sem

irrigação, encontraram uma produção média de MS maior que as observadas por Cecato et al. (2001), variando de 1.447 kg ha<sup>-1</sup> de MS (sem irrigação) à 3.589 kg ha<sup>-1</sup> de MS (com irrigação) sendo que para as doses de N não houve diferença significativa. Enfim, a adubação nitrogenada na aveia preta mostra ser promissora para a obtenção de maior produção de forragem e com melhor qualidade nutricional.

### **3.4 Extração de nutrientes**

Segundo Dechen & Nachtigall (2007), para que as plantas cresçam e se desenvolvam corretamente são necessários dezessete elementos essenciais: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), e zinco (Zn). Cada um destes nutrientes tem uma função específica no metabolismo das plantas, com isso, se houver um desequilíbrio entre as proporções exigidas pelas plantas, com as disponíveis no solo, pode causar limitações no crescimento e no desenvolvimento das plantas.

Saber como funciona a dinâmica de absorção e fracionamento dos elementos minerais no solo é essencial para manter em equilíbrio os nutrientes e a fertilidade do solo (Epstein e Bloom, 2005). O nitrogênio, fósforo e o potássio são os macrominerais que constituem uma parte considerável do custo de produção das forragens, porém a falta de um desses pode afetar diretamente no rendimento e na qualidade das culturas (Han et al., 2011).

Para as culturas onde são colhidos apenas os grãos e os tubérculos, há uma maior produção de biomassa residual que fica na lavoura, à qual é degradada na grande maioria das vezes pelas bactérias e microrganismos, tendo como objetivo compensar parcialmente a saída de nutrientes como o N, P e K, pela decomposição desses resíduos. Porém quando trabalhamos com culturas como milho, sorgo, aveia, tifton, etc, as quais são utilizadas para a produção de silagem e ou feno, há uma menor quantidade de biomassa residual no solo, em função da colheita da parte vegetativa (Han et al., 2011). Consequentemente, os nutrientes retirados na biomassa vegetal devem ser repostos no solo, para evitar que a área entre em processo de degradação.

Segundo Eswaran et al. (2001), a atividade agropecuária é considerada a maior fonte de degradação de terras em todo o planeta. Estimativas de mais de uma década

consideram que 15% do solo mundial encontra-se degradado ou em processo de degradação (Odeman, 1994), dos quais, 98,8% estão relacionados com as atividades extrativista. A grande maioria das pastagens, as quais fazem parte da alimentação bovina como o principal e mais barato componente da dieta, são exploradas de maneira extrativista, deixando essas áreas em processo de degradação (Primavesi et al., 2004). Essa situação faz com que a pecuária brasileira apresente baixos índices zootécnicos (ANUALPEC, 2011).

Para Théliier-Huché et al. (1999), as forragens em boas condições de crescimento (clima, nutrição e solo) apresentam uma composição do tecido vegetal equilibrada entre os elementos N, P e K. Através desse equilíbrio que se caracteriza o comportamento produtivo das plantas durante o rebrote. Segundo Sartor et al. (2011), pode-se diagnosticar a ocorrência de absorções excessivas ou insuficientes dos nutrientes (N, P e K), em qualquer cultura, através de análises de planta.

De acordo com Han et al. (2011), os quais avaliaram o acúmulo de N, P e K em cinco híbridos de sorgo nos anos de 2006 e 2007, no Norte da China, encontraram valores acumulados variando de 128 à 339 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 à 75 kg ha<sup>-1</sup> de P e 109 à 300 kg ha<sup>-1</sup> de K para os híbridos precoce e médio/tardio, respectivamente. Avaliando a produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de sorgo Guiné gigante (*Sorghum bicolor* subespecie *bicolor* raça guinea), no período de verão de 2000/2001, em São Paulo, Mateus et al. (2011) observaram que o sorgo Guiné pode devolver ao solo via fitomassa o equivalente à 553 kg ha<sup>-1</sup> de uréia, 288 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, e 331 kg ha<sup>-1</sup> de KCl.

Avaliando os resultados encontrados na literatura, pode-se perceber que a quantidade de macronutrientes (N, P e K) encontrados na cultura do sorgo são elevados, fazendo com que essa cultura seja uma excelente alternativa para ser utilizada como planta de cobertura, devido a qualidade e quantidade dos resíduos produzidos.

Atualmente estão surgindo novos híbridos de sorgo, com o intuito de serem utilizados para alimentação animal, em função de apresentar algumas vantagens, como alto rendimento de massa verde, excelente valor bromatológico, dentre outras (Zhao et al., 2009). Quando se pensa em ciclagem de nutrientes, alguns autores ressaltam que parte das forragens coletadas pelos animais é devolvida ao solo, na forma de excremento animal, e isso traz de volta os macro e microminerais, o qual pode chegar a 90% para o N (Mott, 1974; Boddey et al., 1996). No entanto, a distribuição deste excremento é muito desuniforme, concentrando-se em áreas específicas da pastagem, portanto não dá para

utilizar como parâmetro base para reposição de nutrientes no solo, conseqüentemente, trabalhos que tem como objetivo avaliar a extração dos macronutrientes pelas pastagens anuais de inverno e de verão deveram ser realizados, para auxiliar os técnicos nos programas de adubação das pastagens.

Vaz de Melo et al. (2011), ao quantificarem a extração de nutrientes e a produção de biomassa de aveia-preta em solos submetidos a dezoito anos de adubações orgânicas e minerais, no município de Coimbra - MG, com tratamentos: sem adubação; adubação mineral na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 com a adição de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura; adubação mineral na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 com a adição de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura e adubação orgânica com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico, encontraram à maior extração acumulada de N, P e K (60, 15 e 101 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), quando aplicaram 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico.

### **3.5 Eficiência de uso do nitrogênio**

A forma de produção de leite ou carne em nosso país ainda é considerada extrativista na maioria das regiões do Brasil. Esse manejo inadequado acaba aumentando as áreas de pastagens degradadas (Costa et al., 2010). Áreas que estão em processo de degradação, ao passar do tempo, vão diminuindo a produtividade, e produzem pastagens de menor qualidade, devido ao declínio da fertilidade do solo. Segundo Castagnara et al. (2011), Costa et al. (2010), e Santos et al. (2002), a falta de um programa de adubação adequado e de um manejo correto das pastagens têm sido apontadas como as principais causas da degradação do solo em nosso país.

Apesar do potencial produtivo das plantas forrageiras serem determinados basicamente pela genética, a produtividade pode ser estimulada por meio da adubação nitrogenada, podendo variar quanto à dose e às espécies utilizadas (Garcez Neto et al., 2002). Além do potencial produtivo, as características morfogênicas e morfofisiológicas do dossel também podem ser influenciadas diretamente pela adubação nitrogenada (Premazzi et al., 2003).

O nitrogênio é um dos principais elementos minerais para as plantas, podendo provocar algumas alterações no solo devido a sua falta ou excesso. Segundo Heringer & Moojen (2002), encontrar qual à dosagem de N mais eficiente para as pastagens é de extrema importância, pois esse elemento em pequenas quantidades no solo influencia diretamente na produção e na qualidade das pastagens, como já comentado acima, mas

em excesso, também pode acarretar um desbalanço nutricional na planta, aumentando os custos de produção e diminuindo a eficiência de utilização dos nutrientes.

De acordo com Rosolem et al. (2003) e Marschner (1997), a disponibilidade de N no solo depende do balanço entre os processos de mineralização e os de imobilização, pois em pastagens tropicais extensivamente manejadas, sem adubação nitrogenada, a disponibilidade de N depende, em grande parte, da mineralização do N dos resíduos vegetais, da natureza do resíduo orgânico em decomposição, e da atividade microbiana do solo.

No entanto, quando se utiliza a ureia ou sulfato de amônio como fonte de N para as culturas, devem-se levar em consideração alguns cuidados básicos, pois segundo Costa et al. (2010), a aplicação de fertilizantes nitrogenados é um dos principais motivos da acidificação do solo. Em geral as plantas absorvem o N na forma de  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$ , porém mais de 90% é absorvido na forma  $\text{NO}_3^-$ , com isso, quando se aplica à ureia ou amônia ( $\text{NH}_4$  e  $\text{NH}_2$ ) para ser convertido em  $\text{NO}_3^-$ , são liberados  $\text{H}^+$  para o solo, fazendo com que o solo se acidifique mais rapidamente, principalmente quando se aplica elevadas doses de N. Sendo assim, altas doses de nitrogênio podem apresentar repostas de produção de forragem que não sejam eficientes.

Segundo Mello (1987), a eficiência de utilização do nitrogênio depende de vários fatores, como as condições de clima e solo, fonte de N, quantidade aplicada e potencial de resposta da planta, além é claro do equilíbrio nutricional no solo (Thélier-Huché et al., 1999).

A eficiência de utilização do N, na grande maioria das vezes diminui quando se aumenta as doses de N. Castagnara et al. (2011), ao avaliarem os efeitos de doses crescentes de N sobre as características morfogênicas, estruturais e produtivas das gramíneas *Panicum maximum* cvs. Mombaça e Tanzânia, e *Brachiaria* sp. Mulato, encontraram uma eficiência no uso de 19, 28, 28 e 20 kg MS<sup>-1</sup> kg de N, quando aplicaram as doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Primavesi et al. (2004), ao avaliar o efeito de doses e fontes de N, no teor, extração dos nutrientes e na recuperação do N aplicado em capim-coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross), encontraram uma eficiência de recuperação de 25, 27, 21 e 13 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N, quando aplicadas as doses de 125, 250, 500 e 1000 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente,

Além das culturas de verão, saber a eficiência fisiológica das culturas anuais cultivadas sequencialmente no inverno é de extrema importância. Moreira et al. (2001), testando quatro níveis de adubação nitrogenada (50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) na aveia

preta, encontraram uma eficiência de recuperação de 29, 17 e 11 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

#### 4. REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, Dari Celestino; NEUMANN, Mikael; RESTLE, João; et al. Características agronômicas produtivas, qualidade e custo de produção de forragem em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum*, L.). **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.143-149, 2003.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA PECUÁRIA – ANUALPEC, São Paulo: **FNP: Consultoria & Comércio**, 2011.

ASSIS, Airdem Gonçalves de; Produção de leite a pasto no Brasil. In: Simpósio Internacional Sobre Produção Animal em Pastejo, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, p.381- 409, 1997.

BARBANTI, Lorenzo; GRIGATTI, Marco; CIAVATTA, Claudio. Nitrogen release from a <sup>15</sup>N- labeled compost in a sorghum growth experiment. **Journal Plant Nutrition Soil Science**. v.174, p. 240–248, 2011.

BARCELLOS, Alexandre de Oliveira; RAMOS, Allan Kardec Braga; VILELA, Lourival; et al. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67, 2008.

BODDEY, R.M.; RAO, I.M.; THOMAS, R.J. Nutrient cycling and environmental impact of Brachiaria pastures. In: WILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. (Eds.). **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: CIAT, p.72-86, 1996.

CASTAGNARA, Deise. Dalazen; ZOZ, Tiago; KRUTZMANN, Alexandre. et al.; Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1637-1648, 2011.

CECATO, Olysses; RÊGO, Fabíola Cristiane de Almeida, GOMES, José Augusto Nogueira; et al. Produção e composição química em cultivares e linhagens de aveia (*Avena spp*). **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 775-780, 2001.

CÓRDOVA, U. A. **Melhoramento e manejo de pastagens naturais no Planalto Catarinense**. Florianópolis: Grafine, cap.1, p.37-105. 2004.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 1, p. 192-199, 2010.

DECHEN, Antônio Roque & NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, Roberto, Ferreira;

ALVAREZ, V. Victor Hugo; DE BARROS, Nairam Félix; et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa – MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

DERESZ, Fermino. Produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu em pastagem de capim-elefante, manejada em sistema rotativo com e sem suplementação durante a época das chuvas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.1, p.197-204, 2001.

DERESZ, Fermino; PORTO, Petrônio Pinheiro; SANTOS, Geraldo Tadeu; et al. Produção de leite, consumo de matéria seca e taxa de lotação em pastagens de gramíneas tropicais, durante a época das chuvas. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia/UFPB, [2006]. CD-ROM. Produção e Nutrição de Ruminantes.

DIOUF, O.; BROU, Y. C.; DIOUF, M.; SARR, B.; EYLETTERS, M.; ROY-MACAULEY, H.; DELHAYE, J.P. Response of Pearl Millet to nitrogen as affected by water deficit. **Agronomy Journal**, v.24, p. 77–84, 2004.

DOLCIOTTI, Ivano; MAMBELLI, Stefania; GRANDI, Silvia; VENTURI, Gianpietro. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. **Industrial Crops and Products**. V.7, p. 265–272, 1998.

EPSTEIN, E.; & BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2<sup>ed</sup>. Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 380p.

ESWAREN, H.; LAL, R.; REICH, P. F. Land degradation: An overview. In: BRIDGS, R. F., ed. Response to land degradation. Madison, IBSRAM. Science Publishers, p.20-35, 2001.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAOSTAT. Disponível em < :<http://apps.fao.org/>> Acesso em 20 agos. 2012.

FONTANELI, Roberto Serena. **Produção de leite de vacas da raça holandesa em pastagens tropicais perenes no Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2005. 168p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Faculdade de Agronomia.

FUKUMOTO, Nelson Massaru. **Desempenho produtivo de vacas holandês x zebu em pastagens de gramíneas tropicais sob lotação rotacionada**. 2007. 96p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá, 2007.

GARCEZ NETO, Américo Fróes; NASCIMENTO Junior Domicio do; REGAZZI, Adair José; et al. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximun* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.1809-1900. 2002.

GONTIJO NETO, Miguel Marques; OBEID, José Antônio; PEREIRA, Odilon Gomes; et al. Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Cultivados sob Níveis Crescentes de Adubação. Rendimento, Proteína Bruta e Digestibilidade *in Vitro*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1640-1647, 2002.

GRISE, Marcia Maria; CECATO, Olysses; MORAES, Anibal. et al. Avaliação do Desempenho Animal e do Pasto na Mistura Aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) e Ervilha Forrageira (*Pisum arvense* L.) Manejada em Diferentes Alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1085-1091, 2002.

HAN, Li Pu; STEINBERG, Yosef; ZHO, Ya, Li; et al. Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. **Elsevier B.V. All rights reserved**, 2011.

HERINGER, Ingrid; MOOJEN, Eduardo Londero. Potencial Produtivo, Alterações da Estrutura e Qualidade da Pastagem de milheto Submetida a Diferentes Níveis de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.875-882. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2002.

ICRISAT 'Descriptors for sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**: Patancheru, India, 1993.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. **Uso de aveia como planta forrageira**. Embrapa Campo Grande, MS, n. 45, dezembro de 2000.

LINGLE, S. E. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. **Crop Science**. v.27, p.1214–1219, 1987.

LUZ, Pedro Henrique de Cerqueira; HERLING, Valdo Rodrigues; BRAGA, Gustavo José; et al. Resposta da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) à irrigação por aspersão e adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**. v 30. n.3, p. 421 – 426, 2008.

MALAVOLTA, E. **Os elementos minerais**. In: ELEMENTOS DE NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS. Ed.: Agronômica Ceres. São Paulo, 1980.

MARTHA Jr, Geraldo Bueno; CORSI, Moacyr; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze; et al. Perda de Amônia por Volatilização em Pastagem de Capim-Tanzânia Adubada com Ureia no Verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.2240-2247, 2004.

MARTINS, Pablo Caetano. Oportunidades e desafios para a cadeia produtiva do leite. In: ZOCCAL, R.; CARVALHO, L.A.; MARTINS, P.C.; et al. (Ed.) A inserção do Brasil no mercado internacional de lácteos. Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, p.11 – 30, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1997. 889p.

MARTUSCELLO, Janaina Azevedo; FONSECA, Dilermando Miranda; NASCIMENTO Júnir Domicio; et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-xaraés submetido a adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p 1475-1482, 2005.

MATEUS, Gustavo Pavan; BORGHI, Émerson; CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral; et al. Biomass production and accumulation of nutrients in shoots of Giant Guinea sorghum plants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 1000-1008, 2011.

MEDEIROS, Renato Borges de. **Efeito do nitrogênio e população de plantas sobre o rendimento de matéria seca, teor e produção de proteína bruta de sorgo e milho forrageiros**. Porto Alegre. 1972. 96p. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Faculdade de Agronomia, 1976.

MELLO, F.A.F. **Ureia fertilizante**. 1 ed. Campinas: Fundação Cargil, 192 p., 1987.

MOREIRA, Fernanda Barros; CECATO Ulysses.; PRADO Ivanor Nundes do.; et al.; Avaliação de aveia preta *cv* IAPAR 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 815-821, 2001.

MOTT, G.O. Nutrient recycling in pastures. In: MAYS, D.A. (Ed.). **Forage fertilization**. Madison: Soil Science Society of America, p.323-339, 1974.

NEUMANN, Mikael; RESTLE, João; FILHO, Dari C.A. et al. Produção de forragem e custo de produção da pastagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.), fertilizada com dois tipos de adubo, sob pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n. 2, p. 215-220, 2005.

OENEMA, Oene; KROS, Hans; VRIES, Wim. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. **European Journal of Agronomy**, 20, 3 – 16, 2003.

OLDEMAN, L. R. **The global extent of soil degradation**. In: GREENLAND, D. J & SZABOCLS, I., ed. Soil resilience and sustainable land use. Wallingford, Cab International, P. 99 – 118, 1994.

OLIVEIRA, Elir. **Opções de forrageiras de entressafra e inverno em sistema de integração lavoura e pecuária**. Pesquisador, IAPAR-Estação Experimental de Palotina, endereço eletrônico: eepiapar@pr.gov.br, 2010.

OLIVEIRA, Leandro Barbosa; PIRES, Aureliano José Vieira; VIANA, Anselmo Eloi Silveira; et al. Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.12, p.2604-2610, 2010

OLIVO, Clair Jorge; ZIECH, Magnos Fernando; MEINERZ, Gilmar Roberto; et al. Valor Nutritivo de pastagens consorciadas com diferentes espécies de leguminosas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1543-1552, 2009.

PACIULLO, Domingos Sávio Campos; GOMIDE, José Alberto; SILVA, Eldo Antônio Monteiro; et al. Características anatômicas da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.890-899, 2002.

PARIS, Wagner; MARCHESAN, Renato; CECATO, Olysses; et al. Dynamics of yield and nutritional value for winter forage intercropping. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 34, n. 2, p. 109-115, 2012.

PEREIRA, Odilon Gomes; OBEID, José Antônio; GOMIDE, José Alberto; et al. Produtividade de uma variedade de milho (*Zea mays* L.) e de três variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e o valor nutritivo de suas silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.1, p.31-38, 1993.

PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A.; CORRENTE, J. E. Perfilamento em Capim bermuda cv. Tifton 85 em resposta a doses e ao momento de aplicação do nitrogênio após o corte. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 565- 571, 2003.

PRIMAVESI, Ana Cândida; PRIMAVESI, Odo; CORRÊA, Luciano de Almeida; et al. Adubação Nitrogenada em Capim-*Coastcross*: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.68-78, 2004.

RESTLE, João; ROSO, Cledson; SOARES, André Brugnara. et al. Produtividade Animal e Retorno Econômico em Pastagem de Aveia Preta mais Azevém Adubada com Fontes de Nitrogênio em Cobertura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 357-364, 2000.

RIBAS, Marcelo Neves; MACHADO, Fernanda Samarini. Produção de forragem utilizando híbridos de sorgo com capim Sudão (*S. bicolor* x *S. sudanense*). **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção, 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição set, 2010.

RINALDI, Michele; GAROFALO, Pasquale. Radiation-use efficiency of irrigated biomass sorghum in a Mediterranean environment. **Crop & Pasture Science**, v.62, p.830–839, 2011.

ROCHA, Marta Gomes da; PILAU, Alcides; DOS SANTOS, Davi Teixeira. et al. Desenvolvimento de novilhas de corte submetidas a diferentes sistemas alimentares. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2123-2131, nov., 2004.

ROCHA, Marta Gomes da; MONTAGNER, Denise Baptaglin; DOS SANTOS, Davi Teixeira; et al. Parâmetros Produtivos de uma Pastagem Temperada Submetida a Alternativas de Utilização. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1386-1395, 2004b.

RODRIGUES, José Avelino Santos. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: Simpósio de Forragicultura e Pastagens: temas em evidência, 2000, Lavras. **Anais...Lavras: UFLA**, 2000. p.179-201, 2000.

ROSOLEM, Ciro Antônio; FOLONI, José Salvador Simoneti; OLIVEIRA, Rosa Honorato. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

SANTOS, P.M. **Controle do desenvolvimento das hastes no capim Tanzânia: um desafio**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002, 98p. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento). Universidade de São Paulo, 2002.

SANTOS, Ívina Paula Almeida dos.; PINTO, José Cardoso.; SIQUEIRA, José Osvaldo.; et al.; Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoii* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 605-616, 2002.

SANTOS, Eduardo Destéfani Guimarães.; PAULINO, Mário Fonseca; QUEIROZ, Domingos Sávio; et al. Avaliação de pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf. Características químico-bromatológicas da forragem durante a seca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.1, p.203-213, 2004.

SANTOS, Andréia Luciana; LIMA, Maria Lúcia Pereira; BERCHIELLI, Telma Teresinha; et al. Efeito do dia de ocupação sobre a produção leiteira de vacas mestiças em pastejo rotacionado de forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.1051-1059, 2005.

SANTOS, Manoel Eduardo Rozalino; FONSECA, Dilermando Miranda da; BALBINO, Eric Márcio; et al. Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.4, p.650-656, 2009.

SANTOS, Manuel Eduardo Rozalino; FONSECA, Dilermando Miranda da; BALBINO, Eric Márcio; et al. Valor nutritivo de perfilhos e componentes morfológicos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.9, p.1919-1927, 2010.

SARTOR, Laércio Ricardo. **Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e potássio por plantas de papuã submetidas a diferentes intensidades de pastejo e níveis de nitrogênio**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009. 115p. Dissertação (Mestre em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SARTOR Laércio Ricardo.; ASSMANN Tangriani.; SOARES André Brugnara.; et al. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. **Brazilian Journal of Soil Science**, v.35, p.899-906, 2011.

SILVA, Francieli Batista. **Qualidade Nutricional da aveia preta sob corte, pastejo e feno com diferentes alturas de manejo**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011. 70p. Dissertação. (Mestre em Produção e Nutrição Animal). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

DA SILVA, Sila Carneiro da; NASCIMENTO JUNIOR, Domício. Sistema intensivo de produção de pastagens. In: II Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal, 2, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBNA – AMENA, 2006. p. 1-31, 2006.

SINGH, B. R.; SINGH, D. P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. **Field Crops Research**. 42, 57-67, 1995.

SIQUEIRA, Otávio João Fernandes. **Recomendações de adubação e calagem do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo - RS. Embrapa/CNPT. 1987.

SOARES, João Paulo Guimarães; AROEIRA, Luiz Januário Magalhães; PEREIRA, O.G. et al. Capim-elefante (*pennisetum purpureum* schum.), sob duas doses de nitrogênio.

Consumo e produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.4, p.889-897, 1999.

SOARES, André Brugnara. Manejo e utilização de pastagens cultivadas de verão para produção de bovinos de corte. In: RESTLE, J. **Eficiência na produção de bovinos de corte**. Santa Maria: UFSM/Departamento de Zootecnia, 2000. v. 3, p.74-116, 2000.

SKONIESKI, Fernando Reimann; VIÉGAS, Júlio; BERMUDEZ, Rogério Folha. et al. Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.550-556, 2011.

STEVENS, W. B; HOEFT, R. G; MULVANEY R. L. Fate of Nitrogen-15 in a Long-Term Nitrogen Rate Study: II. Nitrogen Uptake Efficiency. **Agronomy Journal**, vol. 97, 2005.

THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. **L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires**. Institut de L'Évage, Juin, 1999.

TOMICH, T. R.; RODRIGUES, R.G.P; TOMICH, L.C. et al. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim-sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, n.2, p.258-263, 2004.

TOMICH, T. R.; TOMICH, R.G.P.; GONÇALVES, L.C. et al. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.6, p.1249-1252, 2006.

UPADHYAYA, H. D; SHARMA, S.; RAMULU,B.; et al. Variation for qualitative and quantitative traits and identification of trait-specific sources in new sorghum germplasm. **Crop & Pasture Science**. v. 61, p. 609–618, 2010.

VAZ DE MELO, Aurélio.; GALVÃO, João Carlos Cardoso.; BRAUN, Heder. et al. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

VAZ, Ricardo Zambarda & LOBATO, José Fernando Piva. Efeito da idade de desmame no desempenho reprodutivo de novilhas de corte expostas à reprodução aos 13/15 meses de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.1, p.142-150, 2010.

ZAGO, Cláudio Pratez. Utilização do sorgo na alimentação de ruminantes. In: Manejo cultural do sorgo para forragem. Sete Lagoas: **EMBRAPA/CNPMS**,1997. p.9-26 (Circular Técnica/EMBRAPA-CNPMS, 17).

ZHAO, Ya Li.; DOLAT, Abdughani.; STEINBERGER, Yosef.; WANG, Xin.; OSMAN, Amarjan.; XIE, Guang Hui. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Res**. v.111, p.55–64, 2009.

ZEGADA-LIZARAZU, Walter.; IIJIMA, Morio. Deep root water uptake ability and water use efficiency of pearl millet in comparison to other millet species. **Plant Production Science**, v.8, p.454–460, 2005.

## Capítulo I: Produção e valor nutricional do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. Iapar 61 sob adubação nitrogenada

**Resumo:** No Brasil a produção de leite e carne tem como principal característica a produção quase que exclusiva a pasto. Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produção e no valor nutricional do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. IAPAR 61. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Dois Vizinhos, o qual possui um solo caracterizado como Nitossolo Vermelho Distroférico típico. As doses de N avaliadas foram: 0; 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg ha<sup>-1</sup> para a cultura do sorgo forrageiro nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e 0; 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultura da aveia preta durante o inverno de 2011. As doses de 288 e 264 kg ha<sup>-1</sup> de N, foram as que apresentaram a maior produção de forragem para o sorgo forrageiro nos anos agrícola de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente e 187 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que apresentou a maior produção de forragem para a aveia preta. As doses de 349 e 328; 212 e 207 kg ha<sup>-1</sup> de N foram as que apresentaram os maiores teores de PB e DIVMS para sorgo, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Os teores de FDN e FDA não foram influenciados pelas doses de N no cultivo do sorgo. Para a aveia preta, a dose de 220 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que apresentou o maior teor de PB, para a DIVMS, FDN e FDA as doses de N não tiveram efeito significativo.

**Palavras-chave:** alimentação animal, *Avena strigosa*, *Sorghum* ssp. Híbrido, valores bromatológicos

**Abstract:** In Brazil the production of milk and meat that as main feature the production almost exclusively on pasture. The aim of this study was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the production and nutritional value of forage sorghum cv. Jumbo and oat cv. IAPAR 61. The study was conducted in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal of Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, the soil of the region is characterized as a Distroferric Red Nitosol. The N rates evaluated were: 0, 37.5, 75, 150, 225, 300 and 375kg ha<sup>-1</sup> for sorghum forage in crop years 2010/2011 and 2011/2012 and 0, 40, 80; 120, 160, 200 and 240 kg N ha<sup>-1</sup> to the culture of oats during the winter of 2011. Doses of 288 and 264 kg N ha<sup>-1</sup>, showed the most forage production for sorghum in crop years of 2010/2011 and 2011/2012 respectively, and 187 kg ha<sup>-1</sup> N was that had the highest forage yield for oats. Doses of 349 and 328, 212 and 207 kg N ha<sup>-1</sup> were those that showed the highest levels of CP and IVDMD for sorghum, the crop years 2010/2011 and 2011/2012 respectively. NDF and ADF were not affected by N in sorghum crop. For oats, the dose of 220 kg ha<sup>-1</sup> N was the one with the highest content of CP, for IVDMD, NDF and ADF doses of N had no significant effect.

**Keywords:** animal feed, *Avena strigosa*, *Sorghum* ssp. Hybrid, bromatologic values

### Introdução

O Brasil se destaca por possuir o segundo maior rebanho comercial de bovinos de corte do mundo, com aproximadamente 180 milhões de cabeças, sendo o maior

exportador de carne bovina e o quinto maior exportador de leite (ANUALPEC 2011, FAO 2010). Porém, a pecuária pode ser mais eficiente e lucrativa quando conseguir elevar os índices produtivos, pois se sabe que o principal problema é conseguir produzir alimento de qualidade e em quantidade o ano todo para o rebanho (Garcia et al., 2007).

No Sul do Brasil a produção de leite e carne tem como principal característica a produção semi-extensiva na grande maioria das propriedades, essa característica tem suas vantagens e desvantagens (Skonieski et al., 2011). As principais vantagens seriam, à localização que a região está situada, com uma latitude privilegiada, permitindo a utilização de várias espécies forrageiras tropicais e subtropicais, outra vantagem é o baixo custo de produção das pastagens. Como desvantagem é difícil fornecer um alimento de qualidade e em quantidade o ano todo, principalmente nos períodos de entressafra forrageiro, também conhecido como vazio forrageiro (Silva, 2011).

O vazio forrageiro ocorre durante o período de sazonalidade das culturas, principalmente no final de seus ciclos. De acordo com Garcia et al. (2000), o déficit de forragem no outono e no inverno é comumente superado pelo uso de uma alimentação complementar, o que acaba aumentando os custos de produção. Para evitar que se aumente o custo de produção na alimentação bovina, pode-se conseguir uma combinação entre a produção de forragem das culturas de estação quente (*Zea mays*, *Sorghum sudanensis*, *Sorghum bicolor*, *Pennisetum americanum*, *Uruchloa plantaginea*, *Helianthus annuus*) com as de estação fria (*Avena strigosa*, *Lolium multiflorum*), com isso, faz com que haja uma produção constante de leite e carne o ano todo (Thom & Gillespie, 1987).

A aveia preta (*Avena strigosa*), uma forrageira de clima temperado e subtropical, anual, de hábito ereto, com desenvolvimento uniforme, bom perfilhamento, alto valor nutritivo e com boa digestibilidade, é uma excelente alternativa para ser utilizada na alimentação dos bovinos durante o período de outono/inverno (Sá 1995; Cecato et al., 2002; Skonieski et al., 2011). Monteiro et al. (1996), descreveram que, em solos nos quais as condições de fertilidade eram de média à baixa, o rendimento total de massa seca da aveia pode chegar a aproximadamente 5.000 kg ha<sup>-1</sup>. Já Cecato et al., (2002), apontam produções de 5.000 à 8.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS, uma produção considerável para um região de clima subtropical durante o período de outono/inverno.

Para o período de primavera/verão, existe inúmeras espécies forrageiras que podem ser utilizadas para a alimentação animal, porém uma cultura que está se destacando é o sorgo forrageiro, por ser uma cultura resistente a altas temperaturas e baixas quantidades

de chuvas (Singh & Singh, 1995; Consentino et al., 2012). O sorgo, originário do centro da África e parte da Ásia, apresentou expressiva expansão nos últimos anos. Atualmente, é o quinto cereal mais importante no mundo, depois do arroz, milho, trigo e cevada. É cultivado em 104 países em uma área estimada de 43,79 milhões de hectares (FAO, 2010).

Porém, além da escolha das culturas ideais ao clima e à época do ano, a fertilidade do solo influencia diretamente na produção e na qualidade das forragens. Santos et al. (2009), complementam que no Brasil, cerca de 80% das áreas de pastagens encontram-se em algum estágio de degradação. Este cenário ocorre geralmente por manejo inadequado do solo, a escolha de espécies forrageiras erradas, e principalmente por não ter o conhecimento de como está a fertilidade do solo. Um dos principais nutrientes do solo que afeta diretamente a produção das forragens é o nitrogênio. A aplicação deste nutriente não influencia somente o rendimento das culturas, mas também o valor nutritivo da forragem (Barbanti et al., 2011).

A fim de obter altas produções de forrageiras, com qualidade, para a alimentação dos bovinos o ano todo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação nitrogenada na produção e no valor nutricional das forragens, das culturas do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. IAPAR 61.

## **Material e métodos**

### **Local do Experimento**

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos. A área está localizada no terceiro planalto paranaense, com altitude de 520 m, latitude de 25°44 Sul e longitude de 54°04 Oeste. Esta região apresenta um clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa) sem estação seca definida, com temperaturas médias de 22 °C no verão e 17 °C no inverno, com índice pluviométrico médio de 2.100 mm por ano.

Os dados de precipitação pluviométrica foram coletados junto à estação meteorológica do INMET-SONABRA, disponível na própria área experimental. O solo da região é caracterizado como Nitossolo Vermelho Distroférrico típico (Ribas, 2010). As características químicas do solo da área experimental no momento da semeadura do primeiro cultivo estão apresentadas na tabela 1. Pode-se destacar que o pH do solo encontrava-se na faixa ideal na camada de 0-10 cm e um pouco abaixo do ideal na camada de 10-20 cm. Também, apresenta altos teores de K, Ca e Mg e ausência de Al na forma

livre no solo. O teor de P disponível está alto na camada de 0-10 cm, e médio na camada de 10-20 cm (CQFS RS/SC, 2004).

Tabela 1. Atributos químicos do solo anteriormente ao cultivo do sorgo forrageiro no ano de 2010. Dois Vizinhos, PR.

Prof	pH	MO	P-Mehlich	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V
(cm)	CaCl <sub>2</sub>	%	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			-----			(%)	
0-10	4,90	3,48	8,62	0,30	5,13	2,34	0,06	5,35	7,77	13,12	59,2
10-20	4,50	3,22	4,20	0,15	3,59	1,69	0,28	5,76	5,43	11,19	48,5

### Culturas utilizadas

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas duas culturas anuais, sendo uma de verão e outra de inverno. Para o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, foi utilizado o sorgo forrageiro cv. Jumbo (híbrido entre *Sorghum bicolor* e *Sorghum sudanensis*) e para o inverno de 2011, foi utilizada a aveia preta cv. IAPAR 61.

O primeiro ciclo de cultivo do sorgo forrageiro (2010/2011) foi conduzido durante os meses de novembro de 2010 à abril de 2011, com a semeadura no dia 15/11/2010. O ciclo de inverno foi conduzido na mesma área experimental durante o período de maio a outubro do ano de 2011, com a semeadura da aveia preta no dia 12/05/2011. Para o segundo ano de cultivo do sorgo (2011/2012), o trabalho foi conduzido também nas mesmas parcelas, durante os meses de janeiro a abril de 2012, com a semeadura no dia 31/01/2012. Esse atraso na semeadura no segundo cultivo foi em função de um período de ausência de chuvas (Figura 1), que não permitiu a implantação da cultura mais cedo.

### Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente casualizados, com três repetições para cada tratamento. O tamanho das parcelas experimentais era de 5 x 5 m, totalizando 25 m<sup>2</sup> cada parcela. Para os dois ciclos de verão o espaçamento entre as fileiras do sorgo forrageiro foi de 40 cm, com uma densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de semente viáveis, sendo testadas as doses de 0; 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, distribuídas em três aplicações iguais, 1/3 na semeadura, 1/3 após o primeiro corte e 1/3 após o terceiro corte. As datas de aplicação para o ano 2010/2011 foram na semeadura (15/11/2010), após o primeiro corte (29/12/2010) e após o terceiro corte

(02/03/2011). Para o segundo ano (2011/2012) foram na semeadura (31/01/2012), após o primeiro corte (02/03/2012) e após o terceiro corte (30/03/2012).

Para a aveia preta no inverno de 2011, o espaçamento entre as fileiras foi de 20 cm, com uma densidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de semente viáveis, testando as doses de 0; 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo essas doses também distribuídas em três aplicações, 1/3 no perfilhamento (16/06/2011), 1/3 após o primeiro corte (09/07/2011) e 1/3 após o terceiro corte (13/08/2011).

### **Produção de forragem e manejo da pastagem**

A coleta do material forrageiro do sorgo produzido durante o verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 foi realizada com o corte manual das culturas, com o auxílio de um quadrado de 0,50 x 0,50 m, em duas linhas de cultivo por parcela, equivalente a 0,40 m<sup>2</sup>, quando a cultura atingia uma altura média entre 0,70 a 0,80 m na maioria dos tratamentos, o restante do material forrageiro das parcelas foi cortado e retirado manualmente, deixando um resíduo médio de planta de 0,20 m de altura para rebrote e nova coleta.

A coleta do material vegetal da aveia preta ocorreu sempre que a cultura atingia um tamanho ideal para pastejo de 25 cm de altura na maioria dos tratamentos. A coleta foi realizada por meio de corte manual a 10 cm do solo de uma área de 0,50 x 0,50 m, totalizando 0,25 m<sup>2</sup> por unidade experimental, o restante da área da parcela era manejado com uma roçadeira mecânica, na mesma altura da amostra coletada, sendo retirado da parcela este material roçado.

### **Análises químicas e bromatológicas**

Para determinação das características bromatológicas de ambas as culturas, o material foi seco em estufa a 60 °C até peso constante, e moído em moinho tipo Wiley, até passagem em peneira de 1mm, para posterior determinação laboratorial. Os parâmetros avaliados foram:

**Massa seca (MS)** – foi pesado o recipiente (saco de papel) utilizado para secagem da amostra na estufa, colocou-se no mesmo, uma amostra de 200 a 250 gramas da forragem, conforme coletada a campo, e pesou-se novamente. Após isso, foi acondicionado o saco de papel com a amostra na estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 60 °C, deixando secar por aproximadamente 72 horas ou até estabilizar o peso, sendo determinada a massa parcialmente seca. Após esse procedimento,

subamostras foram tomadas para determinação da MS real a 105 °C, sendo colocadas em outra estufa por aproximadamente 8 horas, para calcular o teor real de massa seca da forragem.

**Teor de proteína bruta (PB)** – a determinação da proteína bruta (PB) foi obtida em percentagem, a partir da matéria seca, determinando o nitrogênio segundo o método de Weende (1984), citado por Silva (1990). A percentagem de proteína obtida da amostra foi estimada multiplicando a percentagem de nitrogênio por 6,25, resultando no valor de PB.

**Fibra em detergente neutro (FDN)** – para calcular o teor de FDN (celulose, hemicelulose e lignina) foi utilizado o método de Van Soest (1991). Utilizou-se uma amostra de 0,5 gramas que foi colocada em saquinho TNT gramatura 100 com tamanho de 5 x 5 cm, o qual ficou em solução neutra por aproximadamente 1 hora, com temperatura de aproximadamente 98 °C, retirou-se e fez-se a lavagem dos saquinhos com água destilada e acetona. Após o processo de digestão da fibra, colocaram-se os saquinhos na estufa à temperatura de 105 °C, deixando por 8 horas, em seguida retirou-se os mesmos, pesou-se o quanto de amostra que restou e calculou-se o teor de fibra em detergente neutro (FDN).

**Fibra em detergente ácido (FDA)** – a determinação da concentração de FDA composta quase na sua totalidade por lignina e celulose, foi dada por intermédio do equipamento ANKOM, feito pelo método semelhante ao FDN, seguindo as recomendações propostas por Van Soest (1991) em solução ácida.

**Digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS)** – seguiu-se a metodologia adaptada de Tilley & Terry (1963), ocorrendo em duas fases, onde se colocaram os saquinhos (modelo F57) com 0,5 gramas de amostra no equipamento da ANKON, por um período de 48 horas de fermentação em pH 6,8 com líquido ruminal, simulando um rúmen artificial, após esse período o substrato foi fermentado por mais 24 horas, em uma solução ácida (pH entre 2,4 à 2,6) e pepsina, tendo como função desdobrar as proteínas em peptídeos mais simples, simulando o abomaso. Após esse período retirou-se os saquinhos do equipamento, colocando-os na estufa à uma temperatura de 105 °C por 8 horas, retirou-se posteriormente os saquinhos, colocou-se por 15 minutos no dessecador, até esfriar, pesou-se e por diferença calculou-se a digestibilidade da forragem.

As determinações de todas essas análises bromatológicas foram procedidas no Laboratório de Bromatologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo programa SAS 8.1 (SAS Institute, 2001) a um nível de significância de 5%, de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:  $Y_{ij}$ : é a variável resposta na  $j$ -ésima;  $\mu$ : é a média geral;  $t_i$ : é o efeito **fixo** do  $i$ -ésimo tratamento;  $b_j$ : é o efeito **fixo** do  $j$ -ésimo bloco;  $\varepsilon_{ij}$  é o erro aleatório. Assume-se que  $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

Quando significativo os fatores de efeito quantitativo foram submetidos a testes de regressões polinomiais considerando o maior grau significativo.

### Resultados

As condições climáticas são os fatores mais limitantes ao desenvolvimento das culturas, principalmente a precipitação pluviométrica e as temperaturas médias. Na figura 1 estão os dados observados na estação meteorológica presente na área experimental, no período de novembro de 2010 a abril de 2012. Durante o período de novembro de 2010 a abril de 2011, os índices de precipitação pluviométrica foram relativamente bem distribuídos, com uma média de 184 mm mensal, destacando negativamente os meses de março e abril do ano, nos quais a quantidade de chuvas foi de apenas 70 e 110 mm, respectivamente. Para este mesmo período no ano seguinte, de novembro de 2011 a abril de 2012, a média de precipitação foi 133 mm ao mês, ou seja, 51 mm à menos por mês em relação ao mesmo período do ano anterior, destacando os meses de novembro e dezembro de 2011, nos quais a precipitação média foi de 88 mm, sendo que no mês de novembro, na primeira quinzena choveu entorno de 113 mm, e após esse período até o início de janeiro de 2012 choveu apenas 55 mm, ocasionando um atraso de 77 dias na semeadura do sorgo em relação ao ano agrícola anterior.

Para o período de inverno, de maio a outubro de 2011, os índices de precipitação pluviométrica foram melhores distribuídos, com uma média mensal de 171 mm, destacando negativamente os meses de maio e setembro, nos quais a quantidade de chuvas foi inferior à média (31 e 66 mm, respectivamente). Quanto às temperaturas médias durante o período de novembro a abril dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, foram de 21 e 22 °C para a mínima média mensal, e 23 °C e 24 °C para a máxima média mensal, respectivamente. Para o período de maio a outubro de 2011 a temperatura mínima

média mensal foi de 17 °C, e a máxima média mensal foi de 18 °C (Figura 1). Estes valores de temperatura estão dentro da média histórica para a região e não comprometeram os resultados analisados.

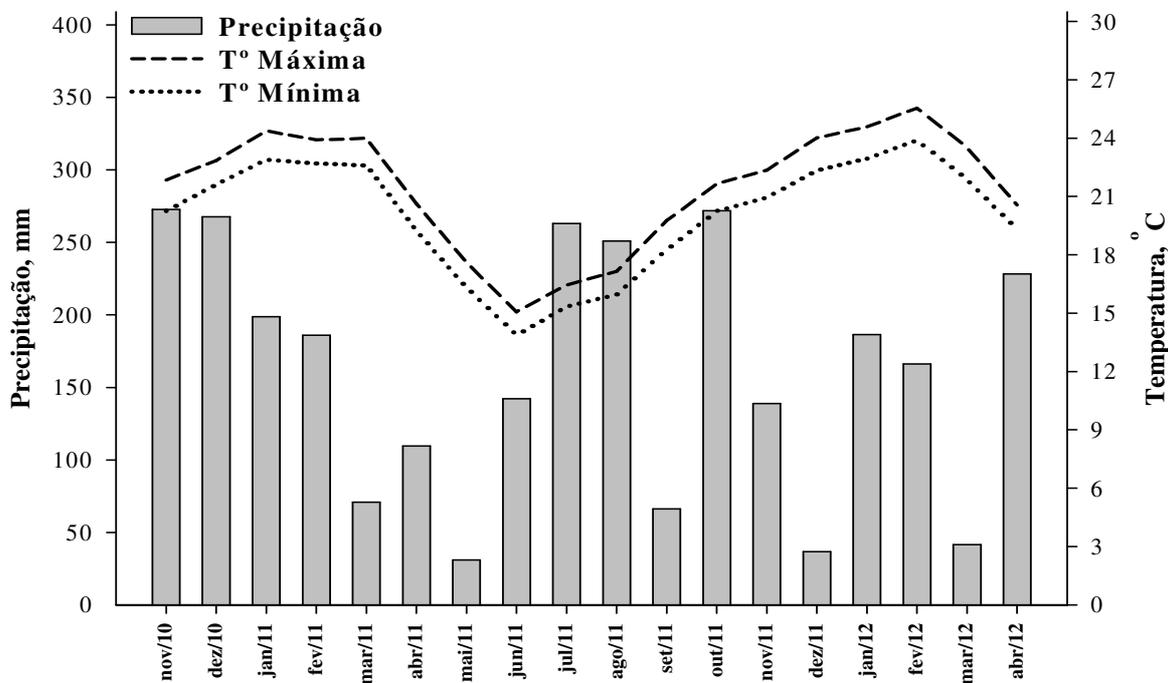


Figura 1. Índice pluviométrico, temperatura média das máximas e média das mínimas mensais no período de novembro de 2010 à abril de 2012.

As produções de massa seca da cultura do sorgo forrageiro durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 (Figuras 2A e 2B), foram influenciadas significativamente ( $p < 0,05$ ) pela adubação nitrogenada. Para o ano agrícola de 2010/2011, a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que melhor respondeu em produção de MS do sorgo, com uma produção média de 13.317 kg ha<sup>-1</sup> de MS, com comportamento quadrático (figura 2A). De acordo com a curva ajustada, a maior produção de MS seria obtida com a aplicação de 288 kg de N ha<sup>-1</sup>. Para o ano de 2011/2012 a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N também foi à que melhor respondeu a produção de massa seca para o sorgo forrageiro, atingindo uma produção média de 5.700 kg de MS ha<sup>-1</sup>, com um comportamento quadrático, semelhante ao ano anterior, reduzindo a produção média com maiores doses de N (figura 2B). De acordo com a curva ajustada, a maior produção de MS seria obtida com a aplicação de 264 kg ha<sup>-1</sup> de N. Lembrando que neste ano, em função da implantação mais tardia devido à estiagem, as produções médias foram bem inferiores ao primeiro ano de cultivo.

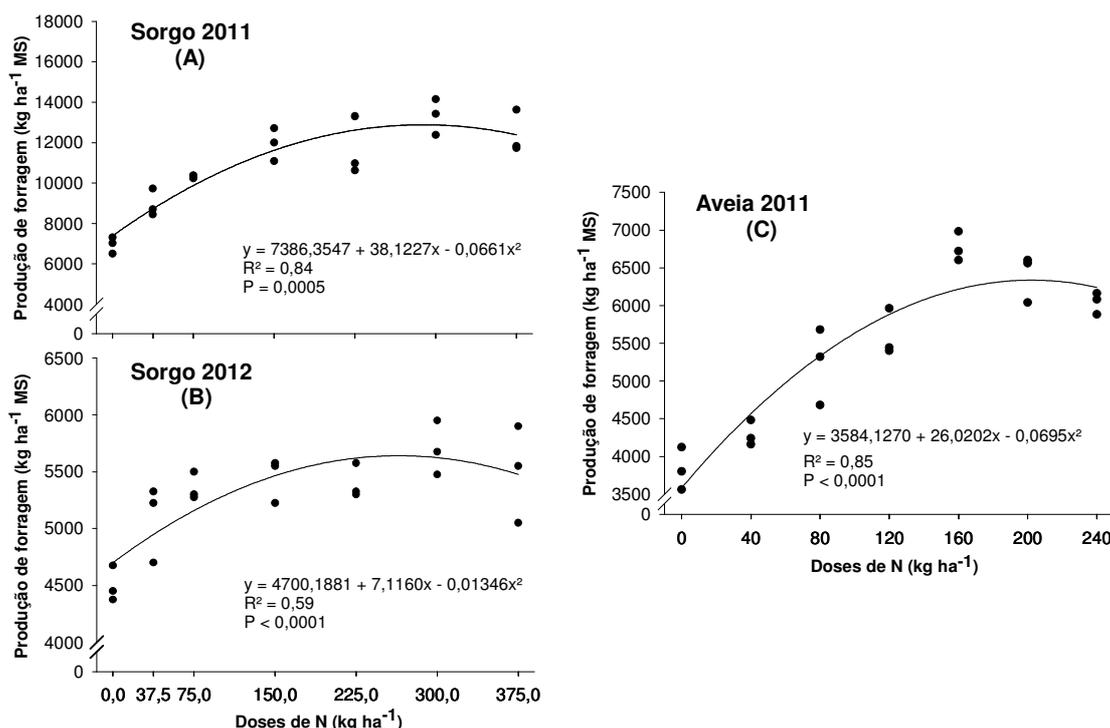


Figura 2. Produção acumulada de MS do sorgo forrageiro nos anos agrícolas 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta no ano de 2011 (C), em função da adubação nitrogenada.

Para o outono/inverno de 2011 a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi à que melhor respondeu na produção de massa seca da aveia preta, atingindo uma produção média de 6.767 kg ha<sup>-1</sup> de MS, com comportamento quadrático (Figura 2C), mas o ajuste da curva pelo modelo quadrático mostrou melhor resposta com a aplicação de 187 kg ha<sup>-1</sup> de N. Isso demonstra que doses muito elevadas de N, muitas vezes não respondem em produção. Quando for considerada a viabilidade econômica dessa adubação, essas doses recomendadas seriam menores que as comentadas aqui, em função da maior eficiência de menores doses e do custo dessa adubação.

Os teores de proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da massa seca (DIVMS) do sorgo forrageiro e da aveia preta foram afetados pela adubação nitrogenada (Figura 3). Para o sorgo forrageiro no ano agrícola de 2010/2011 (Figura 3A) o teor de PB foi crescente em função das doses até 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, atingindo teores médios de 155 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, obtendo uma resposta quadrática ( $p < 0,05$ ). No entanto, quando se calculou a máxima eficiência técnica pela curva de ajuste, a melhor resposta para os teores de PB seriam atingidas com 349 kg N ha<sup>-1</sup>.

Para o ano de 2011/2012 (Figura 3C), os teores de PB do sorgo foram semelhantes aos resultados encontrados em 2010/2011, mostrando novamente que a dose de 300 kg

ha<sup>-1</sup> de N foi à que apresentou os maiores teores de PB, 154 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, obtendo uma resposta quadrática ( $p < 0,05$ ). De acordo a curva ajustada, a melhor resposta de PB seria obtida com a aplicação de 328 kg N ha<sup>-1</sup>. Para a aveia preta em 2011 (Figura 3B), os maiores teores de PB foram obtidos com a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, com valores médios de 251 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, também com comportamento quadrático ( $p < 0,05$ ). De acordo com a curva ajustada os maiores teores de PB seriam obtidos com a aplicação de 220 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A DIVMS do sorgo forrageiro foi também afetada significativamente pelas doses de N ( $p < 0,05$ ) nos dois anos de cultivo, ambos com resposta quadrática. Para o ano agrícola de 2010/2011 os maiores teores de DIVMS foram obtidos com a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 3D), atingindo teores médios de 586 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS. Para o ano de 2011/2012, os maiores teores de DIVMS foram obtidos com a dose de 225 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 3F), atingindo teores médios de 726 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS. No entanto, quando se calculou a máxima eficiência técnica pela curva de ajuste, as melhores respostas seriam atingidas com a aplicação de 212 e 207 kg ha<sup>-1</sup> N, para os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente.

Para a aveia preta (Figura 3E), não houve efeito significativo nos teores de DIVMS em função da adubação nitrogenada, obtendo uma média geral de 786 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS.

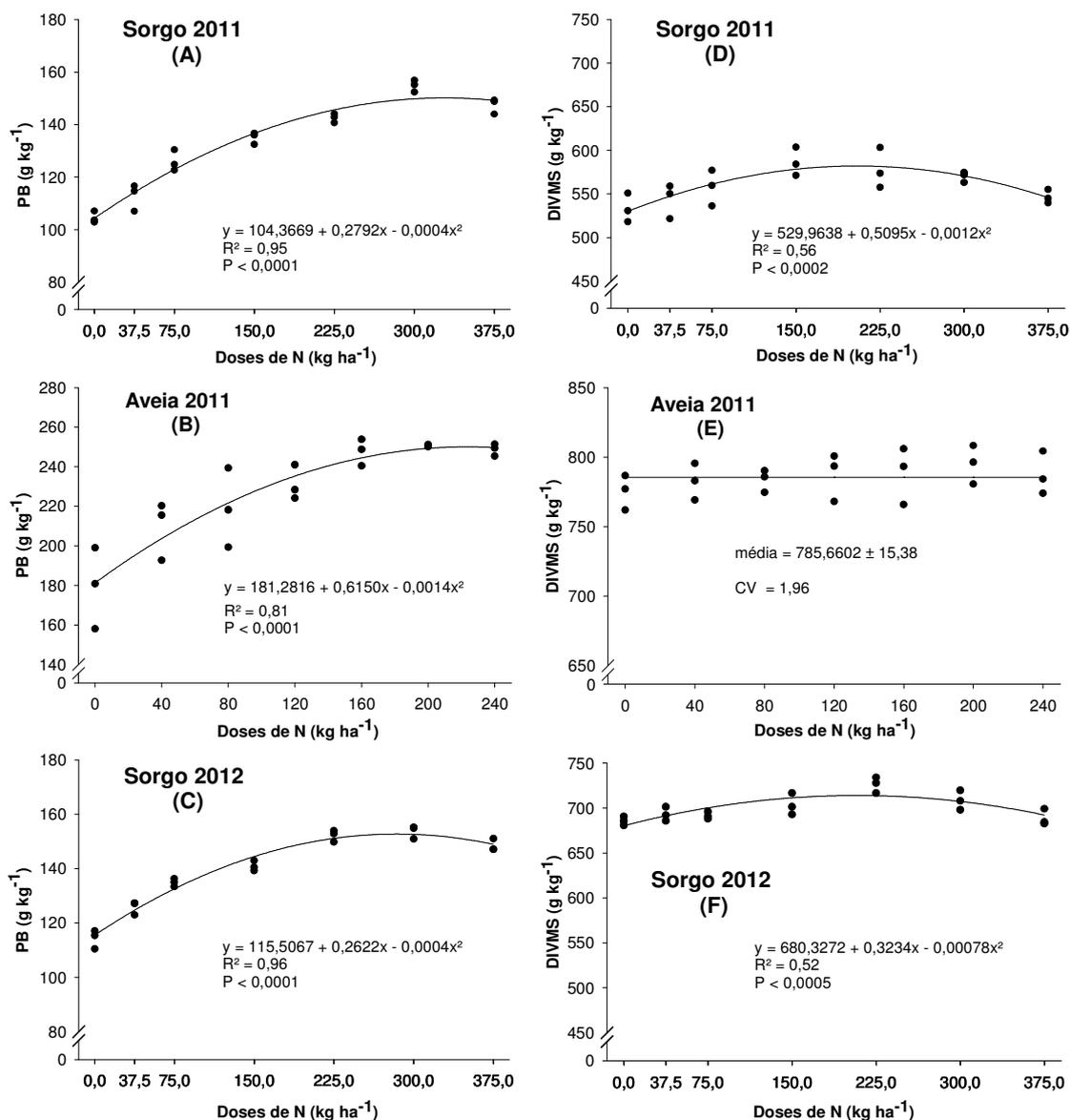


Figura 3. Teores médios de PB e DIVMS do sorgo forrageiro em 2010/2011 (A e D, respectivamente) e 2011/2012 (C e F, respectivamente), e da aveia preta em 2011 (B e E, respectivamente), em função da adubação nitrogenada.

Como se pode constatar nos dados obtidos de teores de FDN (Figuras 4A e 4C) e FDA (Figuras 4D e 4F) do sorgo forrageiro nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, não houve efeito da adubação nitrogenada, encontrando teores médios de 727 e 694 g de FDN kg<sup>-1</sup> de MS; e 381 e 356 g de FDA kg<sup>-1</sup> de MS, para os respectivos anos. O mesmo foi observado para a aveia preta, sendo os teores médios de FDN (Figura 4B) e de FDA (Figura 4E) de 515 g de FDN kg<sup>-1</sup> de MS e 265 g de FDA kg<sup>-1</sup> de MS.

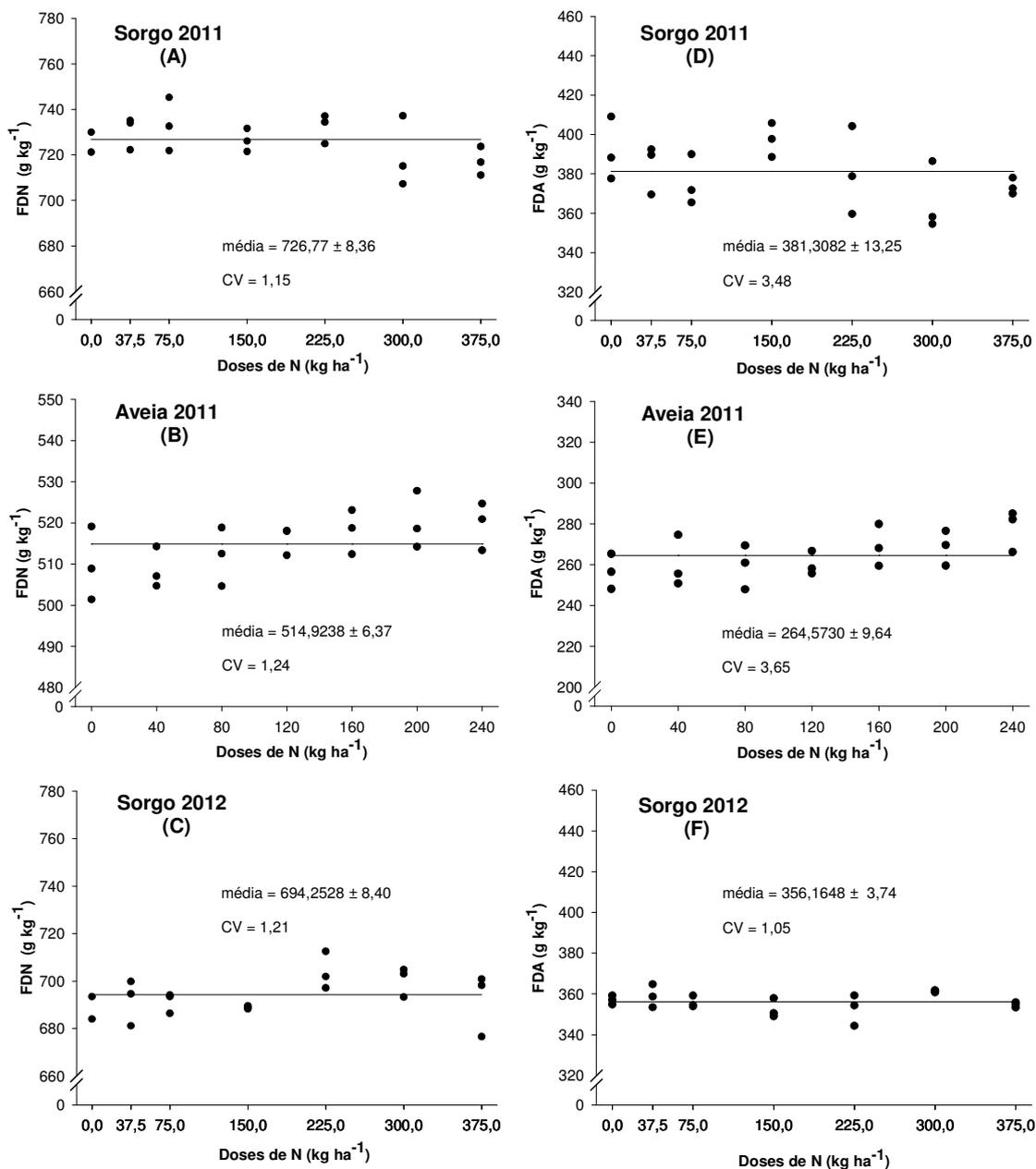


Figura 4. Teores médios de FDN e FDA (g kg<sup>-1</sup>) do sorgo forrageiro em 2010/2011 (A e D, respectivamente) e 2011/2012 (C e F, respectivamente) e da aveia preta em 2011 (B e E, respectivamente), em função da adubação nitrogenada.

## Discussão

Durante os períodos de crescimento da cultura do sorgo forrageiro, as temperaturas médias mensais variaram de 20 à 26 °C para ambos os anos agrícolas (Figura 1), mantendo dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da cultura. Segundo Ferrarise Charles-Edwards (1986), o sorgo é uma espécie C<sub>4</sub>, o qual consegue se desenvolver em temperaturas de até 13 °C, porém, Barbanti et al. (2011) complementam que o sorgo consegue melhor desempenho com temperaturas entre 20 e 30 °C.

A adaptação e produtividade do sorgo têm sido estudada em muitos países europeus sob diferentes condições ambientais, com o objetivo de confirmar o alto potencial de rendimento da cultura, em ambiente de altas temperaturas e condições de estresse hídrico (Curtetal.,1995; Cosentinoetal., 1996; Dalianis, 1996; Gossee Chartier, 1996). Consentino et al. (2012), avaliando o sorgo sacarino cv. Keller com três tratamentos de irrigação (80, 334 e 597 mm de água) e quatro níveis de adubação (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N) na região de Sicília – Itália, em temperaturas variando de 20 à 42 °C para os períodos mais quentes e 10 à 27 °C para os períodos mais frios, concluíram que o rendimento final da cultura é afetado pela quantidade de água disponível, reduzindo a produção média de 21.100 para 7.500 kg ha<sup>-1</sup> de MS para os tratamentos que receberam 334, e 80, mm de água, respectivamente, não obtendo respostas significativas para as doses de N.

Quando comparamos os índices pluviométricos mensais do presente trabalho (Figura 1) com os resultados encontrados por Consentino et al. (2012), percebe-se que em alguns meses, durante o estágio vegetativo do sorgo, a cultura foi prejudicada pela baixa precipitação, diminuindo a produção final de massa seca, principalmente no segundo ano de cultivo.

Para o desenvolvimento da aveia preta, as temperaturas médias mensais variaram de 13 à 22 °C (Figura 1). Segundo Sá (1995), a aveia consegue se desenvolver bem entre 9 e 21 °C, dependendo muito de cada cultivar, e da sua adaptação a determinadas regiões. Faria e Corsi (1995), conseguiram atingir produções de 3.000 a 5.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS de aveia preta, com cortes a cada 30 a 35 dias, considerando essas produções inferiores quando comparadas as gramíneas tropicais, mas isso ocorre devido a vários fatores, sendo como principal, baixa luminosidade no período de inverno.

Luz et al. (2008), avaliando quatro doses de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N), com e sem irrigação na aveia preta, encontraram uma produção média total de 1.447 e 3.589 kg ha<sup>-1</sup> MS, para os tratamentos sem e com irrigação, respectivamente. Com esses resultados os autores concluíram que o cultivo da aveia preta durante o período de outono/inverno requer o uso da irrigação, nas condições de solo e clima do estado de São Paulo.

De modo geral, tanto o sorgo forrageiro, o qual tem como principal característica a resistência à altas temperaturas e à baixas quantidades de chuvas, como a aveia preta, a qual produz forragem de qualidade em períodos de baixas temperaturas, necessitam de uma quantidade mínima de água para conseguir expressar todo seu potencial produtivo,

como demonstra os resultados encontrados na literatura, pois a disponibilidade de água, juntamente com os nutrientes do solo, são os principais elementos responsáveis para se obter maiores produção de forragem e com alto valor nutritivo.

A maior produção de MS do sorgo no ano agrícola de 2010/2011 (Figura 2A) em relação ao ano de 2011/2012 (Figura 2B) ocorreu devido ao atraso na semeadura em 77 dias no segundo ciclo, pela baixa precipitação nos meses de novembro e dezembro de 2011. Em função disso, não foram comparadas as produções de MS entre os anos, mas o importante é observar como foi o comportamento da curva de produção em relação às doses de N. A resposta quadrática na produção de forragem é esperada em função da limitação na produção por outros fatores. Segundo Heringer & Moojen (2002), isso ocorre porque há um certo limite em que o N disponível é aproveitado pelas plantas na quantidade necessária para expressar todo o seu potencial produtivo, e quando em excesso, provoca um desequilíbrio dos demais nutrientes na planta, consequentemente provocando diminuição na produção e/ou gastos desnecessários com adubação.

Na região Sul da Itália, Gherbin et al. (2006), avaliando a adaptabilidade de 31 espécies forrageiras (23 gramíneas, 6 leguminosas e 2 espécies controle), aplicando 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N após cada corte, exceto no último corte, durante 4 anos, encontraram uma produção média de 16.400 e 18.700 kg ha<sup>-1</sup> de MS para as culturas do sorgo forrageiro *Sorghum* ssp. Hybrid, e *Sorghum Almun*, valores relativamente superiores aos observados no presente trabalho. Com isso, os autores concluíram que o sorgo forrageiro apresenta cultivares com enorme potencial para fornecer alimento na forma de pastagem ou feno para o gado em ambientes mediterrâneos durante o período de verão.

Na Nigéria, especificamente no Estado de Ogun, Olanite et al. (2010), avaliando o sorgo forrageiro (*Sorghum almun*), com quatro doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e dois espaçamentos (0,5 x 0,5m; 1 x 1m), encontram uma maior produção de massa seca (3.500 e 3.740 kg ha<sup>-1</sup> de MS) para o espaçamento mais denso, quando aplicaram 144 e 149 kg ha<sup>-1</sup> de N, nos anos de 2006 e 2007, respectivamente. Estas produções de MS são muito baixas quando comparamos com os resultados apresentados no presente trabalho, em função disso houve aqui maior resposta ao N sob maiores doses que as mencionadas por estes autores.

No Brasil, Simili et al. (2007), trabalhando com o sorgo cv. AG 2501C, no Estado de São Paulo, sob três doses de nitrogênio (100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>), encontraram uma produção de 2.714; 2.680 e 3.010 kg ha<sup>-1</sup> de MS, respectivamente para as doses de N, não

encontrando diferença significativa em relação às doses de N utilizadas. No entanto, os autores concluem que a baixa produtividade da cultura foi provavelmente devido a baixa quantidade de chuvas, a qual foi de 60 mm mensais. Neumann et al. (2005), estudando sorgo sob pastejo contínuo, com uso de adubação organo-mineral e química, com uma aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, obtiveram produção de 11.691 e 11.913 kg ha<sup>-1</sup> de MS, respectivamente para as fontes de adubação.

Observando os dados apresentados em literatura (Neumann et al., 2005; Gherbin et al., 2006; Simili et al., 2007 e Olanite et al., 2010), percebe-se que há uma enorme amplitude quanto aos resultados de produção de massa seca do sorgo forrageiro, variando de 2.680 à 18.700 kg ha<sup>-1</sup> de MS. Essa diferença se dá devido a vários fatores, como por exemplo, os fatores climáticos (chuva, temperatura, radiação solar), o manejo adotado, e principalmente a disponibilidade dos nutrientes do solo para a plantas, influenciando diretamente na produção final da cultura.

Houve resposta quadrática da produção de massa seca da aveia preta cv. Iapar 61 em relação as doses de N (Figura 2C). Moreira et al. (2001), testando quatro níveis de adubação nitrogenada (0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N) com a cultura da aveia preta, no Norte do estado do Paraná, também encontraram resposta quadrática, atingindo uma produção máxima de 5.519 kg ha<sup>-1</sup> de MS quando sob aplicação de 168 kg ha<sup>-1</sup> de N. Canto et al. (1997), observaram uma produção total de massa seca de aveia preta de 4.545 kg ha<sup>-1</sup> com o uso de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, resultados estes inferiores aos obtidos no presente trabalho. Cecato et al. (1998), também obtiveram produção inferiores, de 4.205 kg ha<sup>-1</sup> de MS, em áreas irrigadas com a cultura da aveia preta.

Grise et al. (2002), trabalhando com o efeito de diferentes alturas de entrada (8,9; 10; 11,3; 11,9; 13,4; 13,6; 14,7; e 18,3 cm) dos animais na aveia preta consorciada com a ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.), encontraram ganho médio diário variando de 0,497 a 1,017 kg<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, nas alturas de 8,9 e 18,3 cm, respectivamente, demonstrando o alto potencial da aveia no ganho de peso dos animais.

De acordo com Ross et al. (2005), o qual trabalharam com o consórcio da aveia com trevo (0, 30, 60, 90 e 240 plantas m<sup>2</sup> de aveia) para produção de silagem em Alberta, no Canadá, sem a aplicação de N, atingiram uma produção média de massa seca de 12.900 á 13.300 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando que o consorciação da aveia com o trevo apresenta potencial para manipular o padrão de produção de forragem anual e para fornecer flexibilidade de colheita sem reduzir os rendimentos anuais, encurtando o período crítico das entressafras.

Quando comparadas as produções de massa seca da aveia nos trabalhos realizados

por Canto et al.(1997); Cecato et al.(1998) e Moreira et al. (2001), percebe-se uma menor produção, em relação à produção encontrada no presente trabalho, essa diferença pode ser explicada pelo manejo utilizado, à fertilidade do solo, e principalmente ao melhoramento genético que a cultura da aveia preta cv. Iapar 61 vem sendo selecionada. Pois quando observamos o consórcio da aveia com leguminosas, percebe-se um aumento na produção de massa de forragem, e com um excelente ganho de peso vivo dos animais.

Além da produção de MS é de fundamental importância saber a qualidade da forragem que está sendo produzida, pensando neste sentido a PB e a DIVMS são os componentes bromatológicos da planta que auxiliam para se obter essas respostas. Como pode-se perceber nas figuras 3A e 3C, houve um resposta quadrática dos teores de PB no sorgo forrageiro em função das doses de N. Marsalis et al. (2010), avaliando a produção e qualidade da matéria seca da silagem do milho cv. DKC 69-71, sorgo forrageiro convencional cv FS-5 (C-FS) e sorgo forrageiro cv. Dairy Master BMR, (BMR-FS) e duas doses de nitrogênio (218 e 291 para o milho e o C-FS e 106 e 140 kg ha<sup>-1</sup> de N, para o BMR-FS), no novo México, encontraram teores médios de 74 e 73 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS para a silagem de milho, e 71 à 74 g de PB por kg<sup>-1</sup> de MS para as cultivares de sorgo, resultados bem inferiores quando comparados com os encontrados no presente trabalho. Esta diferença pode ser explicada devido à colheita das culturas com ciclo fisiológico mais avançado, conseqüentemente sua estrutura é mais lignificada, produz uma parede de sustentação mais espessa, maior quantidade de colmo, diminuindo os teores de PB da cultura quando comparado com sorgo sob pastejo.

Teores médios de PB inferiores aos encontrados no presente trabalho, variando de 112 e 121 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS para o sorgo forrageiro *spp.* Hybrid e *S. Almann*, respectivamente, foram observados por Gherbin et al. (2006). Olanite et al. (2010), trabalhando com as mesmas cultivares de sorgo que Gherbin et al. (2006) no Estado de Ogun – Nigéria, encontraram teores variando de 66; 77; 78 e 78 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, quando sob 0; 60; 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Por outro lado, Simili et al. (2007) encontraram valores de PB próximos aos observados no presente trabalho, com teores de 151, 164 e 175 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, quando sob 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Avaliando os teores de PB do sorgo no presente trabalho e na literatura citada, pode-se concluir que os mesmos são influenciados pela adubação nitrogenada, pois quando se aplica este nutriente, se aumenta o número de perfilhos, conseqüentemente aumenta o número de folhas e a massa de forragem. No entanto, em excesso pode provocar alguns

desequilíbrios nas plantas, fazendo com que diminua a produção e a qualidade da forragem.

Os teores de PB na aveia preta também são influenciados pelo N (Figura 3B). Ross et al. (2006), encontraram teores de PB variando de 310 à 180 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, para a aveia consorciada com trevo com 35 e 88 dias, respectivamente. Moreira et al. (2001), encontraram teores de PB variado de 166, 189, 227 e 237 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS quando aplicaram as doses 0, 50, 100 e 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Cecato et al. (2001), encontram valores variando de 171 à 223 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS. Silva (2011) encontrou valores médios de 231 e 155 g de PB kg<sup>-1</sup> de MS, para o primeiro e terceiro pastejo, respectivamente. Quando esses dados da aveia preta são comparados com os do presente trabalho, percebe-se que estão muito semelhantes, e que a aveia produz forragem com teores de PB elevados, sendo que as doses de N e a idade da planta influenciam diretamente nesses teores.

A digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) do sorgo forrageiro é influenciada pela adubação nitrogenada (Figuras 3D e 3F). Tomich et al. (2006), avaliando a DIVMS do sorgo cv. BRS 800 consorciado com o sorgo sudão cv. Hybrid AG 2501C, encontraram valores médios de 639 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS. Simili et al. (2007), encontraram teores de 718, 739 e 761 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, quando aplicaram 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Restle et al. (2002), observaram valores de 675 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, para o híbrido de sorgo sudão cv. AG 2501C. Cosér & Maraschin (1981) obtiveram valores de 699 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, na primeira coleta, com redução para 484 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS na última coleta.

Essa diferença nos valores de DIVMS do sorgo forrageiro no início do ciclo vegetativo para o final do ciclo pode ser explicada pela idade da planta, o que diminui a produção de folhas e aumenta a quantidade de colmo, iniciando seu estágio de senescência, conseqüentemente a cultura fica menos digestível. Essa diferença também foi observada no presente trabalho, o qual para o ano agrícola de 2010/2011, os maiores teores foram de 586 g DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, já para o ano de 2011/2012 os maiores teores foram de 726 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, sendo que no segundo ciclo, o cultivo foi realizado mais tardiamente, conseqüentemente com menor produção total de MS. Além da idade da planta, o nitrogênio influencia diretamente os teores de DIVMS do sorgo, devido à maior quantidade de luz no período de verão, conseqüentemente maior é a taxa fotossintética, fazendo com que a cultura seja mais eficiente na resposta ao N que as culturas de inverno, como no caso da aveia preta.

Para a aveia a DIVMS não foi influenciada pelas doses de N, como apresentado na figura 3E. Grise et al. (2001), encontraram valores médios de 530 e 697 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, para a cultura da aveia com uma altura de 18,2 e 8,9 cm, respectivamente. Silva (2011) encontrou teores de 843, 825 e 794 g de DIVMS kg<sup>-1</sup> de MS, para o 1º, 2º e 3º período de coleta, respectivamente, resultados esses superiores aos encontrados no presente trabalho. Avaliando os resultados de DIVMS da aveia preta no presente trabalho com os resultados encontrados na literatura, pode-se concluir que as doses de N não influencia a DIVMS da cultura, no entanto, a idade e o tamanho da planta podem influenciar esses valores. De acordo com Mott (1973), valores elevados de DIVMS das culturas anuais de inverno são normais, devido a época do ano, o qual possui uma baixa radiação solar, quando comparados aos períodos de primavera/verão, conseqüentemente, há um crescimento mais lento dessas culturas, a estrutura dessa pastagens é mais tenra, devido às menores quantidades de FDN e FDA, melhorando a digestibilidade dessas forragens, porém, esses fatores podem diminuir com o envelhecimento da cultura.

A FDN e a FDA das pastagens são compostos basicamente por celulose, lignina, hemicelulose, cinzas e compostos nitrogenados, sendo que a celulose e a lignina são compreendidas como a porção menos digestível da parede celular das plantas e são os constituintes básicos da FDA. Esses carboidratos estruturais são os principais elementos que dão a sustentação para as plantas, e um dos principais elementos que influenciam o consumo de MS. No entanto a fibra desempenha importante função no controle do consumo voluntário e, conseqüentemente, na ingestão de nutrientes, além de estimular um ambiente ruminal favorável ao desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pela digestão de carboidratos fibrosos (Van Soest, 1994).

Os valores de FDN e FDA do sorgo forrageiro, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, não foram influenciados pelas doses de nitrogênio (Figuras 4A, 4C, 4D e 4F). Olanite et al., (2010), encontraram valores médios de 727, 723, 719 e 718 g de FDN kg<sup>-1</sup> de MS e 403, 404, 402 e 398 g de FDA kg<sup>-1</sup> de MS, quando aplicaram 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, não encontrado diferença significativa em função das doses de N aplicados, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Oliveira et al. (2010), avaliando as características agrônômicas, a extração de nutrientes e a composição bromatológica das culturas do milho, capim sudão, sorgo forrageiro e girassol, encontraram valores médios de 618 e 569 g de FDN kg<sup>-1</sup> de MS e 462 e 411 g de FDA kg<sup>-1</sup> de MS para as culturas do sorgo Sudão e do sorgo forrageiro, respectivamente.

A FDN das culturas pode variar dependendo muito do ciclo da cultura, das temperaturas noturnas e dos teores de carboidratos, no entanto, não é influenciada pelo nitrogênio, como foi observado no presente trabalho e nos dados de literatura. A FDA está relacionada com a digestibilidade da forragem, tornando-se um indicador do valor energético do material, sendo um componente estrutural da planta pouco influenciado pelas doses de N (Van Soest, 1994).

Também para a aveia preta os teores de FDN e FDA não foram influenciados pelas doses de N (Figuras 4B e 4E). Ross et al. (2004), encontraram teores de 520 g de FDN  $\text{kg}^{-1}$  de MS e 305 g de FDA  $\text{kg}^{-1}$  de MS, resultados semelhantes aos teores médios encontrados no presente trabalho. Moreira et al. (2001), encontraram teores de 469, 489, 476 e 495 g de FDN  $\text{kg}^{-1}$  de MS e 278, 285, 265 e 281 g de FDA  $\text{kg}^{-1}$  de MS, quando aplicaram 0, 50, 100 e 200  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, não havendo diferença estatística nos teores de FDN e FDA em função das doses de N, também corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

De modo geral, nas condições de desenvolvimento do presente trabalho, para a cultura do sorgo forrageiro atingir as maiores produções de MS, são recomendadas as doses entre 264 e 288  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. Para os valores nutricionais do sorgo forrageiro, as doses de 349 e 328  $\text{kg ha}^{-1}$  de N seriam as responsáveis pelos maiores teores de PB. Já para a DIVMS os maiores teores seriam obtidos com doses entre 207 e 212  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. Para os teores de FDN e FDA do sorgo, a adubação nitrogenada não apresentou efeito significativo. Para a aveia preta a dose de 187  $\text{kg ha}^{-1}$  de N seria a ideal para atingir a maior produção de MS, e para maior teor de PB a dose ideal seria de 220  $\text{kg ha}^{-1}$  de N. Já para a DIVMS, FDN e FDA a adubação nitrogenada não apresenta efeito sobre estes parâmetros de qualidade.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos (UTFPR) por disponibilizar a área experimental, bem como disponibilizar o laboratório e todos os reagentes necessários para o desenvolvimento das análises laboratoriais. Agradecem também os programas PET-Zootecnia e o programa de Iniciação Científica da UTFPR pelas bolsas concedidas aos acadêmicos do curso de Zootecnia os quais contribuíram para que o trabalho fosse concluído com êxito. Especial agradecimento ao Programa de Assistência ao Ensino (PAE) pela bolsa de mestrado concedida durante todo o período no programa PPGZO.

## Referências

- ANUÁRIO BRASILEIRO DA PECUÁRIA – ANUALPEC, (2011) São Paulo: *FNP: Consultoria & Comércio*.
- BARBANTI, L.; GRIGATTI, M.; CIAVATTA, C. (2011) Nitrogen release from a <sup>15</sup>N-labeled compost in a sorghum growth experiment. *Journal Plant Nutrition Soil Science*, 174, 240–248.
- CANTO, M. W. RESTLE, J.; QUADROS, F. L. F.; et al. (1997) Produção animal em pastagens de Aveia (*Avena strigosa* Schreb.) adubada com nitrogênio ou em mistura com ervilhaca (*Vicia sativa* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 396-402.
- CECATO, U.; SARTI, L. L.; SAKAGUTI, E. S.; et al. (1998) Avaliação de cultivares e linhagens de aveia (*Avena* spp.). *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 20, n. 3, p. 347-354.
- CECATO, U.; JOBIM, C. C.; CANTO, M. W.; et al. (2002) Pastagens para a produção de leite. In: SIMPÓSIO SOBRE SUSTENTABILIDADE NA PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO SUL DO BRASIL. 2002. Maringá. *Anais...Maringá: UEM/CCA/DZONUPEL*, 267p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). (2004) Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10<sup>ed</sup>. Porto Alegre: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul*, 400p.
- CÓSER, C. A.; MARASCHIN, E. G. (1981) Produção e qualidade da forragem de milho comum e sorgo cv. Sudão NK sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 16, n. 3, p. 397-403.
- COSENTINO, S. L.; PATANÈ, C.; GUARNACCIA, P. (1996) Biomass, leaf area index and water use efficiency of sweet sorghum in limited water availability in Mediterranean environment. In: *Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, 1–3 April, Toulouse, France, pp. 228–235.
- COSENTINO, S. L.; MANTINEO, M.; TESTA, G. (2012) Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* Moench (L.)) cv. Keller under semi-arid conditions. *Industrial Crops and Products*, 36, 329–342.
- CURT, M. D.; FERNANDEZ, J.; MARTINEZ, M. (1995) Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in relation to water regime. *Biomass Bioenerg*, 8, 401–409.
- DALIANIS, C. (1996) Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. In: *Proceedings of First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, 1–3 April, Toulouse, France, pp. 15–25.
- DIOUF, O.; BROU, Y. C.; DIOUF, M.; SARR, B.; EYLETTERS, M.; ROY-MACAULEY, H.; DELHAYE, J. P. (2004) Response of Pearl Millet to nitrogen as affected by water deficit. *Agronomy Journal*, 24, 77–84.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) FAOSTAT. Disponível em : <<http://apps.fao.org/>> Acesso em 20 agos. 2012.
- FARIA, V. P.; CORSI, M. (1995) Forragens de inverno. In PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Eds.) *Volumosos para bovinos*. 1<sup>ed</sup>. Piracicaba. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p. 227-231.
- FERRARIS, R.; CHARLES-EDWARDS, D. A. (1986) A comparative analysis of the growth of sweet and forage sorghum crops. I. Dry matter production, phenology and morphology. *Australian Journal Agriculture Research*, 37, 495–512.

- FULKERSON W. J.; SLACK, K.; BRYANT, R.; WILSON, F. (2003) Selection for more persistent perennial ryegrass (*Lolium perenne*) cultivars for subtropical/warm temperate dairy regions of Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **43**, 1083–1091.
- GARCIA S.C.; HOLMES C.W.; MACDONALD A.; LUNDMAN M.; LUNDMAN J.; PACHECO-NAVARRO R. (2000) Comparative efficiency of autumn and spring calving for pasture-based dairy systems. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, **13**, 533–537.
- GARCIA, S. C.; FULKERSON, W. J.; BROOKES, S. U. (2007) Dry matter production, nutritive value and efficiency of nutrient utilization of a complementary forage rotation compared to a grass pasture system. *Grass and Forage Science*, **63**, 284–300.
- GHERBIN, P.; DE FRANCHI, A. S.; MONTELEONE, M.; RIVELLI, A. R. (2006) Adaptability and productivity of some warm-season pasture species in a Mediterranean environment. *Grass and Forage Science*, **62**, 78–86.
- GOSSE, G.; CHARTIER, M. (1996) *Sweet Sorghum Network final synthesis report*. UE Contract AIR-CT92-0041, 105.
- GRISE, M. M.; CECATO, U.; MORAES, A.; et al. (2002) Avaliação do desempenho animal e do pasto na mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) e ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.) manejada em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**31**, n.3, p.1085-1091.
- HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. (2002) Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**31**, n.2, p.875-882.
- LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; et al. (2008) Resposta da aveia preta (*Avena strigosa* schreb) à irrigação por aspersão e adubação nitrogenada. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, v. **30**, n. 3, p. 421- 426.
- MARSALIS, M. A. ANGADI, S. V.; CONTRERAS-GOVEA, F. E. (2010) Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research*, **116**, 52–57.
- MONTEIRO, A. L. G.; MORAES, A.; CORRÊA, E. A. S.; et al. (1992) Forragicultura no Paraná. *Comissão Paranaense de Avaliação de Forrageiras*. Londrina, 292p.
- MOREIRA, F. B.; CECATO, U.; PRADO, I. N.; et al. (2001) Avaliação de aveia preta cv IAPAR 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. *Acta Scientiarum*. v. **23**, n. 4, p. 815-821.
- MOTT, G.O. (1973). Evaluating forage production. In: HEATH, M.E., METCALTE, D.S., BARNES, R.F. (Eds.). *Forages*. Ames: Iowa State University. 3<sup>ed</sup>. p.126-35.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; FILHO, D. C. A. et al. (2005) Produção de forragem e custo de produção da pastagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.), fertilizada com dois tipos de adubo, sob pastejo contínuo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.**11**, n. 2, p. 215-220.
- OLANITE, J. A.; ANELE, U. Y.; ARIGBEDE, O. M.; JOLAOSHO, A. O.; ONIFADE, O. S. (2010) Effect of plant spacing and nitrogen fertilizer levelson the growth, dry-matter yield and nutritive quality of Columbus grass (*Sorghum alnum* stapf) in southwest Nigeria. *Grass and Forage Science*, **65**, 369–375
- OLIVEIRA, L. B.; PIRES, A. J. V.; VIANA, A. E. S.; et al (2010) Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**39**, n.12, p.2604-2610.
- RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V.; NORBERG, J. L.; BRONDANI, I. L.; CERDÓTES, L.; CARRILHO, C. O. (2002) Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. **31**, n. 3, p. 1491-1500.

- RIBAS, M. N.; MACHADO, F. S. (2010) Produção de forragem utilizando híbridos de sorgo com capim Sudão (*S. bicolor* x *S. sudanense*). *Embrapa Milho e Sorgo*. Sistema de Produção, 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.
- ROSS, S. M.; KING, J. R.; O'DONOVAN, J. T.; SPANER, D. (2005) *The productivity of oats and berseem clover intercrops. II. Effects of cutting date and density of oats on annual forage yield. Grass and Forage Science*, **60**, 87–98.
- SÁ, J. P. G. (1995) *Utilização da aveia na alimentação animal. Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) – Londrina - PR. Circular N°87*.
- SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; BALBINO, E. M.; et al. (2009) Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**38**, n.4, p.650-656.
- SILVA, D. J. (1990) *Análise de alimentos: método de Weende*, 1984. Viçosa, MG: p. 165.
- SILVA, F. B. (2011) *Qualidade Nutricional da aveia preta sob corte, pastejo e feno com diferentes alturas de manejo*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011. 70p. Dissertação. (Mestre em Produção e Nutrição Animal). Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN, B. N.; et al. (2007) Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. **32**, n. 2, p. 474-480.
- SINGH, B. R.; SINGH, D. P. (1995) Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*, **42**, 57–67.
- SKONIESKI, F. R.; VIÉGAS, J.; BERMUDEZ, R. F.; et al. (2011) Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**40**, n.3, p.550-556.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. (2001) *User's guide: statistics Version 8.1*, Cary: SAS Institute, (CD-ROM).
- THOM, E. R.; GILLESPIE, R. N. (1987) The contribution of forage oats to annual feed production when grown after maize in a double cropping system. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, **15**, 419–423.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. (1963) A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, **18**, 104–111.
- TOMICH, T. R.; TOMICH, R. G. P.; GONÇALVES, L. C.; et al. (2006) Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.**58**, n.6, p.1249-1252.
- VAN SOEST, P. J. (1994) *Nutritional ecology of the ruminant*. 2<sup>ed</sup>. Ithaca: Cornell University. 476p.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, **74**, 3583–3597.
- ZEGADA-LIZARAZU, W.; IJIMA, M. (2005) Deep root water uptake ability and water use efficiency of pearl millet in comparison to other millet species. *Plant Production Science*, **8**, 454–460.

## Capítulo II: Extração dos nutrientes N, P, K e eficiência de utilização do nitrogênio pelo sorgo forrageiro e pela aveia preta, sob adubação nitrogenada

**Resumo:** O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de uso do nitrogênio e a extração de nitrogênio, fósforo e potássio do solo pelas culturas do sorgo forrageiro e da aveia preta, em função da adubação nitrogenada. O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, o qual possui um solo caracterizado como Nitossolo Vermelho Distroférico típico. As doses de N avaliadas foram: 0; 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg ha<sup>-1</sup> para a cultura do sorgo forrageiro nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e 0; 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N para a cultura da aveia preta durante o inverno de 2011. Os dados foram submetidos à análise da variância pelo programa SAS 8.1 a um nível de significância de 5%. As doses de 298; 375 e 271 kg ha<sup>-1</sup> de N, foram as que apresentaram as maiores extrações de N, P e K, respectivamente para a cultura do sorgo no ano de 2010/2011, já para o ano de 2011/2012 essas doses foram 234; 375 e 324 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Para a aveia preta as doses de 218, 240 e 198 kg ha<sup>-1</sup> de N são as que proporcionam as maiores extrações de N, P e K, respectivamente. As menores doses de N são as mais eficientes para ambas as culturas, apresentando os maiores valores de recuperação, eficiência de recuperação e eficiência fisiológica do nitrogênio.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, forrageiras anuais, macronutrientes

**Abstract:** The aim of this study was to evaluate the efficiency of nitrogen use and extraction of nitrogen, phosphorus and potassium from the soil by crops of sorghum and oats, in response to the nitrogen. The study was conducted in the experimental area of the Universidade Tecnológica Federal of Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos, the soil of the region is characterized as a Rhodic Hapludox. The N rates evaluated were: 0, 37.5; 75; 150; 225; 300 and 375 kg ha<sup>-1</sup> for sorghum forage in crop years 2010/2011 and 2011/2012 and 0; 40; 80; 120; 160; 200 and 240 kg N ha<sup>-1</sup> to the culture of oats during the winter of 2011. The data were subjected to analysis of variance using SAS 8.1 at a significance level of 5%. Doses of 298, 375 and 271 kg N ha<sup>-1</sup> were those that showed the highest extraction of N, P and K, respectively for sorghum in 2010/2011, however for the year 2011/2012 these doses were 234, 375 and 324 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively. For oats the doses of 218, 240 and 198 kg ha<sup>-1</sup> of the N sound that provides the largest extraction of N, P and K, respectively. The lowest N are the most efficient for both crops, with higher rates of recovery, recovery efficiency and physiological efficiency of nitrogen.

**Keywords:** soil fertility, annual forages, macronutrients

### Introdução

Produzir alimento de qualidade e em quantidade aos animais de forma sustentável é uma preocupação de pesquisadores e produtores agropecuaristas. Diante disso, uma das melhores alternativas para se manter no sistema produtivo é ser eficiente, com melhorias no manejo do solo e planta, na escolha de espécies forrageiras selecionadas para uma maior produção e qualidade da forragem para a região, mantendo o solo nos parâmetros

ideais de fertilidade, além de buscar a máxima eficiência no uso dos fertilizantes (Primavesi et al., 2004; Silva et al., 2013). Pois, sabe-se que a correção inicial do solo no momento da implantação das pastagens é o elemento de maior custo, e caso não seja feita, acarreta em ineficiência dos fertilizantes e baixa produção, inviabilizando o sistema produtivo.

A grande maioria dos pecuaristas imagina que os sistemas de produção a pasto são praticamente autossustentáveis, exigindo baixas quantidades de adubação para reposição das perdas exportadas na produção animal (Martha Jr et al., 2004). A continuidade da produtividade nesses sistemas parece ter condições de manter-se em equilíbrio por um longo período, sem a necessidade de se aplicar fertilizantes, porém isto não é verdade. Oenema et al. (2003), corroborando com Martha Jr et al. (2004), explicam que em um sistema de produção, quando os nutrientes são retirados em maior quantidade em relação aos que estão sendo aplicados o sistema fica desequilibrado, exaurindo lentamente as reservas do solo, e ao passar dos anos esse solo se torna uma área degradada, imprópria para o cultivo.

Por outro lado, para evitar um custo desnecessário com a aplicação em demasia de fertilizantes, principalmente nitrogenados, altamente suscetíveis à perdas, é de extrema importância ter o conhecimento do conteúdo de nutrientes nas plantas, principalmente na parte colhida, pois é através dessa informação que pode-se avaliar a remoção desses nutrientes da área cultivada, tornando-se um dos componentes necessários para as recomendações econômicas de adubação (Thélier-Huché et al., 1999).

Em condições satisfatórias de clima e precipitação, a fertilidade é o fator determinante na produção e qualidade de forragem. Lemaire et al. (1989), afirma que após a disponibilidade hídrica, o nitrogênio é o fator mais limitante para produção de biomassa em um ecossistema natural. Contudo a demanda por esse nutriente às plantas não é suprida somente pelo solo, sendo necessária a adição através de fertilizantes minerais.

Para que o sistema de produção de forragem seja eficiente, não basta apenas disponibilizar todos os nutrientes necessários às plantas, através de adubação, irrigação e manejo diferenciado, é preciso também escolher forragens de alto potencial produtivo, que consigam responder eficientemente a esses manejos (Alves Filho et al., 2003). Dentre as inúmeras espécies forrageiras de alto potencial produtivo no período de verão em países de clima tropical, podemos destacar o sorgo forrageiro, o qual é uma cultura C<sub>4</sub> caracterizada pelo alto potencial de produção de biomassa de excelente qualidade, resistente a baixos índices pluviométricos e altas temperaturas (Tsuchihashi & Goto,

2004; Rajagopal, 2008; Wortmann et al., 2010), destacando-se em alguns países pela alta produção de açúcar (Amaducci et al., 2004; Antonopoulou et al., 2008; Gnansounou et al., 2005; Zhao et al., 2009), etanol (Buxton et al., 1999; Liu et al., 2008; Almodares e Hadi, 2009; Yu et al., 2008; Liu e Lin, 2009), biodiesel (Gao et al., 2010), além de ser uma excelente cultura de cobertura (Han et al., 2011; Mateus et al., 2011).

Em conformidade com a demanda de alimentos para ruminantes, em países ou regiões de clima subtropical onde as temperaturas e a luminosidade diminuem em determinada época do ano, existe a necessidade de rotacionar as espécies estivais com espécies hibernais, exigindo assim um adequado planejamento forrageiro. De acordo com Nakagawa et al. (2000), a aveia preta é uma forrageira de clima temperado e subtropical, com bom perfilhamento, e consegue se desenvolver bem em ambientes de baixas temperaturas e luminosidade, podendo ser uma boa alternativa para rotacionar com o sorgo. Esta cultura tem capacidade de produzir forragem de alta qualidade, com elevados teores de PB (acima de 18%), e baixos teores de fibra, tornando-se uma excelente alternativa para alimentação do rebanho bovino. Produz cerca de 4 a 8 toneladas de matéria seca  $ha^{-1} ano^{-1}$ , podendo ser utilizada também como uma cultura de cobertura após a cultura de verão.

O balanço entre a extração de nutrientes pelas culturas e a quantidade aplicada é uma ferramenta para avaliar se o sistema produtivo está equilibrado, e isso também pode ser avaliado pela eficiência de utilização dos nutrientes. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência fisiológica, de uso, e a recuperação do N pelas culturas, bem como a extração dos nutrientes N, P e K do solo pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo cultivado no verão e pela aveia preta cv. IAPAR 61 no inverno, em função da adubação nitrogenada.

## **Material e métodos**

### **Local do Experimento**

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Dois Vizinhos. A área está localizada na altitude de 520 m, latitude de 25°44 Sul e longitude de 54°04 Oeste. Esta região apresenta um clima subtropical úmido mesotérmico (Cfa) sem estação seca definida, com

temperaturas médias de 22 °C no verão e 17 °C no inverno, com índice pluviométrico médio de 2.100 mm por ano.

Os dados de precipitação pluviométrica foram coletados junto à estação meteorológica do INMET-SONABRA, disponível na própria área experimental. Com esses dados foram calculados o balanço hídrico climatológico, a cada 10 dias, seguindo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), adaptado por Pereira, (2005) como demonstra a figura 1.

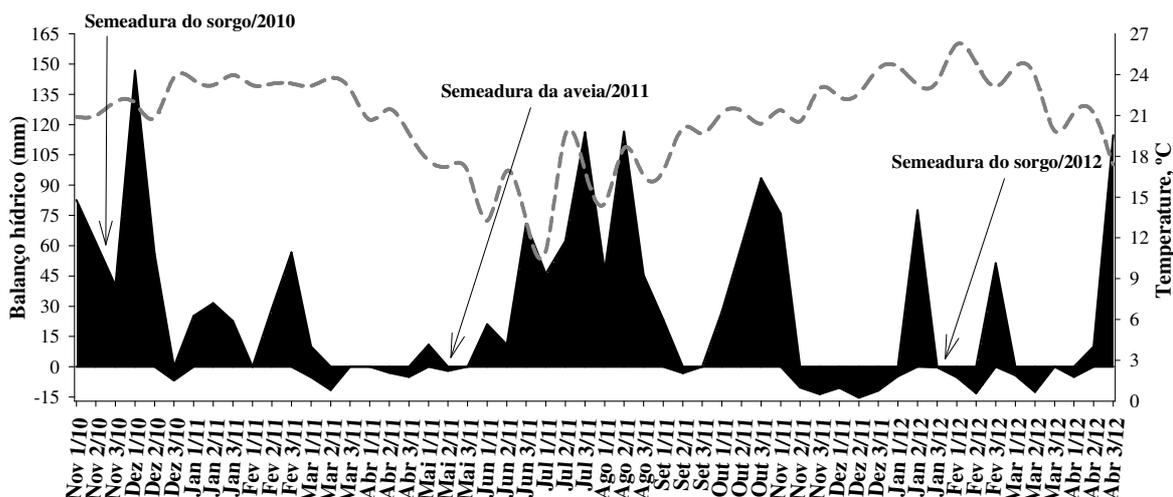


Figura 1. Balanço hídrico climatológico da área experimental durante o período experimental, de novembro de 2010 à abril de 2012.

O solo da região é caracterizado como Nitossolo Vermelho Distroférrico (Ribas, 2010). As características químicas do solo da área experimental antecedente à semeadura no primeiro cultivo forrageiro estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo anteriormente ao cultivo do sorgo forrageiro no ano de 2010. Dois Vizinhos, PR.

Prof	pH	MO	P-Mehlich	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V
(cm)	CaCl <sub>2</sub>	%	mg dm <sup>-3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
0-10	4,90	3,48	8,62	0,30	5,13	2,34	0,06	5,35	7,77	13,12	59,2
10-20	4,50	3,22	4,20	0,15	3,59	1,69	0,28	5,76	5,43	11,19	48,5

### Culturas utilizadas

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas culturas anuais de ciclo estival e hibernal. Para o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, foi utilizada a cultura do sorgo forrageiro cv. Jumbo (híbrido entre *Sorghum bicolor* e

*Sorghum sudanensis*) e para o cultivo de inverno, ano de 2011, foi utilizada a aveia preta cv. Iapar 61.

O primeiro ciclo de cultivo do sorgo forrageiro (2010/2011) foi conduzido durante os meses de novembro de 2010 à abril de 2011, com a semeadura no dia 15/11/2010. Para o segundo ano de cultivo do sorgo (2011/2012), o trabalho foi conduzido na mesma área experimental durante os meses de janeiro a abril de 2012, com a semeadura no dia 31/01/2012. Esse atraso na semeadura no segundo cultivo foi em função de um período de ausência de chuvas, que não permitiu a implantação da cultura mais cedo como demonstra o balanço hídrico de novembro e dezembro de 2011 (Figura 1). O ciclo de inverno foi conduzido na mesma área experimental durante o período de maio a outubro de 2011, com a semeadura da aveia preta no dia 12/05/2011.

### **Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados, com três repetições. O tamanho das parcelas experimentais foi de 5 x 5 m, totalizando 25 m<sup>2</sup>. Para os dois ciclos de verão o espaçamento entre as fileiras do sorgo forrageiro foi de 40 cm, com uma densidade de 15 kg ha<sup>-1</sup> de semente viáveis, sendo testadas as doses de 0; 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados em cobertura, sendo essas doses distribuídas em três aplicações iguais, 1/3 na semeadura, 1/3 após o primeiro corte e 1/3 após o terceiro corte. As datas de aplicação para o ano 2010/2011 foram na semeadura (15/11/2010), após o primeiro corte (29/12/2010) e após o terceiro corte (02/03/2011). Para o segundo ano (2011/2012) foram na semeadura (31/01/2012), após o primeiro corte (02/03/2012) e após o terceiro corte (30/03/2012).

Para a aveia preta no inverno de 2011, o espaçamento entre as fileiras foi de 20 cm, com uma densidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de semente viáveis, testando as doses de 0; 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo essas doses também distribuídas em três aplicações, 1/3 no perfilhamento (16/06/2011), 1/3 após o primeiro corte (09/07/2011) e 1/3 após o terceiro corte (13/08/2011).

### **Determinação da produção de forragem**

A coleta do material forrageiro do sorgo foi realizada com o corte manual das culturas de 0,50 m em duas linhas de cultivo por parcela, equivalente a 0,40 m<sup>2</sup>, quando a cultura atingia uma altura média entre 0,70 a 0,80 m, o restante do material das parcelas

foi cortado e retirado manualmente, deixando um resíduo médio de planta de 0,20 m de altura para rebrote e nova coleta.

A coleta do material vegetal da aveia preta durante o período de inverno ocorreu sempre que a cultura atingia um tamanho ideal para pastejo de 25 á 30 cm de altura. A coleta foi realizada através de corte manual a 10 cm do solo de uma área de 0,50 x 0,50 m, totalizando 0,25 m<sup>2</sup> por unidade experimental, o restante da área da parcela era manejado com uma roçadeira mecânica, na mesma altura da amostra coletada.

A massa de forragem foi coletada, pesada e a partir disso, calculado a produção de massa verde em kg ha<sup>-1</sup>. Essa mesma amostra foi utilizada para determinação do teor de nutrientes acumulados após a secagem em estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 60 °C até peso constante, com posterior moagem a 1mm.

### **Determinação dos macronutrientes**

A concentração dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na forragem coletada do sorgo e da aveia, foram determinados conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Após a digestão sulfúrica, o nitrogênio foi mensurado pelo método analítico semi-micro Kjeldahl, o fósforo foi determinado pelo método analítico da colorimetria e para o potássio utilizou-se a fotometria de chama.

Após ter a concentração dos macronutrientes N, P e K da parte aérea das culturas, foi multiplicado os teores dos macronutrientes pela produção de massa seca, o qual se encontrou a quantidade acumulada de nutrientes extraídos pelas culturas.

### **Eficiência de utilização do nitrogênio na produção de forragem**

Através das equações sugeridas por Fageria (1998), pode-se calcular a recuperação do nitrogênio (RN), a eficiência fisiologia (EF), e a eficiência de uso do N (RAN).

Sendo que a recuperação do nitrogênio foi calculada conforme a seguinte fórmula:

$$RN = \frac{(NCT - NST)}{DN} \times 100$$

Onde:

**RN (%)** corresponde a recuperação do nitrogênio;

**NCT** corresponde ao nitrogênio total absorvido com aplicação de N (kg ha<sup>-1</sup>);

**NST** o nitrogênio total absorvido sem aplicação de N (kg ha<sup>-1</sup>);

**DN** a dose de nitrogênio usada (kg ha<sup>-1</sup>).

A eficiência fisiológica (EF) é a produção biológica obtida (massa seca) por unidade de nutriente acumulado, sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$EF = \frac{Y_f - Y_0}{N_{abf} - N_{abo}} (kg \cdot kg^{-1})$$

Onde:

$Y_f$  é a produção total de matéria seca, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ , com adubação;

$Y_0$  é a produção total de matéria seca, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ , sem adubação;

$N_{abf}$  é o acúmulo de nutriente com adubação, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ ;

$N_{abo}$  é o acúmulo de nutriente sem adubação, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ .

A eficiência de recuperação do nitrogênio aplicado (RAN): é a quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, foi calculada através da fórmula:

$$RAN = \frac{QN_f - N_0}{Q_f} (kg \cdot kg^{-1})$$

Onde:

$QN_f$  é a acumulação de nutriente, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ , com adubação;

$N_0$  é a acumulação de nutriente, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ , sem adubação;

$Q_f$  é a quantidade do nutriente aplicado, em  $kg \text{ ha}^{-1}$ .

### Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo programa SAS 8.1 (SAS Institute, 2001) a 5% de significância, de acordo com o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

$Y_{ij}$ : é a variável resposta na  $j$ -ésima;

$\mu$ : é a média geral;

$t_i$ : é o efeito **fixo** do  $i$ -ésimo tratamento;

$b_j$ : é o efeito **fixo** do  $j$ -ésimo bloco;

$\varepsilon_{ij}$  é o erro aleatório. Assume-se que  $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

Quando significativo os fatores de efeito quantitativo foram submetidos a testes de regressões polinomiais considerando o maior grau significativo.

## Resultados

As produções de massa verde (MV) da cultura do sorgo forrageiro durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 (Figuras 2A e 2B), foram influenciadas significativamente ( $p < 0,05$ ) pela adubação nitrogenada. Para o primeiro ano avaliado a dose de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N foi a que melhor respondeu, com uma produção média de  $73.865 \text{ kg ha}^{-1}$  de MV, com comportamento quadrático (Figura 2A). De acordo com a curva ajustada, a maior produção seria obtida com a aplicação de  $288 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Para o segundo ano a dose de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de N também foi a melhor, atingindo uma produção média de  $32.911 \text{ kg ha}^{-1}$  de MV, com um comportamento semelhante ao ano anterior, (Figura 2B). A diferença de  $40.954 \text{ kg ha}^{-1}$  de MV entre os dois anos de cultivo do sorgo pode ser explicada pela falta de chuvas nos meses de novembro e dezembro de 2011, como demonstra a figura 1, fazendo com que a semeadura do sorgo neste ano atrasasse em 77 dias. Os teores médios de MS (%) da forragem produzida pela cultura do sorgo forrageiro não foram influenciados pelas doses de N para os dois anos de cultivo (Figura 2A e 2B), atingindo valores médios de 17,43 e 17,09 % para os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente.

Para o outono/inverno de 2011 a dose de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, foi à que melhor respondeu na produção de MV da aveia preta, atingindo uma produção média de  $33.914 \text{ kg ha}^{-1}$ , com comportamento quadrático (Figura 2C). De acordo com a curva ajustada, a maior produção seria obtida com a aplicação de  $190 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Isso demonstra que doses muito elevadas de N, muitas vezes não respondem em produção. Possivelmente essas doses a serem recomendadas seriam ainda menores que a produção máxima obtida aqui, em função da viabilidade econômica considerada na recomendação. Quanto ao teor médio de MS (%) da forragem produzida pela aveia preta, a análise de variância indicou que não houve efeito significativo das doses de N (Figura 2C).

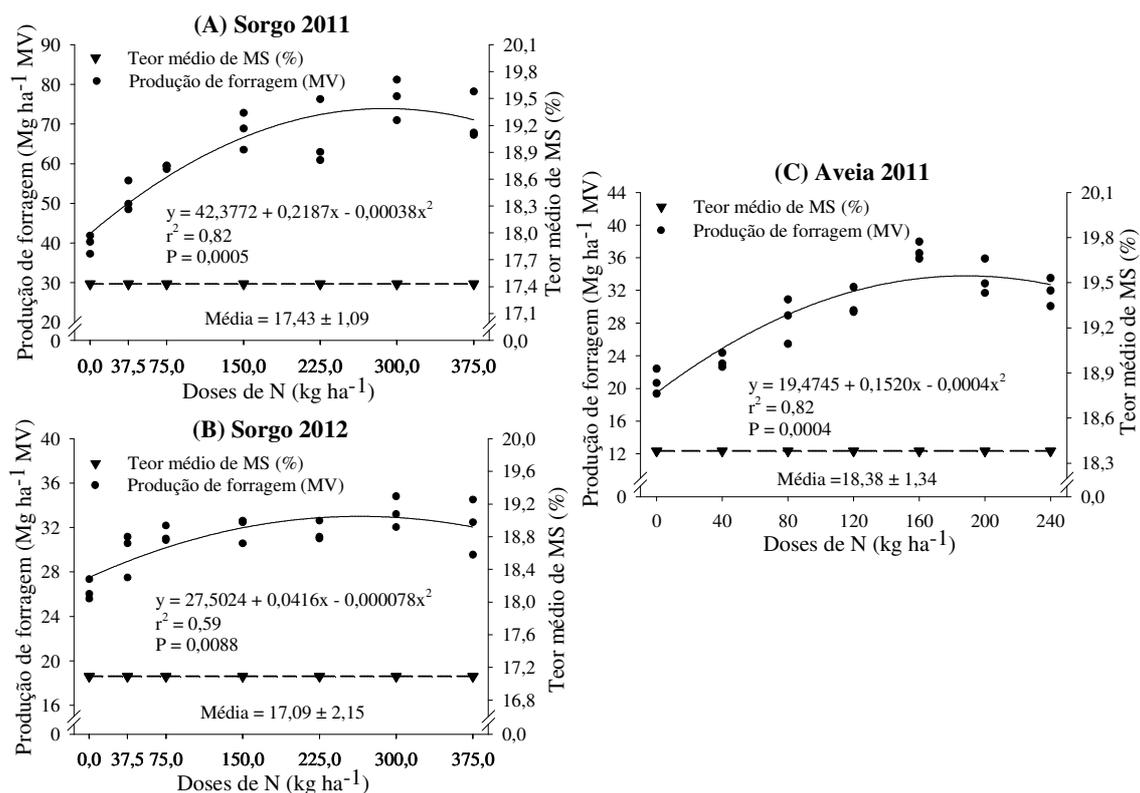


Figura 2. Produção acumulada de massa verde ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e teor médio de massa seca (%) do sorgo forrageiro nos anos agrícolas 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta no ano de 2011 (C), em função da adubação nitrogenada.

Houve efeito significativo das doses de N, sob a extração de N pelo sorgo, para os dois anos de cultivo (Figura 3A e 3B), com uma resposta quadrática, ou seja, para o ano agrícola de 2010/2011, a maior extração de N seria atingida com a aplicação de  $298 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, segundo a fórmula da máxima eficiência técnica. Já para o ano agrícola de 2011/2012, o sorgo forrageiro conseguiu extrair a maior quantidade de N sob aplicação de  $234 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Observando as extrações totais de N pelo sorgo forrageiro nos dois anos de cultivo, percebe-se que no ano agrícola 2010/2011 o mesmo extraiu, em média,  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N a mais em relação ao ano agrícola 2011/2012, essa diferença pode ser explicada pela baixa precipitação e atraso na semeadura no segundo ciclo de cultivo, como já mencionado.

Para a aveia preta os resultados da extração de N também ajustaram-se a uma equação quadrática (Figura 3C) em função das doses de N, sendo que a maior extração foi atingida quando aplicou-se  $218 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

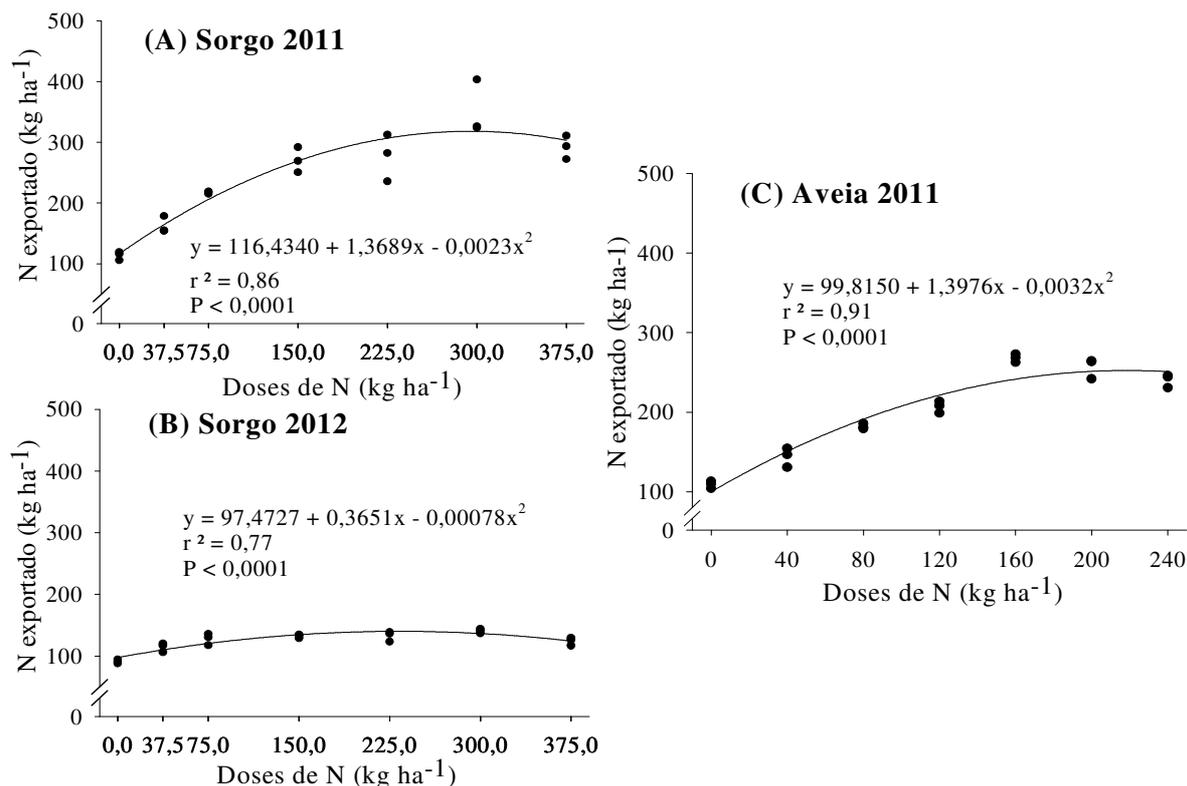


Figura 3. Extração acumulada de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno do ano de 2011 (C) em função das doses de N.

A recuperação do N pelo sorgo forrageiro e pela aveia preta em função das doses de N, indicou um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da variável independente sob a variável resposta para os três ciclos de produção (Figura 4). Sendo que para o sorgo forrageiro de 2010/2011 (Figura 4A) a análise de variância indicou uma resposta linear das doses de N sob a recuperação do N, ou seja, quando se aumenta as doses de N aplicadas no solo, se reduz a quantidade de N recuperado. O mesmo comportamento foi observado para a aveia preta no inverno de 2011 (Figura 4C).

Para o sorgo forrageiro de 2011/2012 (Figura 4B) a análise de variância indicou uma resposta quadrática da variável independente sob a variável resposta. Quando comparamos a eficiência de recuperação do N nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, percebe-se que no primeiro ano os índices de recuperação foram mais elevados que no segundo, essa diferença pode ser explicada pela baixa quantidade de chuvas no segundo ano de cultivo do sorgo forrageiro, conforme já comentado anteriormente para a exportação de N.

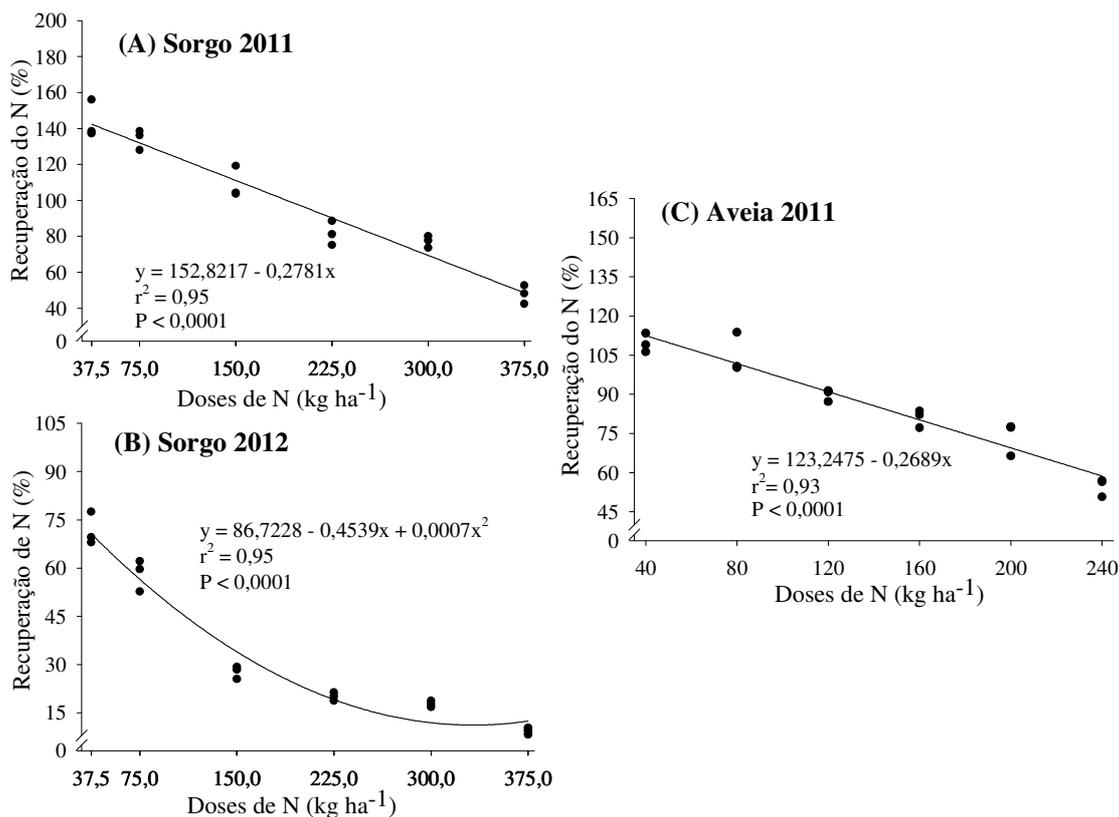


Figura 4. Recuperação do N (%) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e da aveia preta cv. Iapar 61 durante no outono/inverno do ano de 2011 (C) em função das doses de N.

A eficiência fisiológica do N significa a quantidade de MS produzida por kg de N absorvido pela cultura. Como se pode observar na figura 5, a eficiência fisiológica do N pelo sorgo forrageiro e da aveia preta são influenciadas significativamente pelas doses de N. Para o sorgo forrageiro em 2010/2011 (Figura 5A) e 2011/2012 (Figura 5B) a análise de variância ( $p < 0,05$ ), indicou que houve um efeito quadrático, com valores médios variando de 40; 34; 32; 29; 28 e 27 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvidos pelo sorgo no ano agrícola de 2010/2011, e de 28; 20; 18; 17; 14 e 12 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvidos no ano agrícola de 2011/2012, quando aplicadas as doses de 37,5; 75; 150; 225; 300 e 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. As menores doses de N, de 37,5 e 75 kg ha<sup>-1</sup>, são as mais eficientes fisiologicamente nesta cultura. Para a aveia preta (Figura 5C), também houve efeito quadrático do N aplicado sobre a eficiência fisiológica de N absorvido, atingindo valores médios de 22; 19; 18; 17; 17 e 16 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, quando sob doses de 40; 80; 120; 160; 200 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

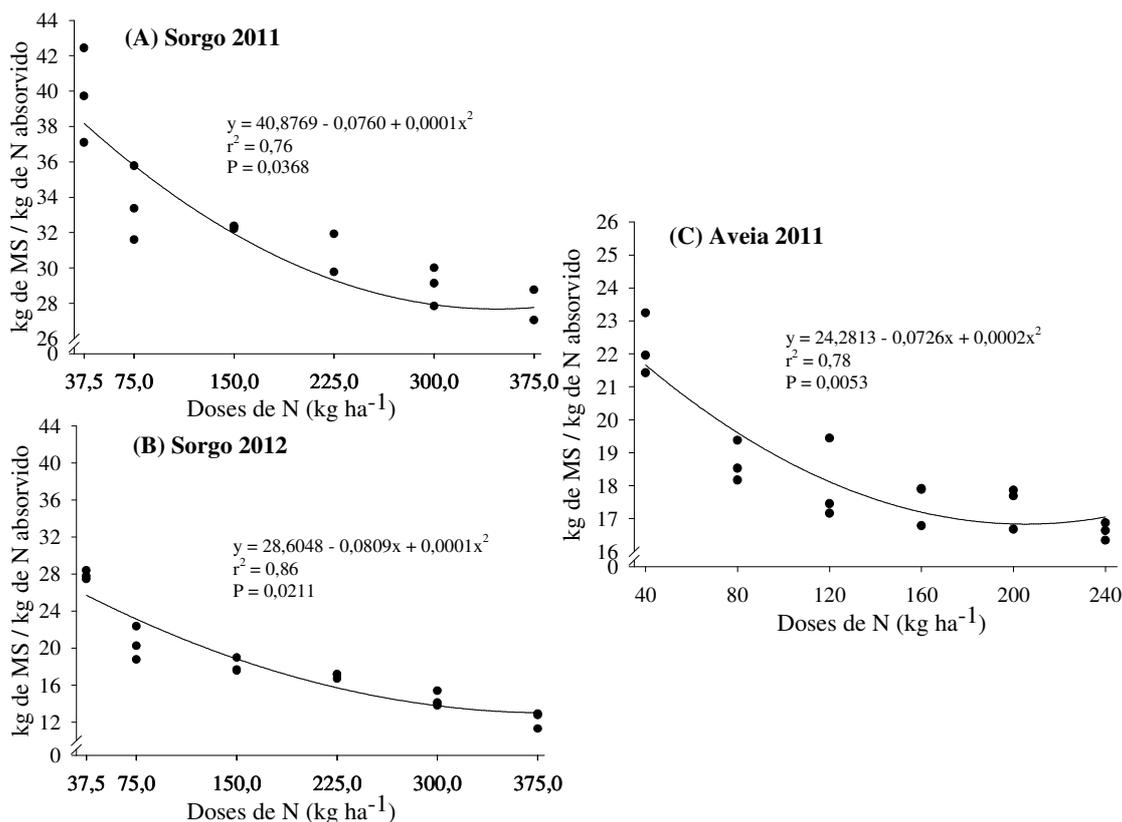


Figura 5. Eficiência fisiológica do N (kg MS por kg<sup>-1</sup>de N absorvido) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno do ano de 2011 (C), em função das doses de N.

A eficiência de utilização dos nutrientes é um diagnóstico essencial em trabalhos com doses de N, para verificação das perdas deste nutriente. Como pode-se observar na figura 6, as eficiências de recuperação do N pelo sorgo forrageiro nos anos agrícolas 2010/2011 (6A) e 2011/2012 (6B), e pela aveia preta em 2011 (6C) foram influenciadas significativamente pelas doses de N. O sorgo forrageiro indicou um efeito quadrático das doses de N sob a eficiência de recuperação, já para a aveia preta houve uma resposta linear, com valores médios variando de 24 até 9 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N sob aplicação de 40 até 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

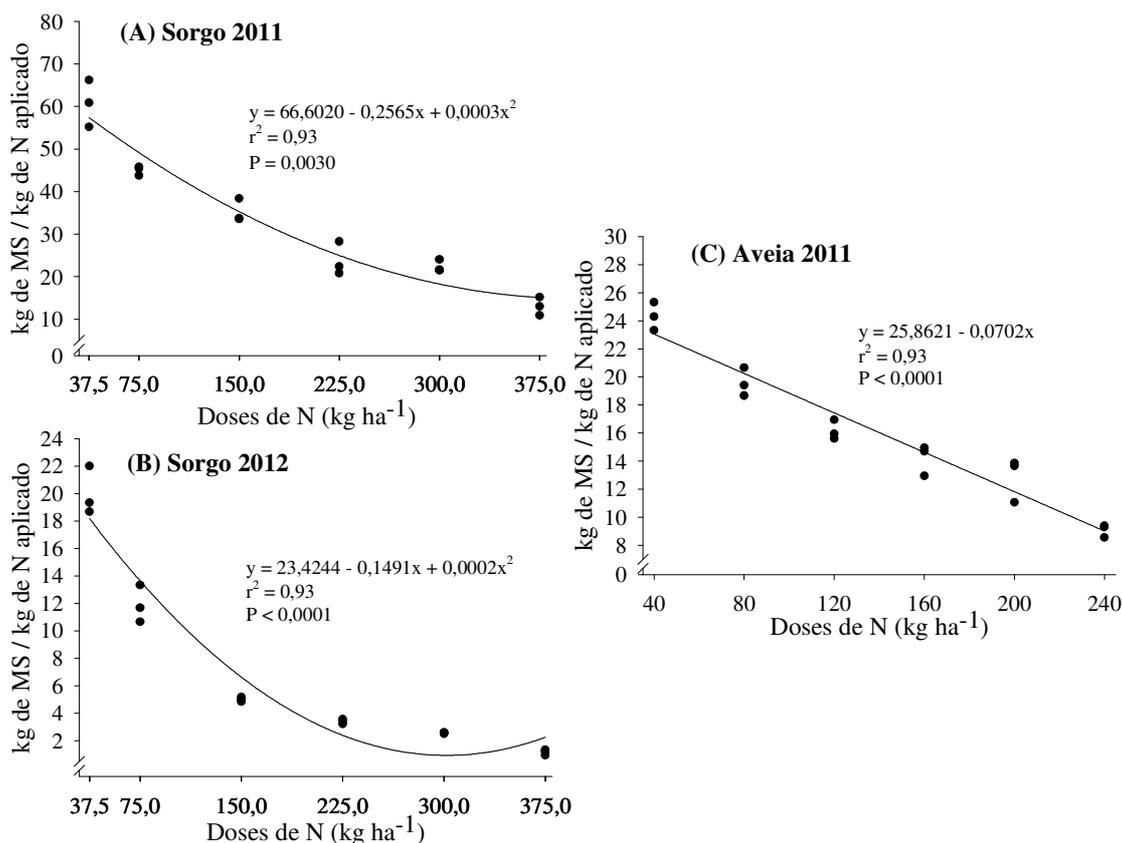


Figura 6. Eficiência de recuperação do N (kg MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011 (C), em função das doses de N.

A extração acumulada de P pelas culturas também é uma forma de mensurar o efeito da adubação nitrogenada sobre o balanço nutricional das plantas. Como pode-se observar na figura 7, o P extraído pelo sorgo forrageiro foi influenciado diretamente pelas doses de N. Para o ano agrícola de 2010/2011 (Figura 7A) houve resposta quadrática da variável independente sob a variável resposta, atingindo a maior extração de P (46 kg ha<sup>-1</sup>) quando aplicada a dose de 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, já para o ano agrícola de 2011/2012 (Figura 7B) essa resposta foi linear, obtendo a maior exportação de P (24 kg ha<sup>-1</sup>) também com a maior dose de N, 375 kg ha<sup>-1</sup>. Comportamento linear também foi observado para a aveia preta, com uma extração de P acumulada de 23 até 32 kg ha<sup>-1</sup> quando sob as doses de 0 até 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente (Figura 7C).

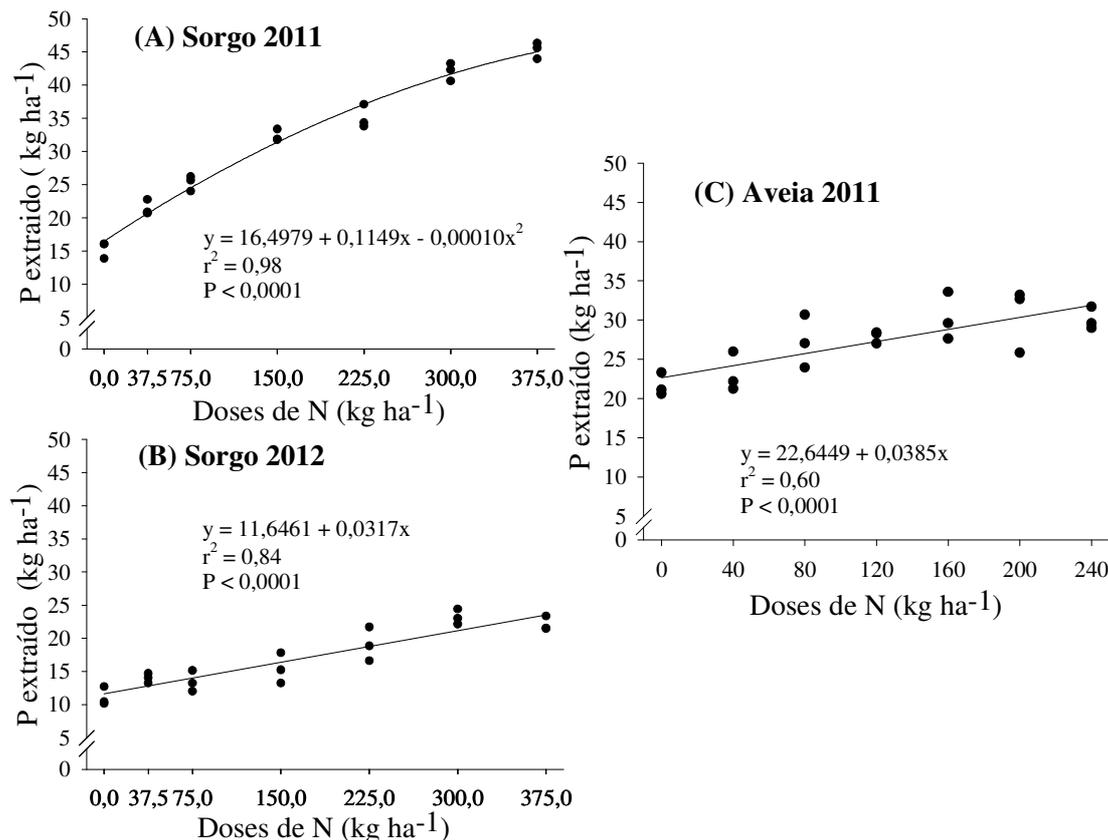


Figura 7. Extração acumulada de fósforo (kg ha<sup>-1</sup>) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo no verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011 (C), em função das doses de N.

As extrações do potássio pelas pastagens anuais de verão e de inverno também são influenciadas pelas doses de N. Para o sorgo forrageiro do ano agrícola de 2010/2011 (Figura 8A) houve resposta quadrática, atingindo a máxima extração de K (180 kg ha<sup>-1</sup>), quando sob 271 kg ha<sup>-1</sup> de N, segundo a fórmula da máxima eficiência técnica, diminuindo gradativamente a extração com a aplicação de maiores doses de N. Para o ano agrícola 2011/2012 houve o mesmo comportamento, mas com a máxima extração de K do solo (83 kg ha<sup>-1</sup>) sob a dose de 324 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 8B). A diferença de 97 kg ha<sup>-1</sup> de K extraídos pelo sorgo forrageiro entre os anos é devido a menor produção de forragem, em função da baixa precipitação e atraso na semeadura, como já comentado anteriormente.

Para a aveia preta, a extração de K também foi influenciada pelas doses de N, como demonstra a figura 8C, com uma resposta quadrática, com a maior extração (79 kg ha<sup>-1</sup> de K) sendo atingida sob a dose de 198 kg ha<sup>-1</sup> de N.

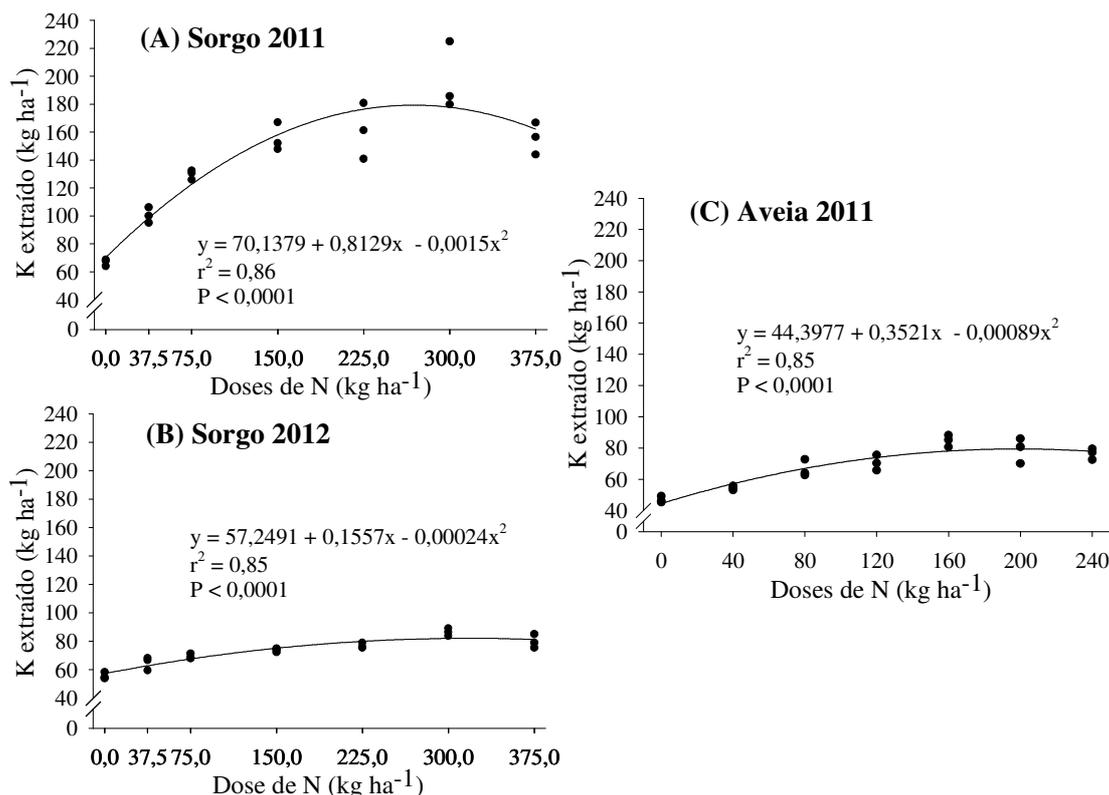


Figura 8. Extração acumulada de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo durante o verão dos anos agrícolas de 2010/2011 (A) e 2011/2012 (B) e pela aveia preta cv. Iapar 61 no outono/inverno de 2011 (C), em função das doses de N.

## Discussão

A produção de forragem (MV) pelo sorgo forrageiro em ambos os anos avaliados (Figura 2A e 2B) e pela aveia preta (Figura 2C) foram influenciadas significativamente pela adubação nitrogenada. Segundo Heringer & Moojen (2002), a resposta quadrática na produção de forragem é esperada em função da limitação na produção por outros fatores, ou seja, isso ocorre porque há um certo limite em que o N disponível é aproveitado pelas plantas na quantidade necessária para expressar todo o seu potencial produtivo, e quando em excesso, provoca um desequilíbrio dos demais nutrientes na planta, diminuindo a produção e aumentando gastos desnecessários com adubação.

No Brasil, existem inúmeras espécies forrageiras que produzem um grande volume de massa verde. Oliveira et al. (2010), ao avaliarem a produção de massa verde e extração de nutrientes de diferentes forrageiras, encontraram uma produção de 67.180; 66.480; 82.000 e 83.900  $\text{kg ha}^{-1}$  de MV para as culturas do milho, capim sudão, sorgo forrageiro e girassol, respectivamente, resultados esses, semelhantes aos encontrados no presente

trabalho para o sorgo no ano agrícola de 2010/2011. Para os teores médios de massa seca, Simili et al. (2007), ao avaliarem o capim sudão cv. AG 2501C submetido à adubação nitrogenada e potássica no período outono/inverno, encontraram resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho, com valores de 17,4; 16,3 e 17,3%, quando aplicaram as doses de 100; 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Em trabalho com avaliação do desempenho produtivo de 29 genótipos de sorgo forrageiro, Cunha & Lima (2010), encontraram produções variando de 15.400 à 68.100 kg ha<sup>-1</sup> de MV, resultados esses um pouco inferiores aos encontrados no presente trabalho. Para os teores de massa seca os autores encontram valores de 17 à 33%, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

Para a cultura da aveia preta, Luz et al. (2008), encontraram uma produção de 18.361; 18.398; 19.492 e 18.743 kg ha<sup>-1</sup> de MV quando sob irrigação e 5.724; 5.888; 5.865 e 5.919 kg ha<sup>-1</sup> de MV quando sem irrigação, sob aplicações de 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, resultados esses bem inferiores aos encontrados no presente trabalho. Cabe lembrar que os autores conduziram o trabalho no estado de SP, região com déficit hídrico no período de inverno. Para os teores médios de massa seca os autores encontraram valores de 19,1; 18,3; 18,5 e 18,7% com irrigação, resultados esses semelhantes aos encontrados no presente trabalho, e 25; 24,9; 24,5 e 24,6% sem irrigação, respectivamente para as doses de N mencionadas anteriormente.

Ao compararmos os resultados de produção de MV do sorgo forrageiro e da aveia preta encontrados no presente trabalho com os resultados encontrados na literatura, podemos concluir que a produção de MV é influenciada pela adubação nitrogenada, pelos genótipos selecionados, pelo clima da região e principalmente pela disponibilidade de chuvas.

A extração de N pelo sorgo forrageiro foi influenciada significativamente pelas doses de N aplicadas, nos dois anos de cultivo, porém, houve uma maior extração de N no ano agrícola de 2010/2011 (Figura 3A) em relação ao ano de 2011/2012 (Figura 3B). Essa maior extração pode ser explicada pela menor produção de forragem devido ao atraso na semeadura em 77 dias no segundo ciclo. Em função disso, não foram comparadas as extrações de N pelo sorgo entre os anos, mas o importante é observar como foi o comportamento da curva de extração em relação às doses de N aplicadas, com resposta quadrática para os dois anos de avaliação.

Han et al. (2011), avaliando 5 híbridos de sorgo, em Beijing na China, aplicando 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, encontraram uma extração de 128 e 329 kg ha<sup>-1</sup> de N com os híbridos

precoces e tardios, respectivamente, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho para os dois anos de cultivo. Mateus et al. (2011), ao avaliarem a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas de sorgo Guine gigante (*Sorghum bicolor* subespécie *bicolor* raça Guine), semeados em diferentes épocas, no estado de São Paulo - Brasil, encontraram uma extração de 270, 150, 135, 130, 80 e 75 kg ha<sup>-1</sup> de N para as épocas de semeadura de 25/09/2000; 25/10/2000; 24/11/2000; 22/12/2000; 22/02/2001 e 03/04/2001, respectivamente, resultados esses um pouco inferiores aos encontrados no presente trabalho no primeiro ano avaliado, mas que podem explicar a extração de N no segundo ano avaliado, pois conforme se atrasou a semeadura da cultura, menores foram estas extrações. Com isso, percebe-se que além das doses de N, o período de semeadura e a escolha das espécies (precoce ou tardia) influenciam diretamente nos valores de N extraído.

A extração de N da aveia preta também foi influenciada positivamente pelas doses de N aplicadas no solo (Figura 3C), o que possivelmente acarrete em reciclagem de N para o ciclo seguinte de cultivo. Melo et al. (2011), ao quantificarem a extração de nutrientes da aveia preta no município de Coimbra-MG, encontraram valores de 6, 11, 28 e 52 kg ha<sup>-1</sup> de N extraídos quando sem adubação, com adubação mineral na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 com a adição de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, com adubação mineral na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 com a adição de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura e com adubação orgânica com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico, respectivamente, sendo estes resultados bem inferiores ao do presente trabalho. Essa diferença na extração de N poderia ser explicada pela capacidade do solo da região em liberar N para a cultura, pelo cultivar da aveia selecionada e principalmente pelo clima favorável à decomposição de material orgânico.

Ao avaliarmos em conjunto os resultados de extração de N pelo sorgo forrageiro e pela aveia preta, pode-se perceber que a ambas conseguem acumular N em grande quantidade, atingindo valores de 97 kg ha<sup>-1</sup> de N extraídos pelo sorgo forrageiro em 2011/2012 (controle) até 320 kg ha<sup>-1</sup> de N em 2010/2011, quando aplicado 300 kg ha<sup>-1</sup> de N. Quando comparamos os resultados com a literatura percebe-se que, além das doses de N aplicadas, o período de semeadura também influencia diretamente na quantidade de N extraído. Com isso, pode-se justificar a menor extração de N no segundo ciclo de cultivo do sorgo em relação ao primeiro ano, corroborando com os resultados encontrados por Mateus et al. (2011) e Han et al. (2011). Já para os resultados de extração de N pela aveia preta, pode-se observar que os mesmos são maiores que os resultados encontrados na

literatura, variando de 99 kg ha<sup>-1</sup> de N extraídos pela aveia (controle) até 241 kg ha<sup>-1</sup> de N quando aplicado 160 kg ha<sup>-1</sup> de N. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de o cv. IAPAR 61 ser novo no mercado, melhorado geneticamente para um maior ciclo vegetativo, produzindo mais forragem e de melhor qualidade, o que proporciona um maior acúmulo de N na parte área, além do solo e o clima da região serem favoráveis ao desenvolvimento deste cultivar.

Conhecer à eficiência de recuperação e utilização do N em sistemas de produção de forragem é fundamental para aumentar a produção, pois a medida que a quantidade de N aplicado ultrapassa a capacidade da planta em absorver este nutriente e converter isso em produção de forragem, parte do mesmo pode ser perdido por lixiviação, volatilização, percolação ou acumular-se nos tecidos, reduzindo a eficiência de aproveitamento pela cultura (Dougherty & Rhykerd, 1985). As recuperações de N pelo sorgo forrageiro foram maiores nas menores doses para ambos os anos avaliados, com teores variando de 144 à 48%, para o ano agrícola 2010/2011 e 72 à 9% para o ano agrícola 2011/2012, sob as doses de 37,5 e 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente (Figura 4A e 4B).

A resposta de recuperação do N pelas forrageiras pode ser influenciada por vários fatores, dentre eles destaca-se o déficit hídrico durante o ciclo de produção, as doses de N utilizadas, o potencial genético da cultura e o manejo de aplicação. Em condições adequadas de clima e solo, a taxa de recuperação do N pode ultrapassar os 100% (Dougherty & Rhykerd, 1985), como observado no presente trabalho (Figura 4) e na literatura. Heringer & Moojen (2002), trabalhando com milho sob adubação nitrogenada obtiveram resposta linear negativa para a recuperação do nitrogênio, variando de 168, 99, 94 e 79% quando aplicaram as doses de 150, 300, 450 e 600 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Sartor et al. (2011), trabalhando com a cultura do papuã (*Brachiaria plantaginea*) em Pato Branco-PR, encontraram uma eficiência de recuperação de 110 e 49% com as doses de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Para a aveia preta as menores doses de N foram as mais eficientes, como demonstra a figura 4C. Ao aplicar 40 kg ha<sup>-1</sup> de N foi encontrada uma eficiência de recuperação do N de 110%, no entanto, quando aplicada à dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N a eficiência diminuiu para 55%. Em trabalho desenvolvido com aveia branca (*Avena sativa* L.) com doses menores de N, Kolchinski & Schuch (2003) encontraram uma eficiência de recuperação variando de 76, 72, 67 e 64%, quando aplicaram as doses de 20, 40, 60 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, resultados esses inferiores aos encontrados no presente trabalho.

A eficiência fisiológica do N pelo sorgo forrageiro foi influenciada significativamente pelas doses de N aplicadas no solo em ambos os anos (Figuras 5A e 5B), obtendo os maiores valores, 40 e 28 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, para os anos 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente, quando aplicada a menor dose de N, 37,5 kg ha<sup>-1</sup>. Lupatini et al. (1997), trabalhando com o milho cv. comum, em Santa Maria - RS, encontraram uma eficiência fisiológica de 35 e 33 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido pela cultura, quando sob doses de 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Nesta mesma linha, Heringer & Moojen (2002) observaram redução progressiva na eficiência fisiológica do milho, atingindo valores de 45 e 14 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido para as doses de 150 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Para a aveia preta a eficiência fisiológica também foi influenciada pelas doses de N aplicadas no solo (Figura 5C), com valores de 22 à 16 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, quando aplicadas as doses de 40 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Lupatini et al. (1998), ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada (0, 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N), em cobertura em pastagem de aveia preta consorciada com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), em Santa Maria - RS, encontraram uma eficiência fisiológica de 31 e 25 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, quando sob doses de 150 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, resultados esses um pouco superiores aos encontrados no presente trabalho, no entanto ao aumentar as doses de N aplicadas no solo diminui a eficiência fisiológica, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho.

De acordo com Pelegrini et al. (2010), a adubação nitrogenada pode afetar a produção e a qualidade da forragem em pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.), mas não altera a eficiência fisiológica de utilização do N. No trabalho realizado em Guarapuava-PR, os autores encontraram uma eficiência fisiológica média de 29 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N absorvido, para as doses de 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup> de N, não diferindo significativamente entre as doses utilizadas, contradizendo com os resultados encontrados no presente trabalho. A não diferença da eficiência fisiológica do N em função das doses pode ser explicada pela forma como os autores coletaram a forragem, a qual foi simulando o pastejo dos animais, com isso, sabe-se que os animais, em especial os ovinos, são seletivos, os quais têm a capacidade de selecionar a sua dieta com mais de 80% de folhas.

Para a eficiência de recuperação do N pelo sorgo forrageiro (Figuras 6A e 6B) houve efeito quadrático e negativo com o aumento da dose de N nos dois anos avaliados, com a máxima eficiência de 61 e 20 e a mínima de 13 e 1,5 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado,

quando sob doses de 37,5 e 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente para as doses e anos. Consentino et al. (2012), avaliando o sorgo sacarino cv. Keller com irrigação e adubação nitrogenada na região de Sicília – Itália, encontraram uma eficiência de recuperação de N bem inferior às encontradas no presente trabalho, com valores de 15, 8 e 6 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado sob doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Na Nigéria, Olanite et al. (2010), encontram uma eficiência de recuperação do N de 2, 9 e 6 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado, quando aplicadas as doses de 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N no sorgo forrageiro (*Sorghum alnum*), respectivamente, bem inferiores aos encontrados no presente trabalho. Além do sorgo é interessante compararmos a eficiência de recuperação do N em outras culturas. Primavesi et al. (2004), ao avaliar o efeito de elevadas doses e fontes de N no teor, extração dos nutrientes e na recuperação do N aplicado em capim-coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross), em São Carlos-SP, encontraram uma eficiência de recuperação do N de 25, 27, 21 e 13 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado, quando sob doses de 125, 250, 500 e 1000 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, valores estes dentro da faixa normal obtida com o sorgo no presente trabalho.

De modo geral, percebe-se que há uma enorme diferença entre valores encontrados e informações de literatura sobre a eficiência de recuperação do N pelo sorgo forrageiro. Essa amplitude de valores pode ocorrer devido a fatores climáticos e de solo, pois sabe-se que o N é um nutriente fácil de ser perdido tanto por lixiviação, como por volatilização e percolação, e isso faz com que qualquer alteração no clima (excesso ou falta de chuva), no manejo de aplicação e na qualidade e capacidade do solo, ocasionem oscilações na eficiência de utilização do N pela cultura.

A eficiência de recuperação do N pela aveia preta também foi influenciada significativamente pelas doses de N (Figura 6C), atingindo a máxima de 24 e a mínima de 9 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado, quando sob doses de 40 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. A aveia preta cv. IAPAR 61, é uma cultivar relativamente nova no mercado, o qual vem sendo bastante pesquisada na região sul do Brasil, pois apresenta alto potencial de produção de forragem, com ciclo vegetativo mais longo quando comparado com cultivares comuns. Moreira et al. (2001), encontraram uma eficiência de recuperação pela aveia de 29, 17 e 11 kg de MS kg<sup>-1</sup> de N aplicado quando aplicadas as doses de 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, resultados esses semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

A utilização de macro e micronutrientes é essencial para a vida das plantas e dos animais. O fósforo é um componente vital da célula (Karn, 2001), tem como funções na

planta, estimular o crescimento e a formação do sistema radicular no início do desenvolvimento. Dentre os macronutrientes, o fósforo é um dos elementos que o sorgo e a aveia preta menos absorvem, em relação aos demais. Para o sorgo forrageiro as doses de N influenciaram significativamente na extração de P pelas plantas (Figura 7), atingindo as maiores extrações (46 e 24 kg ha<sup>-1</sup> de P) quando aplicada a maior dose, 375 kg ha<sup>-1</sup> de N, e as menores extrações (17 e 12 kg ha<sup>-1</sup> de P) sem aplicação de N no solo, para os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente.

Também trabalhando com sorgo, Han et al. (2011), encontraram valores de P acumulados variando de 30 à 75 kg ha<sup>-1</sup> para os híbridos precoce e medio/tardio, respectivamente, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho, demonstrando que além das doses de N, o ciclo de produção influencia diretamente na quantidade de P extraído. Mateus et al. (2011) observaram que a cultura do sorgo Guiné gigante pode devolver ao solo via fitomassa o equivalente à 288 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, com esses valores os autores concluíram que o sorgo é uma excelente alternativa para ser utilizada como planta de cobertura. Por outro lado, as condições climáticas podem restringir bastante a extração de nutrientes pelas plantas, em trabalho de Torres et al. (2008), em condições de Cerrado, os autores encontraram uma extração de P de apenas 13 kg ha<sup>-1</sup> para o sorgo e 4 kg ha<sup>-1</sup> para a aveia preta, resultados estes bem inferiores aos encontrados no presente trabalho para os dois anos de cultivo do sorgo e também para a aveia preta.

Para a aveia a extração de P foi influenciada significativamente pelas doses de N (Figura 7C), atingindo a maior extração, de 32 kg ha<sup>-1</sup>, quando aplicada a dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, e a menor extração, de 23 kg ha<sup>-1</sup>, quando sem aplicação de N. Aita et al. (2006), ao avaliar quatro doses de dejetos suínos na aveia preta solteira e no consórcio com ervilhaca comum, não encontraram interação significativa entre os fatores: dejetos, espécies e acúmulo de N, P e K na parte aérea das culturas, com valores médios de P extraído de 28, 27 e 13 kg ha<sup>-1</sup>, quando sob aveia preta solteira, aveia preta consorciada com ervilhaca e vegetação espontânea, respectivamente. Pode-se concluir com estes resultados que a aveia preta cv. IAPAR 61 é uma excelente alternativa para ser utilizada como planta de cobertura durante o período de outono/inverno da região Sul do Brasil por produzir grande quantidade de forragem e acumular bastante P no tecido.

O potássio (K) desenvolve numerosas e importantes funções metabólicas nas plantas (Dechen & Nachtigall, 2007). Dentre estas, pode-se destacar as reações e ativações enzimáticas, pois a ação das enzimas depende da presença de ativadores, e um

destes ativadores iniciais é o potássio, o qual se move livremente no interior da planta. Para o sorgo forrageiro a extração de K foi influenciada significativamente pelas doses de N aplicadas no solo (Figuras 8A e 8B), atingindo os maiores valores, de 180 e 83 kg ha<sup>-1</sup>, quando aplicadas as doses de 271 e 324 kg ha<sup>-1</sup> de N, para os anos de 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente. Oliveira et al. (2010) encontraram uma extração de K de 206, 225, 292 e 380 kg ha<sup>-1</sup> quando avaliaram as culturas do milho, sorgo-sudão, sorgo forrageiro e girassol, respectivamente, resultados esses superiores aos encontrados no presente trabalho. Segundo os autores, em culturas manejadas com deficiência de K no solo, o sistema radicular será menos profundo e pouco desenvolvido, prejudicando a absorção de água e nutrientes.

Nesta mesma linha, Han et al. (2011), ao avaliarem o acúmulo de K em híbridos de sorgo, encontraram valores extraídos pela cultura de 109 à 300 kg ha<sup>-1</sup> para os híbridos precoce e médio/tardio, respectivamente. Com isso, percebe-se que os valores médios obtidos no presente trabalho são menores em relação aos encontrados na literatura. Essa menor quantidade de K extraído pelo sorgo pode ser explicada pelo estágio fenológico de colheita da cultura, cuja extração seria menor quando comparada com culturas colhidas no estágio reprodutivo.

Para a aveia preta a extração de K também foi influenciada pelas doses de N (Figura 8C), atingindo a maior extração de 79 kg ha<sup>-1</sup> quando aplicada a dose de 198 kg ha<sup>-1</sup> de N, com a menor extração quando sem adubação nitrogenada. Melo et al. (2011), ao quantificarem a extração de nutrientes da aveia preta, encontraram valores de 13, 26, 59 e 101 kg ha<sup>-1</sup> de K extraído quando sem adubação; com 1/2 dose da adubação mineral na base e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura; com adubação mineral integral na base e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura; e com adubação orgânica (40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto), respectivamente, resultados esses semelhantes ao encontrado no presente trabalho, destacando apenas o tratamento que recebeu adubação orgânica, o qual extrair a maior quantidade de K.

De acordo com Borkert et al. (2003), a aveia preta pode servir como uma recicladora de K, devido a cultura possuir sistema radicular profundo, o que permite retornar para a camada superficial do solo o K anteriormente percolado para camadas subsuperficiais. Giacomini et al. (2003), ao avaliarem o efeito de cultivos isolados e consorciados de aveia, ervilhaca e nabo sobre a produção de fitomassa, relação C/N e acúmulo de N, P e K na parte aérea durante os anos de 1998, 1999 e 2000, encontraram uma extração de K pela cultura da aveia preta de 85, 82 e 74 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para os anos avaliados.

Com isso, é possível mencionar que esta cultura pode ser utilizada como uma importante estratégia de redução de perdas de K por lixiviação na entressafra de culturas comerciais, reduzindo assim custos com aplicação de adubação e melhorando gradativamente a qualidade do solo para as culturas sucessoras.

De modo geral, nas condições de desenvolvimento do presente trabalho, para a cultura do sorgo forrageiro atingir as maiores extrações de N são necessárias doses entre 234 e 298 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo que a maior extração de P é observada com maiores doses de N, de até 375 kg ha<sup>-1</sup> de N. A extração de K é maior com doses entre 271 e 324 kg ha<sup>-1</sup> de N, com base em dados de dois ciclos de cultivo. Para a aveia preta as doses de 218, 240 e 198 kg ha<sup>-1</sup> de N são as que proporcionam as maiores extrações de N, P e K, respectivamente. Quanto aos valores de recuperação, eficiência de recuperação e eficiência fisiologia do N, as menores doses são as que apresentam os maiores valores, tanto para o sorgo forrageiro como para a aveia preta.

### **Agradecimentos**

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos (UTFPR) por disponibilizar a área experimental, bem como disponibilizar o laboratório e todos os reagentes necessários para o desenvolvimento das análises laboratoriais. Agradeço também os programas PET-Zootecnia e o programa de Iniciação Científica da UTFPR pelas bolsas concedidas aos acadêmicos do curso de Zootecnia os quais contribuíram para que o trabalho fosse concluído com êxito. Especial agradecimento ao Programa de Assistência ao Ensino (PAE) pela bolsa de mestrado concedida durante todo o período de estudo.

### **REFERÊNCIAS**

- AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S. J.; (2006) Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **30**:901-910.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R.; (2009) Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. *African Journal of Agricultural Research*. **4**, 772–780.
- ALVES FILHO, D.C.; NEUMANN, M.; RESTLE, J.; et al., (2003) Produção agrônômica, qualidade e custo de produção de forragem de azevém (*Lolium multiflorum*, L.). *Ciência Rural*, v.**33**, n.1, p.143-149.
- AMADUCCI, S.; MONTI, A.; VENTURI, G.; (2004) Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. *Ind. Crops Production*. **20**, 111–118.
- ANTONOPOULOU, G.; GAVALA, H. N.; SKIADAS, I. V.; ANGELOPOULOS, K.; LYBERATOS, G.; (2008) Biofuels generation from sweet sorghum: fermentative

- hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. *Bioresour. Technol.* **99**, 110–119.
- BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; et al., (2003) Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. **38**, n. 1, p. 143-153.
- BUXTON, D.R.; ANDERSON, I. C.; HALLAM, A.; (1999) Performance of sweet and forage sorghum grown continuously, double-cropped with winter rye, or in rotation with soybean and maize. *Agronomy Journal*. **91**, 93–101.
- COMISSÃO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). (2004) Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10<sup>ed</sup>. Porto Alegre: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul*, 400p.
- COSENTINO, S. L.; MANTINEO, M.; TESTA, G.; (2012) Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* moench (L.)) cv. Keller under semi-arid conditions Industrial. *Crops and Products*, **36**, 329–342.
- CUNHA, E. E.; LIMA, J. M. P.; (2010) Caracterização de genótipos estimativas de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**39**, n.4, p.701-706.
- DECHEN, A. R.; & NACHTIGALL, G. R.; (2007) Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, Roberto, Ferreira; ALVAREZ, V. H., DE BARROS, N. F., et al. *Fertilidade do Solo*. Viçosa – MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; et al., (2012) Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **36** :1714-1723.
- FAGERIA, N. K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v. **2**, p.6-16.
- GAO, C. F.; ZHAI, Y.; DING, Y.; WU, Q. Y. (2010) Application of sweet sorghum for biodiesel production by heterotrophic microalga *Chlorella protothecoides*. *Appl. Energy* **87**, 756–761.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCULO, E. R. O.; et al., (2003) Matéria seca, relação c/n e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. **27**:325-334.
- GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; WYMAN, C.E. (2005) Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. *Bioresour. Technol.* **96**, 985–1002.
- GRISE, M. M.; CECATO, U.; MORAES, A.; et al., (2002) Avaliação do desempenho animal e do pasto na mistura aveia IAPAR 61 (*Avena strigosa* Schreb) e ervilha forrageira (*Pisum arvense* L.) manejada em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**31**, n.3, p.1085-1091.
- HAN, L. P.; STEINBERGER, Y.; ZHAO, Y. L.; XIE, G. H.; (2011) Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. *Field Crops Research* **120**, 230–240.
- HERINGER, I.; MOOJEN, E. L. (2002). Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.**31**, n.2, p.875-882.
- KARN, J. F. (2001) Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.**89**, n.3, p.133-153.

- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. (2003) Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **27**: 1033-1038.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. (1989) Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: *XVI International Grassland Congress*, p.179-180.
- LIU, R.; LI, J.; SHEN, F. (2008) Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation. *Renew. Energy***33**, 1130–1135.
- LIU, S. Y.; LIN, C.Y. (2009) Development and perspective of promising energy plants for bioethanol production in Taiwan. *Renew. Energy***34**, 1902–1907.
- LUPATINI, G. C.; MOOJEN, E. L.; RESTLE, J.; DA SILVA, J. H. S. (1996) Resposta do milheto (*Pennisetum Americanum* (L) Leeke) sob pastejo à adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.10, p. 715 – 720.
- LUPATINI, G. C.; RESTLE, J.; CERETTA, M.; et al., (1998) Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.**33**, n. 11.
- LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; et al. (2008) Resposta da aveia preta (*Avena strigosa* schreb) à irrigação por aspersão e adubação nitrogenada. *Acta Scientiarum Agronomy* Maringá, v. **30**, n. 3, p. 421- 426.
- MARTHA J. G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; et al., (2004) Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. **33**, n.6, p.2240-2247.
- MATEUS, G. P.; BORGHI, É.; CASTRO, G. S. A.; et al., (2011) Biomass production and accumulation of nutrients in shoots of Giant Guinea sorghum plants. *Revista Ciência Agronômica*, v. **42**, n. 4, p. 1000-1008.
- MELO, V. A.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H.; et al., (2011) Absorção de nutrientes e produção de biomassa de aveia preta em solos sob dezoito anos de adubação orgânica em mineral, *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. **32**, n. 2, p. 411-420.
- MOREIRA, F. B.; CECATO, U.; PRADO, I. N.; et al. (2001) Avaliação de aveia preta cv. Iapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. *Acta Scientiarum*. Maringá, v. **23**, n. 4, p. 815-821.
- NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C.; MACHADO, J. R.; (2000) Adubação nitrogenada no perfilhamento da aveia preta em duas condições de fertilidade de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. **35**, n.6, p.1071-1080.
- NEDEL, J. L.; ULLRICH, S. E.; PAN, W. L.; (1997) Nitrogen use by standard height and semi-dwarf barley isotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.**32**, n.2, p. 147 – 153.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; FILHO, D. C. A.; et al., (2005) Produção de forragem e custo de produção da pastagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.), fertilizada com dois tipos de adubo, sob pastejo contínuo. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.**11**, n. 2, p. 215-220.
- OENEMA, O.; KROS, H.; VRIES, W. (2003) Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*.**20**, 3 – 16.
- OLANITE, J. A.; ANELE, U. Y.; ARIGBEDE, O. M.; JOLAOSHO, A. O.; ONIFADE, O. S. (2010) Effect of plant spacing and nitrogen fertilizer level on the growth, dry-matter yield and nutritive quality of Columbus grass (*Sorghum almum* stapf) in southwest Nigeria. *Grass and Forage Science*, **65**, 369–375.

- OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. (2003) Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. **37**, n. 8, p. 1079-1087.
- OLIVEIRA, L. B.; PIRES, A. J. V.; VIANA, A. E. S.; et al., (2010) Produtividade, composição química e características agrônômicas de diferentes forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. **39**, n.12, p.2604-2610.
- PELEGRINI, L. G.; MONTEIRO, A. L. G.; NEUMANN, M.; et al., (2010) Produção e qualidade de azevém-anual submetido a adubação nitrogenada sob pastejo por cordeiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. **39**, n.9, p.1894-1904.
- PEREIRA, A. R. (2005) Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. *Bragantia, Campinas*, **64**, n.2, p.311-313.
- PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; et al., (2004) Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. **33**, n.1, p.68-78.
- RAJAGOPAL, D. (2008) Implications of India's biofuel policies for food, water and the poor. *Water Policy* **10**, 95–106.
- RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V.; NORNBORG, J. L.; BRONDANI, I. L.; CERDÓTES, L.; CARRILHO, C. O. (2002) Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. **31**, n. 3, p. 1491-1500.
- RIBAS, M. N.; MACHADO, F. S. (2010) Produção de forragem utilizando híbridos de sorgo com capim Sudão (*S. bicolor x S. sudanense*). *Embrapa Milho e Sorgo*. Sistema de Produção, 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.
- SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; et al., (2010) Crescimento radicular, extração de nutrientes e produção de grãos de genótipos de milho em diferentes quantidades de palha de aveia-preta em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v **34**:1207-1216.
- SARTOR, L. R.; ASSMANN, T. S.; SOARES, A. B.; et al., (2011) Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **35**:899-906.
- SIMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN, B. N.; et al. (2007) Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. **32**, n. 2, p. 474-480.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. (2001) *User's guide: statistics* Version 8.1, Cary: SAS Institute, (CD-ROM).
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; et al., (1995) *Análises de Solos Plantas e outros materiais*. Boletim Técnico N°5. Departamento de solos, faculdade de agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.
- THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. (1999) L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires. *Institute de L'Évage, Juin*.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R.; (1955) *The water balance*. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology. 104p. (*Publications in Climatology, vol. VIII, n.1*).
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J.; (2008) Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. **43**, n.3, p.421-428.
- TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. (2004) Cultivation of sweet sorghum (*sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. *Plant Production Science* **7**, 442–448.

- WORTMANN, C. S.; LISKA, A. J.; FERGUSON, R. B.; LYON, D. J.; KLEIN, R. N.; DWEIKAT, I. (2010) Dry land performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. *Agronomy Journal*, **102**, 319–326.
- YU, J.; ZHANG, X.; TAN, T.; (2008) Ethanol production by solid state fermentation of sweet sorghum using thermotolerant yeast strain. *Fuel Process. Technol.* **89**, 1056–1059.
- ZHAO, Y. L.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; WANG, X.; OSMAN, A.; XIE, G. H. (2009) Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Res.* **111**, 55–64.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das culturas do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. Iapar 61, como fonte de volumoso para a alimentação animal ou como cobertura do solo, são excelentes opções para o produtor, em função de ter produções de forragem de qualidade e em quantidade nos períodos de primavera/verão (sorgo forrageiro) e outono/inverno (aveia preta). No entanto, as mesmas não devem ser compreendidas como as únicas espécies a serem utilizadas, mas sim como alternativas disponíveis e de alto potencial produtivo.

Quanto a aplicação da adubação nitrogenada nas pastagens, deve-se ter alguns cuidados fundamentais, como por exemplo: o déficit hídrico, ou o excesso de chuvas durante a fase de aplicação, as doses de N utilizadas, o potencial genético da cultura e o manejo de aplicação. Pois sabe-se que o N é um nutriente fácil de ser perdido tanto por lixiviação, como por volatilização e percolação, aumentando o custo de produção das forragens.

Quanto a viabilidade econômica da adubação nitrogenada do presente trabalho, as doses que atingiram as maiores produções de forragem e com as melhores qualidades, para as culturas do sorgo forrageiro cv. Jumbo e da aveia preta cv. Iapar 61, não foram as mais eficientes, pois a intensificação do sistema de produção não é obtida somente com aumento de produtividade via uso de fertilizantes, mas sim por meio de mudanças nas diferentes fases do processo produtivo, sempre com o objetivo de aumentar a eficiência.

A intensificação de um sistema produtivo significa obter um maior rendimento possível por unidade de produção, com isso a dose de 220 kg ha<sup>-1</sup> de N para o sorgo forrageiro é a que se encontra dentro da faixa ideal para produção e qualidade da forragem, bem como para a eficiência de utilização. Para a aveia preta cv. Iapar 61 a dose recomendada para essa maior eficiência de produção é de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N.

# Anexos

**Anexo 1.** Produção média de massa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da cultura do sorgo forrageiro cv. Jumbo durante o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e da aveia preta cv. IAPAR 61 durante o período de outono/inverno do ano de 2011 em função das doses de N e dos períodos de colheita.

MS	Período	Média $\pm$ Dp	a	b	c	r <sup>2</sup>	P	CV
MS Sorgo 2010/2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	19/11 - 29/12**	2.711,90 $\pm$ 408,27	2.108,08	10,91	-	0,31	= 0,0056	26,59
	29/12 - 18/01*	1.952,38 $\pm$ 307,74	-	-	-	-	-	24,78
	18/01 - 03/02**	1.085,00 $\pm$ 273,34	844,37	2,3197	-	0,33	= 0,0036	26,25
	03/02 - 23/02***	2.380,00 $\pm$ 351,84	1.738,79	10,642	- 0,0257	0,43	= 0,0031	17,62
	23/02 - 25/03**	1.578,75 $\pm$ 535,90	769,57	5,199	-	0,68	< 0,0001	28,36
	25/03 - 29/04**	1.055,00 $\pm$ 305,40	818,40	1,520	-	0,25	= 0,0150	29,72
MS Aveia 2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	12/05 - 09/07**	633,33 $\pm$ 143,25	199,76	10,839	-	0,64	< 0,0001	34,50
	09/07 - 21/07**	949,52 $\pm$ 124,90	638,09	3,893	-	0,52	< 0,0001	21,16
	21/07 - 13/08***	722,86 $\pm$ 101,17	463,65	5,884	- 0,023	0,69	= 0,0089	12,20
	13/08 - 07/09***	609,52 $\pm$ 61,43	475,40	3,482	- 0,014	0,41	= 0,0011	14,64
	07/09 - 30/09***	1.057,14 $\pm$ 182,37	677,62	7,161	- 0,023	0,37	= 0,0179	21,26
	30/09 - 31/10**	1.473,33 $\pm$ 106,25	1.295,48	1,482	-	0,41	= 0,0010	9,50
MS Sorgo 2011/2012 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	30/01 - 02/03**	1.100,00 $\pm$ 165,73	979,65	2,1741	-	0,16	= 0,0407	17,83
	02/03 - 16/03*	1.480,95 $\pm$ 128,04	-	-	-	-	-	8,65
	16/03 - 30/03**	1.138,10 $\pm$ 167,76	1.022,47	1,0444	-	0,21	= 0,0218	14,55
	30/03 - 20/04*	1.565,48 $\pm$ 244,51	-	-	-	-	-	15,62

\*y = a \*\* y = a + bx \*\*\*y = a + bx + cx<sup>2</sup> Dp = Desvio Padrão CV = Coeficiente de variação

**Anexo 2.** Extração de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo durante o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e da aveia preta cv. IAPAR 61 durante o período de outono/inverno do ano de 2011 em função das doses de N e dos períodos de colheita.

<b>Nitrogênio</b>	<b>Período</b>	<b>Média <math>\pm</math> Dp</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>P</b>	<b>CV</b>
<b>N extraído do Sorgo 2010/2011</b> ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	19/11 - 29/12***	47,98 $\pm$ 15,50	25,77	0,8592	- 0,0050	0,43	= 0,0287	30,05
	29/12 - 18/01**	42,73 $\pm$ 11,57	31,47	0,1020	-	0,18	= 0,0298	40,55
	18/01 - 03/02**	23,74 $\pm$ 6,06	16,83	0,0677	-	0,44	= 0,0006	28,34
	03/02 - 23/02***	51,20 $\pm$ 6,87	32,08	0,295	- 0,0007	0,58	= 0,0006	17,87
	23/02 - 25/03**	32,82 $\pm$ 12,23	12,56	0,130	-	0,70	< 0,0001	32,42
	25/03 - 29/04**	20,09 $\pm$ 4,62	12,03	0,052	-	0,58	< 0,0001	27,40
<b>N extraído da Aveia 2011</b> ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	12/05 - 09/07**	26,32 $\pm$ 4,98	6,19	0,5032	-	0,73	< 0,0001	31,25
	09/07 - 21/07***	38,78 $\pm$ 6,62	15,75	0,4749	- 0,0016	0,69	= 0,0402	21,29
	21/07 - 13/08***	28,50 $\pm$ 5,16	14,34	0,3345	- 0,0014	0,65	= 0,0080	18,12
	13/08 - 07/09***	23,45 $\pm$ 3,07	15,05	0,153	- 0,0005	0,43	= 0,0140	19,04
	07/09 - 30/09***	34,60 $\pm$ 4,65	16,10	0,278	- 0,0007	0,62	= 0,0230	21,10
	30/09 - 31/10**	42,07 $\pm$ 6,55	32,61	0,079	-	0,50	= 0,0002	14,90
<b>N extraído do Sorgo 2011/2011</b> ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	30/01 - 02/03**	26,69 $\pm$ 4,82	22,08	0,0834	-	0,28	= 0,0080	20,90
	02/03 - 16/03***	39,20 $\pm$ 4,90	33,35	0,1416	- 0,0005	0,35	= 0,0066	11,06
	16/03 - 30/03***	28,88 $\pm$ 4,88	22,32	0,1390	- 0,0005	0,36	= 0,0174	15,82
	30/03 - 20/04***	27,45 $\pm$ 6,84	20,51	0,117	- 0,0003	0,23	= 0,0193	24,13

\*y = a \*\* y = a + bx \*\*\*y = a + bx + cx<sup>2</sup> Dp= Desvio Padrão CV = Coeficiente de variação

**Anexo 3.**Extração de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo durante o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e da aveia preta cv. IAPAR 61 durante o período de outono/inverno do ano de 2011 em função das doses de N e dos períodos de colheita.

Fósforo	Período	Média $\pm$ Dp	a	b	c	r <sup>2</sup>	P	CV
P extraído do Sorgo 2010/2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	19/11 - 29/12**	6,76 $\pm$ 1,16	3,34	0,0618	-	0,63	< 0,0001	31,43
	29/12 - 18/01**	5,35 $\pm$ 2,07	3,69	0,0154	-	0,21	= 0,0229	46,73
	18/01 - 03/02**	3,12 $\pm$ 0,71	1,96	0,0114	-	0,63	< 0,0001	24,68
	03/02 - 23/02***	6,34 $\pm$ 1,04	3,86	0,031	- 0,00006	0,62	= 0,0105	18,04
	23/02 - 25/03**	4,57 $\pm$ 1,38	1,49	0,020	-	0,80	< 0,0001	27,43
	25/03 - 29/04**	2,99 $\pm$ 1,33	1,93	0,007	-	0,30	= 0,0079	42,56
P extraído da Aveia 2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	12/05 - 09/07**	2,67 $\pm$ 0,64	0,52	0,0537	-	0,73	< 0,0001	33,52
	09/07 - 21/07**	5,13 $\pm$ 0,83	3,34	0,0224	-	0,47	= 0,0003	24,54
	21/07 - 13/08**	4,17 $\pm$ 0,92	3,53	0,0080	-	0,15	= 0,0483	22,31
	13/08 - 07/09*	3,28 $\pm$ 0,54	-	-	-	-	-	16,36
	07/09 - 30/09***	4,67 $\pm$ 1,05	3,43	0,034	- 0,0001	0,22	= 0,0132	27,08
	30/09 - 31/10***	6,87 $\pm$ 1,59	9,28	- 0,047	0,0001	0,41	= 0,0090	19,56
P extraído do Sorgo 2011/2012 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	30/01 - 02/03**	5,29 $\pm$ 2,09	2,72	0,0464	-	0,56	< 0,0001	33,70
	02/03 - 16/03*	3,45 $\pm$ 1,17	-	-	-	-	-	33,83
	16/03 - 30/03**	2,83 $\pm$ 0,76	2,12	0,006	-	0,30	= 0,0061	28,78
	30/03 - 20/04***	5,22 $\pm$ 1,03	3,03	0,029	- 0,00006	0,56	= 0,0038	20,54

\*y = a \*\* y = a + bx \*\*\*y = a + bx + cx<sup>2</sup> Dp= Desvio Padrão CV = Coeficiente de variação

**Anexo 4.** Extração de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) pelo sorgo forrageiro cv. Jumbo durante o período de verão dos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 e da aveia preta cv. IAPAR 61 durante o período de outono/inverno do ano de 2011 em função das doses de N e dos períodos de colheita.

Potássio	Período	Média $\pm$ Dp	a	b	c	r <sup>2</sup>	P	CV
K extraído do Sorgo 2010/2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	19/11 - 29/12***	44,21 $\pm$ 12,47	23,57	0,8176	- 0,0049	0,46	= 0,0192	28,74
	29/12 - 18/01*	33,98 $\pm$ 5,93	-	-	-	-	-	28,69
	18/01 - 03/02**	16,44 $\pm$ 3,24	8,78	0,0691	-	0,53	< 0,0001	35,80
	03/02 - 23/02***	22,25 $\pm$ 4,24	13,56	0,127	- 0,0003	0,47	= 0,0068	22,98
	23/02 - 25/03**	13,41 $\pm$ 4,76	6,01	0,048	-	0,69	< 0,0001	30,23
	25/03 - 29/04*	8,66 $\pm$ 2,82	-	-	-	-	-	32,57
K extraído da Aveia 2011 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	12/05 - 09/07**	8,41 $\pm$ 2,70	2,56	0,1461	-	0,53	< 0,0001	43,97
	09/07 - 21/07**	13,35 $\pm$ 1,77	10,03	0,0414	-	0,31	= 0,0053	24,07
	21/07 - 13/08**	11,47 $\pm$ 2,07	8,36	0,0389	-	0,54	< 0,0001	16,90
	13/08 - 07/09***	7,39 $\pm$ 1,41	5,44	0,047	- 0,0002	0,38	= 0,0021	17,21
	07/09 - 30/09***	10,43 $\pm$ 2,52	6,53	0,076	- 0,0002	0,30	= 0,0278	25,23
	30/09 - 31/10*	15,88 $\pm$ 1,97	-	-	-	-	-	12,41
K extraído do Sorgo 2011/2012 ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	30/01 - 02/03**	17,75 $\pm$ 3,58	15,37	0,0431	-	0,15	= 0,0500	22,96
	02/03 - 16/03***	20,36 $\pm$ 3,55	11,38	0,2017	- 0,0007	0,64	< 0,0001	18,56
	16/03 - 30/03**	12,72 $\pm$ 2,55	10,53	0,020	-	0,34	= 0,0033	18,35
	30/03 - 20/04*	20,73 $\pm$ 4,06	-	-	-	-	-	19,61

\*y = a \*\* y = a + bx \*\*\*y = a + bx + cx<sup>2</sup> Dp = Desvio Padrão CV = Coeficiente de variação