

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

ESAÚ MATOS RIBEIRO

**PRODUTIVIDADE DO CAPIM TANZÂNIA EM FUNÇÃO DE
LÂMINAS DE ÁGUA E NÍVEIS DE NITROGÊNIO
NO VALE DO CURU, CE.**

FORTALEZA – CEARÁ

2006

ESAÚ MATOS RIBEIRO

**PRODUTIVIDADE DO CAPIM TANZÂNIA EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE ÁGUA E
NÍVEIS DE NITROGÊNIO NO VALE DO CURU, CE.**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA/CEARÁ

SETEMBRO/2006

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Hamilton Rodrigues Tabosa CRB-3/888

R368p Ribeiro, Esaú Matos

Produtividade do capim tanzânia em função de lâminas de água e níveis de nitrogênio no Vale do Curu, CE / Esaú Matos Ribeiro
86 f. il., color. enc.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará , Fortaleza, 2006.

Orientador: Dr. Raimundo Nonato Távora Costa
Co-orientador: Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Área de concentração: Irrigação e Drenagem

1. Panicum maximum 2. Função de produção 3. Lâminas de água 4. Níveis de nitrogênio 5. Eficiência I. Costa, Raimundo Nonato Távora II. Universidade Federal do Ceará – Mestrado em Agronomia III. Título

ESAÚ MATOS RIBEIRO

**PRODUTIVIDADE DO CAPIM TANZÂNIA EM FUNÇÃO DA LÂMINA DE ÁGUA E
DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO VALE DO CURU, CE.**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. José Matias Filho
Universidade Federal do Ceará – UFC
Aposentado

Aos meus amados pais, Leomax Souto Ribeiro da Costa e Liduína Maria Matos Ribeiro, que com amor e brandura são e sempre serão exemplo de dedicação, educação e amor aos filhos e, principalmente pelo infinito incentivo a mim proporcionado para chegar aqui.

À Munique Rodrigues de Castro e Silva, exemplo de esposa, mulher, amiga, companheira compreensiva e mãe.

À Maira Cecília de Castro e Ribeiro, minha pequena flor, pela existência e alegria.

Aos queridos sobrinhos Pablo, Mateus, Bianca e Luana.

Aos meus irmãos Lea Cristiana, Leonardo e Eliana Matos Ribeiro.

A todos os meus familiares, especialmente a vovó Maria Amélia, pelo carinho que sempre me ofereceram.

À família Rodrigues de Castro e Silva pela afeição, apoio e amizade.

DEDICO

Aos entes queridos, ausentes de corpo, mas presentes no pensamento:
vovô Antônio Ribeiro, vovô Vicente Pereira, vovó Ivanir Salmito, tia Zefa e tio Dinita.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao amigo, Rodrigo Gregório da Silva, mentor e idealizador desta pesquisa;

Ao orientador e companheiro, Professor Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, pelos ensinamentos, crédito e dedicação a mim disponibilizados;

Ao Professor e co-orientador, Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pelas contribuições prestadas no decorrer desse trabalho;

Ao Professor e co-orientador, Dr. José Matias Filho, pela colaboração e presteza;

Ao Professores, Dr. José Neuman Miranda Neiva e Dr. Magno José Duarte Cândido, do Departamento de Zootecnia, pela cessão do sistema de irrigação e disposição em ajudar no andamento e discussão dessa pesquisa;

Ao Professor Luiz Artur Clemente da Silva do Departamento de Economia Agrícola, pelo apoio na análise estatística dos dados.

Aos demais professores do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos e ajuda durante o curso e realização deste trabalho;

Aos amigos-irmãos Rodrigo Gregório e Rogério Abreu pela amizade, companheirismo e respeito;

À amiga-irmã Yuri Ida Benevides pela ajuda prestada desde o início dessa pesquisa;

Aos companheiros do mestrado pela ajuda nos vários momentos do curso e pesquisa: Rodrigo “Preá”, Daniel Colares, Rodrigo “Bigodin”, Robson “Neguin”,

Itamar “Gordo”, Luís Carlos “Luizin”, Sildemberny “Silsil”, Alexandre “Magro”, Mauro Régis, Marcelão, Marcos Meireles, etc.

Aos amigos graduantes da Agronomia e Zootecnia, especialmente ao Davi Cavalcante de Aquino, pela ajuda durante o período experimental;

Aos funcionários da UFC que contribuíram de forma positiva para a realização dessa pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de auxílio;

Finalizando, a todos que contribuíram com o êxito deste trabalho científico.

PRODUTIVIDADE DO CAPIM TANZÂNIA EM FUNÇÃO DE LÂMINAS DE ÁGUA E NÍVEIS DE NITROGÊNIO NO VALE DO CURU, CE.

Autor: Esaú Matos Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

RESUMO

Avaliou-se o rendimento de Massa Seca de Forragem Total (MSFT) por hectare em função de lâminas de água e níveis de nitrogênio e eficiências de uso de nitrogênio (EUN) e água (EUA). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, composto de quatro tratamentos primários nas parcelas (lâminas de irrigação), quatro tratamentos secundários nas subparcelas (níveis de nitrogênio) e quatro blocos. Os tratamentos constituíram-se da combinação de quatro lâminas de irrigação ($W_1 = 169,3$; $W_2 = 280,8$; $W_3 = 462,4$ e $W_4 = 517,8$ mm) com quatro níveis de adubação nitrogenada ($N_0 = 0$; $N_1 = 0,3$; $N_2 = 0,6$; $N_3 = 1,2$ Mg ha⁻¹). Na aplicação de água utilizou-se um sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler System) com turno de rega de três dias com base na evaporação do tanque classe "A". Após análise dos resultados verificou-se o efeito altamente significativo ($P < 0,05$) dos fatores água (0,007%) e nitrogênio (0,034%) sobre a produtividade de MSFT do capim Tanzânia, não ocorrendo interação entre estes fatores ($P > 0,05$). A máxima produtividade estimada foi de 12,277 Mg ha⁻¹, no tratamento W_3N_3 , equivalente à aplicação de 462,4 mm de água e 1,2 Mg ha⁻¹ de nitrogênio. Os valores médios da EUA apresentaram correlação positiva com o fator nível de nitrogênio, com valor máximo observado de 0,045 Mg ha⁻¹ mm⁻¹ para a combinação de uma lâmina de água de 169,3 mm e nível de 1,2 Mg ha⁻¹ de nitrogênio. Na EUN, o valor máximo encontrado foi de 4,51 kg de MSFT produzida para cada quilograma de nitrogênio aplicado, com uma lâmina de água de 280,8 mm e nível de nitrogênio de 0,6 Mg ha⁻¹. Estudar os efeitos das lâminas de água, níveis de nitrogênio e sua interação sobre a produtividade do capim Tanzânia, foram os objetivos deste trabalho.

PRODUCTIVITY OF TANZANIA GRASS IN FUNCTION OF THE WATER SHEETS AND FERTILIZATION NITROGEN IN CURU VALLEY, CEARÁ.

Author: Esaú Matos Ribeiro

Adviser: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

ABSTRACT

The total herbage dry mass (MSFT) production per hectare in function of different water sheets and nitrogen levels and the efficiencies of nitrogen (EUN) and water use (EUA) was evaluated. The experimental design was the randomized block in split-plot, which the main plots composed by four irrigation sheets ($W_1 = 169.3$, $W_2 = 280.8$, $W_3 = 462.4$ e $W_4 = 517.8$ mm) and the subplots by four nitrogen fertilizer levels ($N_0 = 0$, $N_1 = 300$, $N_2 = 600$, $N_3 = 1200$ kg ha⁻¹) and their possible combination composed four blocks. The application of water was by aspersion system in line (Line Source Sprinkler System) with three day of irrigation spell which was based in the tank class 'A' evaporation. There was a significant effect ($P < 0.05$) of factors water (0.005%) and nitrogen (0.01%) on the MSFT Tanzania grass productivity and it was not observed interaction between factors studied. The highest dry mass productivity estimate was 12277.2 kg ha⁻¹ in the treatment W_3N_3 , equivalent to the 462.4 mm of sheets irrigation and 1200 kg ha⁻¹ of nitrogen. The EUA average values showed positive correlation with the level of nitrogen. The highest EUA value observed was with the combination of 169.3 of water sheet and 1200 kg ha⁻¹ of nitrogen. The highest EUN value observed was 4.51 kg of MSFT per each kilo of nitrogen applied, in the treatment with 280,8 mm of sheets irrigation and 600 kg ha⁻¹ of nitrogen. This research was conducted to study the effect of water sheets, nitrogen levels and the interaction between them on the Tanzania grass productivity.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Vista da área experimental, FEVC, Pentecoste, Ceará	19
2. Detalhe do corte amostral de forragem.....	22
3. Sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler System)	24
4. Detalhe da tubulação de subida e do aspersor.....	24
5. Detalhe dos coletores para mensuração da água precipitada dos aspersores	26
6. Croqui da área experimental ilustrando a distribuição de parcelas e subparcelas	28
7. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função das lâminas de água	38
8. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio	38
9. Superfície de resposta do rendimento do capim Tanzânia em função das lâminas de água e níveis de nitrogênio.....	42
10. Eficiência do uso da água do capim Tanzânia em função das lâminas de água	48
11. Eficiência do uso da água do capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio	48
12. Eficiência do uso do nitrogênio no capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio	51
13. Eficiência do uso de nitrogênio no capim Tanzânia em função das lâminas de água.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1. Características físico-químicas do solo da área experimental	20
2. Características de fertilidade do solo da área experimental	20
3. Esquema da análise de variância	27
4. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia, em kg ha ⁻¹ , em função das lâminas de água, em mm, e níveis de nitrogênio, em kg ha ⁻¹	34
5. Resumo da análise de variância do rendimento de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função da água e do nitrogênio.	35
6. Análise de regressão múltipla do rendimento do capim Tanzânia (Y) em função de diferentes lâminas totais de água (W) e níveis de nitrogênio (N), para dez modelos matemáticos	41
7. Produto físico marginal da água para as diferentes lâminas de água (valor superior) e produto físico marginal do nitrogênio (valor inferior) para os diferentes níveis de nitrogênio	44
8. Valores médios da eficiência do uso da água (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) em função das lâminas totais de água e dos níveis de nitrogênio	47
9. Resumo da análise de variância da eficiência do uso da água em função da água e nitrogênio	47
10. Valores médios da eficiência do uso do nitrogênio (kgMS kgNap ⁻¹) em função das lâminas totais de água e níveis de nitrogênio	50

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1 O capim Tanzania	03
2.2 Uso de irrigação em pastagens.....	07
2.3 Adubação nitrogenada em pastagens.....	10
2.4 Uso de irrigação e de adubação nitrogenada em pastagens	14
2.5 Função de resposta.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Caracterização da área experimental.....	19
3.2 Instalação e manejo da pastagem.....	21
3.3 Produção de Forragem	22
3.4 Sistema e manejo da irrigação	23
3.5 Delineamento experimental.....	27
3.6 Função de produção	29
3.7 Produto físico marginal da água e do nitrogênio	31
3.8 Eficiência do uso da água (EUA).....	32
3.9 Eficiência do uso do nitrogênio (EUN).....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

4.1	Rendimento de massa seca de forragem do capim Tanzânia em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio	28
4.2	Superfície de resposta.....	39
4.3	Produtos físicos marginais da água e do nitrogênio	43
4.4	Eficiência do uso da água (EUA).....	45
4.5	Eficiência do uso do nitrogênio (EUN).....	49
5	CONCLUSÕES	52
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	61

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE (2001), a área utilizada com pastagens em nosso país situa-se em cerca de 170 milhões de hectares. Ressaltando-se as áreas de pastagens cultivadas que vêm imprimindo um avanço expressivo do final dos anos 70 ao final da década de 1990, de 20,0% para aproximadamente 50,0% da área total de pastagem. Estas, em 1995, ocupavam 99,95 milhões de hectares contra 29,78 milhões de hectares na década de 70.

A reduzida produtividade das pastagens durante o período de seca é uma das principais causas dos baixos índices de produção dos rebanhos criados a pasto no Brasil, acarretando estacionalidade da produção, tornando-se um fator de amplo aspecto por se relacionar com os diminutos índices de unidade animal por área. Rotineiramente, costuma-se empregar as seguintes vicissitudes: preservar parte da área de pastagem gerada na estação chuvosa para utilização na estação seca; admitir a perda de peso dos animais na estação seca, esperando uma recuperação de forma compensatória na estação chuvosa; diminuir o tamanho do rebanho na tentativa de equalizar a disponibilidade de pasto ou nutrientes com necessidades nutricionais pelo menos de manutenção. A grande maioria dos produtores por utilizar exclusivamente o pasto como fonte alimentar culmina tanto na redução drástica da produção leiteira quanto em uma extensa temporada necessária à produção de animais para abate.

No Brasil, sistemas de pastejo rotacionado em forrageiras tropicais estão sendo utilizados na tentativa de minimizar o efeito do déficit hídrico e conseqüentemente diminuir a oscilação na produtividade, provocada por veranicos, em épocas de crescimento, para regiões cuja temperatura não limita o crescimento da pastagem ou regiões que o principal fator limitante é a água.

A irrigação de pastagens, até bem pouco tempo, era vista como do tipo suplementar. De certo modo, tem essa característica para algumas regiões do Brasil. (Pinheiro et al., 2002). Para a condição do semi-árido brasileiro, a irrigação torna-se fundamental, perdendo seu caráter complementar, já que na sua ausência a produção vegetal torna-se insatisfatória ou até mesmo ausente. No mesmo estudo, Pinheiro et al. (2002) demonstram ser viável economicamente a técnica de irrigação de pastagens no semi-árido nordestino bem como a inviabilidade da utilização de pastagens na condição de sequeiro. A irrigação no Nordeste brasileiro, porém, ainda

carece de estudos para manifestar sua total potencialidade, necessitando de um melhor controle quanto à quantidade de água a ser aplicada, frequência, momentos críticos de aplicação, etc.

Em sistemas de produção intensiva, vários aspectos devem ser observados, dentre eles, a fertilidade do solo e a disponibilidade hídrica. Cantarella et al. (2002) relata que para as gramíneas mais utilizadas no Brasil, mesmo as mais rústicas e menos exigentes em fertilidade do solo, normalmente respondem bem à adição de nutrientes. Gramíneas de clima tropical, na sua grande maioria, apresentam resposta à aplicação de nitrogênio, conforme demonstram resultados de pesquisas desenvolvidas por (Corsi, 1986; Gomes et al., 1987; Primavesi et al., 2001). O nitrogênio desempenha papel fundamental na modulação das respostas das plantas às adubações, embora seja um dos elementos mais ausentes no solo (Pinheiro et al., 2002).

O Estado do Ceará, atualmente com incremento significativo na área irrigada com pastagem, carece de melhores técnicas associadas à irrigação e à adubação, como forma de uma melhor combinação desses fatores de produção, e portanto, na viabilidade técnico-econômica da atividade.

A relação física entre as quantidades utilizadas de um conjunto de insumos e as diversas quantidades físicas que se pode obter de um determinado produto é um conceito básico de função de produção. A função de produção serve como um indicador para a tomada de decisão, podendo se obter um maior rendimento por menor custo em determinadas condições de clima, solo, irrigação, adubação, etc, dando assim condições de se decidir o quê e como cultivar para se obter um máximo retorno econômico (Gomes, 2000).

Em geral os produtores desenvolvem técnicas empíricas que levam à aplicação de água e de fertilizantes às culturas, em excesso, aumentando assim os custos de produção, além dos riscos de lavagem de nutrientes para fora do alcance das raízes das plantas. Dessa forma, urge a necessidade de pesquisas obtidas sob condições locais de solo e clima, que contemplem informações técnicas para imediata utilização dos produtores, visando à maximização da receita líquida com a aplicação em doses corretas desses insumos ou fatores de produção, estabelecendo assim o principal objetivo deste trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia-1)

Zimmer et al. (2002), comentam que no Brasil a área total de pastagens, sejam elas naturais ou cultivadas, gira em torno de 180 milhões de hectare. No que se refere à pastagem cultivada o crescimento anual se intensificou a partir dos anos 70 saindo de um total de 29.782 milhões de hectare para 99.953 milhões em 1995.

O crescimento das pastagens cultivadas resultou, principalmente, da valorização da terra. Com isso, vê-se a necessidade de aumentar a produtividade da pecuária brasileira, fato esse que demanda a obtenção de cultivares mais adaptadas, como exemplo, novas cultivares de *Panicum maximum* Jack (Tanzânia, Mombaça, Aruanã etc.), bem como o desenvolvimento de novas técnicas de produção de pastagens (Silva, 2004).

As pastagens do gênero *Panicum* pertencem à família *Gramineae*, tribo *Paniceae*, proporcionando cerca de 80 gêneros e mais de 1460 espécies, no qual o capim *Panicum maximum* Jacq. origina-se na África tropical, podendo ser achada na sua forma nativa até a África do Sul, apresentando-se como uma espécie pioneira ocupando o solo recém desmatado e em pastagens sob sombra de árvores; no entanto, é na região leste africana que se encontra o maior potencial de diversidade da espécie (Jank, 1995).

Encontram-se distribuídos dentro de uma faixa bastante ampla do globo terrestre com predominância na zona equatorial úmida (20°S a 20°N), e com uma variação de altitude que vai do nível do mar até aproximadamente 2.000 m (Skerman e Riveros, 1992 citado por Soria, 2002).

Apresenta-se sob diversas designações, geradas em função das diferentes cultivares encontradas e distribuídas pelas principais áreas de pastagem. Além da cultivar mais conhecida no Brasil, capim Colômbio, têm-se também as seguintes cultivares: Búfalo, colômbio Deodoro, colômbio de Tangânica, colômbio Sul-africano, Colômbio, Gatton Panic, Green Panic, Guiné, Guinezinho, Makueni, Tobiata, Touceira, Mombaça e Tanzânia (Aronovich, 1995).

O *Panicum maximum* Jacq, devido a sua alta produtividade e ampla adaptabilidade despertou grande interesse tanto entre os pesquisadores quanto os

produtores e a partir da década de 1960, foram coletados diversos acessos promovendo-se a avaliação de várias coleções (Jank, 1995).

Em 1982, o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), recebeu uma coleção de *Panicum maximum* Jacq. através de um convênio firmado entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Institut Français de Recherche Scientifique pour le Developpement en Coopération (ORSTOM), objetivando selecionar os melhores cultivares, visando lançamento direto aos produtores, descrever a variabilidade da coleção para utilização em programas de melhoramento genético e determinar os progenitores masculinos para o início de um programa de melhoramento. Em 1990, o resultado alcançado foi o lançamento da cultivar Tanzânia - 1, mais comumente denominada de Tanzânia, apresentando diferenças agronômicas quando comparados aos cvs. Colômbio e Tobiata, cultivares testemunhas (Mello, 2002).

O capim Tanzânia - 1 é descrito como uma cultura perene, formadora de touceiras, com sistema radicular profundo, de 45,0 a 150,0 cm (Molinari, 1952); apresentando altura de 60,0 a 200,0 cm; limbos foliares verdes escuros, com 35,0 mm de largura, terminando em pontas finas; as panículas entre 12,0 e 40,0 cm de altura e as espiguetas abertas entre 3,0 e 3,5 mm de longitude (Skerman e Riveros, 1992); lâminas e bainhas são glabras, sem serosidade. Os colmos são levemente arroxeados, as inflorescências são do tipo panícula, com ramificações primárias longas, e secundárias longas apenas na base. As espiguetas são arroxeadas, glabras e uniformemente distribuídas (Santos, 2002).

A temperatura afeta principalmente o crescimento das plantas no decorrer das estações do ano, através de sua variação temporal, no qual com a sua diminuição nos períodos de outono e inverno, vem influenciar de modo direto e indireto o metabolismo das plantas, afetando principalmente a fotossíntese e absorção e translocação de nutrientes e quando a umidade do solo não é limitante (Eastin e Sullivan, 1984; Silva, 1995, apud Soria, 2002).

A umidade do solo representa fator importante juntamente com a temperatura. A distribuição das diferentes tribos estão relacionadas com áreas nas quais apresentam índices pluviométricos anuais superiores a 780 mm e por apresentarem raízes não muito profundas, são plantas que não toleram secas intensas. Apresentam coeficientes de transpiração variáveis de 300 a 400 mm e quando apresentam deficiência de nutrientes ou em altas temperaturas podem

chegar de 700 a 800 mm por estação de crescimento (Skerman e Riveros, 1992 citados por Soria, 2002). Esse coeficiente de transpiração é um índice que mede a ineficiência de uso da água, no qual plantas sem déficits hídricos e bem adubadas, produziram mais por volume de água consumido.

A luz solar pode afetar o desenvolvimento e florescimento das gramíneas, de modo que o seu efeito poderia ser dividido em três diferentes componentes: fotoperiodismo, qualidade de luz e a irradiação. Estes três componentes interagem durante todo o crescimento da planta, principalmente no momento de florescimento (Soria, 2002).

Entre os cultivares da espécie *Panicum maximum*, o plantio de Tanzânia - 1 tem sido bastante estimulado devido suas extraordinárias características agronômicas e de consumo pelos animais (Aronovich, 1995). Conforme Soria (2002), atualmente está descrita como uma das gramíneas mais difundidas no Brasil, sendo em área a principal gramínea cultivada em pastagens.

Jank (1995), estudando o melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*, demonstrou que o Tanzânia produziu $33 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca total. Proporcionando uma produtividade 86% maior ($26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca foliar) do que a do Colômbio ($14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca foliar), com vigor de rebrota 70,0% superior e 29,0% a mais em percentagem de folhas. A distribuição da produção ao longo do ano também foi mais uniforme do que a do Colômbio e semelhante a do Tobiatã. Apesar de todas as cultivares sofrerem redução na produção de um ano para o outro (se os nutrientes exportados não forem repostos), essa cultivar teve sua produção reduzida em 48,0% enquanto que o Colômbio reduziu em 65,0%.

O Tanzânia também produziu mais no solo adubado, além de perder menos quando sem adubação (21,0% a menos, enquanto que o Colômbio perdeu 50,0%), indicando que, apesar de exigente em fertilidade do solo, é menos sensível que o Colômbio (Mello, 2002).

Em experimento comparando a adaptação e produtividade de três cultivares de *Panicum maximum* (Tanzânia, Mombaça e Massai) quanto ao desempenho e produtividade animal, Euclides et al. (2000), descreveram que as cultivares Tanzânia e Mombaça resultaram em maiores desempenhos e produtividades ao longo do ano, de garrotes com peso vivo de 250,0 kg, 455 e 445 g

novilho⁻¹ dia⁻¹ e, 725 e 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, quando confrontados a cv. Massai (270,0 g novilho⁻¹ dia⁻¹ e 620,0 kg ha⁻¹ ano).

Aguiar (2000), apud Mello (2002), pesquisando o uso de forrageiras do grupo *Panicum* em pastejo rotacionado para vacas leiteiras, evidenciou que ao explorar uma produtividade média da pastagem de 37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, implantada em 70% da área de uma propriedade, mais 30% com capineira ou cana de açúcar, pode se alcançar valores muito acima da média atual da pecuária leiteira nacional, tais como, taxa de lotação média de 5,77 UA ha⁻¹, taxa de lotação de vacas em lactação de 3 vacas ha⁻¹, produções de leite de 10 L vaca⁻¹ dia⁻¹, 30 L ha⁻¹ dia⁻¹ e 11.000 L ha⁻¹ ano⁻¹.

Vasconcelos et al. (2005) avaliaram a terminação de cordeiros em pastagem de capim Gramão (*Cynodon dactylon*) e capim Tanzânia (*Panicum maximum*) em Sobral, Ce, sob duas taxas de lotação (40 e 60 animais ha⁻¹) para um período de terminação de 83 dias. Obteve, na venda de animais em pé, lucros de R\$ 1,58 por cordeiro e R\$ 3,77 por cordeiro, com um lucro anual de R\$ 94,79 ha⁻¹ e de R\$ 233,23 ha⁻¹, respectivamente, na terminação dos cordeiros na pastagem de gramão. E nas áreas pastejadas com o capim Tanzânia, conseguiu lucrar R\$ 4,31 por cordeiro e R\$ 2,64 por cordeiro, atingindo-se um lucro anual de R\$ 198,79 ha⁻¹ e R\$ 891,95 ha⁻¹, respectivamente. Saliendo-se que cada hectare permitiu a terminação de 4,4 lotes por ano.

2.2. Uso de irrigação em pastagens

A água além de ser fundamental aos seres vivos, é mister na agricultura irrigada, por se tratar da substância mais absorvida pelos vegetais, devido participar de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos.

A constância no provimento de água às plantas constitui-se como um dos principais fatores na sustentação de taxas de crescimento significativas, uma vez que tal insumo é um dos responsáveis pela sazonalidade na produção de forragem.

Cooper (1970) mencionado por Corsi e Nascimento Júnior (1994), afirma que a falta estacional de água é um dos mais importantes fatores climáticos, limitando a produção de forragens nos trópicos e sub-trópicos.

A irrigação em pastagens é preconizada para atender a duas finalidades: a primeira seria a de diminuir o efeito da sazonalidade com o objetivo de aumentar a produção na estação seca e com isso alcançar maior equilíbrio durante o ano; a segunda seria a de obter, simplesmente, aumento de produção de matéria seca durante o ano, independente da sua sazonalidade (Hillesheim, 1994 apud Silva, 2003).

Um dos precursores na avaliação da prática de irrigação em pastagem no Brasil foi Ghelfi Filho (1972), pesquisando capim Elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.), ressaltou o incremento na produtividade no período seco em 26,0% quando comparado com a testemunha, encontrando resultados semelhantes, em 1976, ao trabalhar com o capim Colômbio.

Em experimento com capim Elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) irrigado, foi constatado o efeito linear da produção em função da lâmina de água aplicada na estação seca, nos meses de maio a setembro, quando a deficiência hídrica na região em questão restringe acentuadamente a produção forrageira, porquanto fatores como temperatura e luminosidade permaneceram adequados à produção de plantas tropicais (Maldonado et al., 1997).

Soria (2002), explica a alocação da água para uso em irrigação de pastagens baseando-se em um maior retorno líquido de produção animal em relação a outros manejos. A possibilidade de utilização de área produtiva menor com possibilidade de uso de água de menor qualidade e a promoção de um efetivo período de crescimento durante as estações mais secas do ano.

Silva (2004), cita que o uso de água de qualidade inferior necessita ainda de estudos sobre a melhor forma de sua utilização, para que não venha a comprometer o funcionamento normal do sistema de irrigação utilizado, bem como o respeito dos princípios ecológicos evitando-se a contaminação do solo, do lençol freático e dos alimentos oriundos daquela unidade de produção.

Nas regiões em que não ocorre restrição no tocante a fotoperíodo e temperatura e onde a oferta hídrica é limítrofe, a utilização da técnica de irrigação corrobora na sustentação produtiva de forragem perdurando o ano todo, conforme citam Balsalobre et al. (2003), em que ao aplicar-se água à cultura, ocorre a redução ou eliminação no estresse hídrico desta e sendo assim, em regiões onde o fator determinante da produção seja a oferta hídrica, esta aumentaria a produção de forragem, viabilizando a produção ao longo de todo o ano.

Rassini (2002), divulgou que o emprego da irrigação no capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.), na região Sudeste do Brasil, aprimorou a distribuição de forragem ao longo do ano. Nas estações de outono/inverno, com a irrigação, atingiu 53% da produção da safra (11,7 Mg ha⁻¹ de matéria seca total). Contrapondo, sem uso de irrigação, a 26,0% da produção da safra (4,1 Mg ha⁻¹ de matéria seca total).

Maya (2003), relata que apenas a utilização da irrigação é insatisfatória para proporcionar incremento na produção forrageira ao longo de todo o ano, pois além do déficit hídrico, deve-se atentar para fatores limítrofes à produção vegetal como nutrientes, fotoperiodismo e temperatura.

Soria (2002), comentando o uso da adubação no aumento da produção das gramíneas forrageiras, atentou que a forma que a planta consegue empregar os nutrientes disponíveis no solo é decorrente da disponibilidade hídrica.

O processo de irrigação deve ser tecnicamente administrado de maneira a prover as necessidades hídricas da cultura, ressaltando-se o emprego, qualitativamente e quantitativamente, do fornecimento de água, bem como local adequado e ocasião indispensável à cultura, além de respeitar-se os fatores climáticos, a espécie forrageira e o custo, culminando numa atividade ajustada ecologicamente e economicamente viável.

Monteiro (2004), cita que o manejo adequado da irrigação consiste em se aplicar água ao solo, no momento oportuno e em quantidade suficiente para atender as necessidades hídricas das culturas. Este procedimento é de fundamental importância para a obtenção de altos rendimentos com economia de

água e de energia. Para que isso ocorra, há necessidade de uso de métodos de campo que determinem direta ou indiretamente a disponibilidade de água no solo para uma determinada cultura.

O manejo da irrigação é a atividade de planejamento e tomada de decisão que o agricultor deve assumir durante todo o desenvolvimento da cultura (Jensen, 1983). O momento da irrigação pode ser definido pelo sintoma de deficiência de água na planta, como também ser determinado através da disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração real, pelo turno de rega e pelo balanço de água no solo (Bernardo, 1995).

Uma das determinações mais práticas no manejo da irrigação para a medição de evaporação, é através da utilização do tanque Classe "A", por possibilitar aquisição *in loco* dos dados, operacionalização mais fácil quando comparada a outros métodos, além de ter seu custo relativamente pequeno, corroborando assim em economia de água.

Para Silva et al. (1998), o manejo da água baseado em medida de evaporação, utilizando o tanque Classe "A", pode ser adotado pelo produtor sem grandes dificuldades, pois o instrumental requerido é relativamente simples e de baixo custo.

2.3 Adubação nitrogenada em pastagens

Martha Júnior e Vilela (2002) comentam que a grande maioria das pastagens no Brasil está situada em áreas de baixa fertilidade química, geralmente apresentando capacidade reduzida de fornecimento necessário de nutrientes para o desenvolvimento das plantas forrageiras cultivadas, como também apresentando características limitantes ao crescimento vegetal tais como acidez elevada e níveis tóxicos de alumínio e manganês, concluindo-se que a produção forrageira das gramíneas tropicais, com falta de fertilizantes e corretivos, fica bastante aquém do potencial produtivo.

Lourenço (2004), relata que as gramíneas cultivadas para pastagem em nosso País, respondem habitualmente bem quando adubadas, entretanto na maior parte das glebas rurais destinadas à produção forrageira ocorre a não utilização ou reduzido uso de corretivos e fertilizantes.

De acordo com Cantarella et al. (2002), adubações conservadoras são adequadas à maioria dos produtores na melhoria significativa do uso de pastagens, avaliando resposta econômica aceitável, sem provocar grandes investimentos. Entretanto, em sistemas de produção com maior intensificação na disposição de produção, devem escolher por um manejo intensivo das forrageiras e aproveitar as altas respostas das gramíneas à adubação.

Na análise do comportamento de uma cultura agrícola do ponto de vista agrônomo, o uso da tecnologia dos fertilizantes é amplamente recomendável, em razão dos elevados diferenciais de rendimento físico que proporciona, desde que, tenha sido feita a contrapartida do melhoramento genético da planta, no sentido de torná-la apta a absorver e responder, com altos rendimentos, aos principais nutrientes utilizados. Do ponto de vista econômico, implica que o lucro auferido dessa exploração deva ser maximizado, ou que os fatores envolvidos no processo produtivo devam ser de tal modo combinados que determinem a máxima eficiência econômica (Gomes, 2000).

A produção forrageira, como resultado dos processos de crescimento e desenvolvimento, pode ser substancialmente melhorada pelo aumento do uso de fertilizantes, particularmente o nitrogênio (Garcez Neto, 2001).

Soria (2002) referindo-se a Jarvis (1998) comenta que uma das peças-chave no manejo de pastagens tem sido o uso de fertilizantes nitrogenados. Quando

a planta cresce em um ambiente no qual não apresenta fatores limitantes para o seu desenvolvimento (fertilidade de solo ou climáticos), tem-se encontrado resposta positiva à aplicação de fertilizantes nitrogenados. Monteiro (1995), confirma que em condições edafo-climáticas normais e mediante a não ocorrência de outra limitação, seguramente o suprimento de nitrogênio é o fator de maior impacto na produtividade da planta forrageira bem estabelecida e dos animais que a utilizam.

Chandler (1973) apud Monteiro (1995) demonstrou que comparado a outros seis capins, o potencial do *P. maximum* propiciou expressiva resposta quando na aplicação de doses de nitrogênio de 0 a 1792 kg ha⁻¹. Nas condições de experimento, o capim Colonião mostrou-se mais produtivo que os capins Gordura e Pangola, mas inferior ao capim Elefante em altos níveis de adubação.

Monteiro (1995), mencionando Monteiro e Werner (1977) relata que obtiveram aumento significativo na produção de matéria seca aplicando 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio em uma área com capim Colonião estabelecido. Verificou-se que na média dos cinco períodos de crescimento avaliados durante o ano, a taxa de crescimento de massa seca do capim aumentou de 14,36 para 31,23 kg ha⁻¹ dia⁻¹ decorrente da adubação nitrogenada.

Primavesi et al. (2001) constataram o potencial de resposta à adubação nitrogenada na produção de cinco cortes no capim Coast Cross (*C. dactylon*) passando de 4 Mg ha⁻¹ (testemunha) para 19 Mg ha⁻¹ quando aplicados 1000 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Martha Jr. (2003) citando Euclides et al. (1997) e Euclides Filho et al. (1999), comenta que em experimento de pastejo com o capim Tanzânia, com abrandada utilização de nitrogênio (até 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹) observou-se produtividade de até 620 kg de ganho de peso ha⁻¹ ano⁻¹. Nesses trabalhos, a taxa de lotação e o ganho de peso diário no período chuvoso oscilou de 1,4 a 3,2 UA ha⁻¹ e de 540 a 700 g animal⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. No período seco, a taxa de lotação e o ganho de peso diário variaram de 1,0 a 1,8 UA ha⁻¹ e de 100 a 295 g animal⁻¹ dia⁻¹, respectivamente.

Incorporando uma maior quantidade de adubação nitrogenada (de 200 a 530 kg ha⁻¹ ano⁻¹), as produtividades obtidas, no pastejo de capim Tanzânia, têm sido superiores a 1.000 kg de ganho de peso ha⁻¹ ano⁻¹, ocorrendo casos em que, com adubação nitrogenada de 430 kg ha⁻¹ ano⁻¹, registrou-se um ganho de peso de 1.670 kg ha⁻¹ ano. Nesses experimentos, a taxa de lotação média nas águas e na

seca, respectivamente, foi de 6,3 e 2,4 UA ha⁻¹, com ganhos de peso médios diários de 710 g animal⁻¹ dia⁻¹ e de 610 g animal⁻¹ dia⁻¹, respectivamente no verão e no inverno (Martha Jr., 2003 referindo-se a Corrêa, 1999; Tosi, 1999; Aguiar et al., 2001; Aguiar et al., 2002 e Maya, 2003).

A produção de matéria seca de gramíneas em resposta à adubação com níveis crescentes de nitrogênio é normalmente linear dentro de certos limites, que variam principalmente com o potencial genético das diferentes gramíneas, com a frequência de cortes e com as condições climáticas (Boin, 1986).

Estudando a composição bromatológica do capim mombaça submetido a diferentes níveis de nitrogênio, Setti et al. (2004), obtiveram como resultado um aumento linear da produção de matéria seca com os diferentes níveis de nitrogênio aplicados no solo na forma de uréia. Ainda obteve um acréscimo nos teores de proteína bruta com doses crescentes de nitrogênio até o nível de 262 kg ha⁻¹, resultado do estímulo do crescimento de tecidos novos.

Gargantini (2005) citando Euclides (1995), comenta que não há dúvida que a adubação nitrogenada aumenta a produtividade das pastagens, entretanto a influência sobre o valor alimentício é complexa e variada e será função dos efeitos benéficos e prejudiciais do nitrogênio sobre a pastagem. Um dos efeitos benéficos é estimular o crescimento de tecidos novos que possuem altos teores de proteína bruta e baixos de fibra em detergente neutro e lignina. Entretanto, o nitrogênio acelera o amadurecimento, o acúmulo de caule e o florescimento da planta. A menos que o manejo corrija o índice de área foliar, haverá um acréscimo na taxa de senescência das folhas e, conseqüentemente, acúmulo de material morto nesta pastagem.

O aumento de produção das plantas forrageiras tropicais é modulado pela adubação nitrogenada, desde que haja equilíbrio entre os outros nutrientes, em níveis elevados e recomenda-se a sua aplicação de maneira imediata após cada pastejo ou corte, durante a estação de crescimento, melhorando dessa maneira a eficiência de sua utilização (Camargo et al., 2001).

A adubação incrementa vantagens que melhoram a eficiência do sistema como um todo, evitando maior deterioração das pastagens, deixando sobras de forragem que poderão ser fechadas nas águas ou conservadas na forma de feno ou silagem para uso na seca, assim como aumentar a disponibilidade de forragem no início das secas e no início das águas, além do que, uma maior reciclagem dos

nutrientes em sistemas intensivos faz com que a adubação seja reduzida ao transcorrer do tempo, sem afetar a produção (Gomide, 1989).

2.4 Uso de irrigação e de adubação nitrogenada em pastagens

Para produzir forragem significativamente, as pastagens de gramíneas tropicais necessitam essencialmente de altas temperaturas, fotoperíodo maior que 12 horas, intensa luminosidade, uma boa fertilidade do solo e água em quantidade e qualidade oportunas. Dentre estes fatores, os dois últimos dependem diretamente do Homem.

O uso da adubação nitrogenada associada à irrigação em pastagens na região do Semi-árido nordestino, constitui peça fundamental para eliminar o efeito sazonal das plantas forrageiras, restritivo ao crescimento das pastagens, resultando em aumentos na disponibilidade e valor nutritivo destas, bem como a possibilidade de obter-se maior viabilidade técnico-econômica quando comparadas às outras regiões em que esta associação nem sempre é bem-sucedida dada as demais condições climáticas.

De acordo com Soria (2002), a resposta à associação adubação nitrogenada e irrigação tem sido encontrada, tanto no período da seca como no período das chuvas, quando esta visa evitar períodos de “déficit” hídrico para a planta no verão.

Gargantini (2005), pesquisando a irrigação e adubação nitrogenada em capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) na região Oeste do Estado de São Paulo, com quatro reposições (0, 50, 100 e 150%) da evapotranspiração do tanque classe A e quatro níveis de adubação nitrogenada (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio por corte), verificou resposta positiva da combinação da irrigação suplementar e adubação nitrogenada sobre o aumento da produtividade de matéria seca e da redução da sazonalidade de produção de forragem.

Soria et al. (2003), com o objetivo de estudar o efeito da lâmina total de água aplicada (0, 30, 70, 100 e 150% de capacidade de campo), da adubação nitrogenada (0, 100, 275, 756 e 2079 kg N ha⁻¹ ano⁻¹) e da interação entre elas sobre os fatores de crescimento, de produção, de eficiência de uso e qualidade da forragem durante um ciclo de crescimento no capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) verificaram que as maiores lâminas de irrigação proporcionaram efeitos negativos sobre a produção de massa seca. O uso de níveis de nitrogênio superiores a 756 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ não proporcionou efeito crescente sobre a produção de massa seca, sendo que os percentuais de incremento nas produções pelo uso de

nitrogênio até a máxima produção de massa seca total e foliar, mostraram ser de 15, 19, 29 e 20% (16% foliar), quando usados as doses de 100, 275, 756 e 1.769 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Lourenço (2004) mencionando Euclides et al. (2001) e Penati (2002), relata que experimentos conduzidos com capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.), quando irrigado e adubado com níveis elevados de nitrogênio (80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N em cada ciclo de pastejo), durante o período seco, a taxa de lotação animal média foi de 3,7 UA ha⁻¹ e estando em condição de sequeiro, com níveis moderados de nitrogênio (< 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), a taxa de lotação sofreu variação de 1,0 a 1,8 UA ha⁻¹.

Em estudo com *P. maximum* e *P. purpurancens* Raddi, Vasquez (1965) apud Soria (2002), verificou a interação significativa com o uso de nitrogênio e irrigação no aumento da produção, com maiores resultados quando se utilizou 448,73 kgN ha⁻¹ ano⁻¹. As produções das plantas forrageiras no período seco se equivaleram a 5.549,15 kg de matéria seca ha⁻¹. O nitrogênio aumentou o conteúdo de proteína na forragem, sendo que este foi menor com o uso de irrigação. O significado prático para isso seria que ao se usar irrigação, as forragens devem ser adubadas com nitrogênio para que consigam manter a sua qualidade protéica.

Gargantini (2005) fazendo referência a Souza (2003) descreve que em estudos sobre os efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a produção de matéria seca e qualidade da forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq., observou-se um acréscimo na produção de matéria seca de 29,4% para o capim irrigado no período de um ano, nas condições climáticas da região de Ilha Solteira. Viu-se, também, que a irrigação deve ser utilizada no verão em períodos de estiagem, e especialmente, no final da seca quando a temperatura começa a se elevar e o fotoperíodo não é mais limitante.

Rodrigues et al. (2002) estudando os efeitos de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre a produtividade de matéria seca de três gramíneas forrageiras em solos de Tabuleiros Litorâneos, recomendaram o nível de irrigação de 20% da evaporação do tanque Classe A, por apresentar maior economia de água, com reflexo direto no custo final da irrigação.

Lopes (2006), avaliando o potencial de produção de matéria seca e proteína bruta do capim Tanzânia, sob três lâminas de irrigação (200, 600 e 1000 mm) e três níveis de adubação nitrogenada (100, 200 e 300 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) constatou

que não houve efeito significativo para lâmina de água e a interação lâmina de água e adubação nitrogenada na produção de matéria seca, sendo observado apenas efeito significativo na adubação nitrogenada.

2.5. Função de resposta

Vários fatores referentes ao solo, à planta e a atmosfera interagem entre si determinando a produção das culturas agrícolas. Certamente existe uma relação funcional entre fatores e a produção das culturas (função de resposta ao fator), característica de cada condição ambiental (Hexem e Heady, 1978).

A função de resposta ou de produção das culturas é uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, para dada tecnologia conhecida. Assim, ao se supor que a função de resposta representa o máximo que se pode obter com o uso de cada combinação de insumos, está se definindo uma relação funcional entre os insumos e o produto (Frizzone, 1993 citado por Monteiro, 2004).

De acordo com Aguiar (2005), a combinação dos recursos para obtenção de um determinado produto agrícola, de um modo geral, pode ser feita de diversas maneiras, aumentando ou diminuindo os recursos utilizados, considerando o livre acesso ao mercado de fatores. Assim, a quantidade produzida dependerá da quantidade de recursos utilizados e da eficiência das técnicas utilizadas. Completa, ainda, ressaltando que a relação entre o processo de conversão de diversos fatores de produção (recursos) em um determinado produto é uma função de produção, cuja relação insumo-produto pode ser contínua ou descontínua.

Monteiro (2004) comenta que existem diferentes aplicações das funções de produção, tais como, para determinar a relação entre a quantidade de água aplicada e os benefícios resultantes, na previsão de safra e estudar como diferentes ambientes podem alterar a produção das culturas.

Gomes (2000) citando Frizzone et al. (1987) comentam que dos fatores complementares de produção, a água e os nutrientes são aqueles que limitam os rendimentos com maior frequência. Deste modo, o controle da água e da fertilidade do solo constitui o critério preponderante para o êxito da agricultura. O uso das funções de resposta permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura.

Monteiro (2004) fazendo referência a Doorenbos e Kassan (1979), explica que muitas funções de produção obtidas pelos pesquisadores são relações lineares. Uma razão provável é que a produtividade é relacionada linearmente com a evapotranspiração. Durante a definição do experimento, pode acontecer que os

tratamentos não contemplem um domínio suficiente amplo para permitir a obtenção de funções não lineares, logo, explora-se a região da curva cuja resposta seja linear.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida no período de 04 de setembro de 2004 a 02 de fevereiro de 2005 em uma área de 24,0m x 41,0m (Figura 1) no setor irrigado AT-1 da Fazenda Experimental Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste, Ceará, distando 110,0 km de Fortaleza com altitude de 47 metros e situando-se geograficamente entre os paralelos 3º 45' e 4º 00' de latitude Sul e os meridianos 39º 15' e 39º 30' de longitude Oeste.



Figura 1 – Vista da área experimental, FEVC, Pentecoste, Ceará.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AW', tropical chuvoso, apresentando precipitação média anual de 806,5 mm distribuída entre os meses de janeiro a abril, com umidade relativa do ar média de 73,8% e temperatura média de 28,0°C.

O solo da área do experimento é classificado como Neossolo flúvico, apresentando relevo tipicamente plano. As características físico-químicas na

camada de 0 a 0,30 m e de fertilidade estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo da área experimental

Composição Granulométrica (%)				Classe Textural	Densidade do solo (kg.m ⁻³)	pH	CE (dS/m)	CC (%)	PMP (%)
Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila						
18	55	21	6	Franco arenoso	1400	6,8	0,72	11,2	4,4
Complexo Sortivo (mE/100g)									
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	S	T		
4,80	2,70	0,53	0,21	0,50	0,00	8,20	8,70		

Tabela 2 - Características de fertilidade do solo da área experimental

Fósforo (mg. dm ⁻³)	Potássio (mg. dm ⁻³)	Ca + Mg (cmol _c . dm ⁻³)	Ca (cmol _c . dm ⁻³)
140	347	9,9	5,8
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	Al (cmol _c .dm ⁻³)	Sódio (mg. dm ⁻³)	pH
4,1	0,0	34	6,6

3.2 Instalação e manejo da pastagem

O experimento foi realizado em uma área de 0,15 ha, preparada em agosto de 2004 com roçagem e gradagem. Conforme o resultado da análise do solo, não foi necessário à realização de calagem para correção do pH.

Logo após a instalação do sistema de irrigação, procedeu-se o início da semeadura do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.), sendo este realizado em agosto de 2004, com sementes certificadas, manualmente e em covas espaçadas de 0,20 m x 0,20 m à profundidade de 0,01 m.

No decorrer do ciclo da cultura foram efetuados arranquio manual, uso de herbicida a base de 2,4-D, sal trietanolamina (Tordon e DMA) e três capinas manuais visando o controle de plantas invasoras, impedindo a concorrência com a cultura por água e nutrientes.

Realizou-se também tratamento fitossanitário utilizando inseticida à base de metamidafós (Folisuper) no controle de ataque de lagartas.

Aos trinta dias após a semeadura foi promovida uma adubação orgânica com 1,0 tonelada de esterco bovino curtido e quinze dias após (45º dia após a semeadura) foi efetuada a adubação de uniformização, com 34,0 kg de uréia, ambas manualmente a lanço.

O capim ficou em crescimento livre até o 65º dia após a semeadura, quando foi efetuado, manualmente, o corte de uniformização numa altura aproximada de 0,28 m do solo.

A adubação nitrogenada variou de acordo com os tratamentos, sendo fracionada pela metade no primeiro e décimo dia após o corte. Foi aplicada via rega manual sendo diluída em 10,0 L de água por subparcela, utilizando como fonte de nitrogênio uréia.

3.3 Produção de forragem

Fundamentado em resultados obtidos por Silva (2004), o primeiro corte foi realizado 21 dias após o corte de uniformização (no 86º dia após a semeadura), intervalo de tempo este utilizado nos três cortes posteriores. O procedimento foi o de se coletar em cada uma das sub-parcelas, uma amostra da fitomassa contida em uma moldura de madeira de 1,0 m² lançada aleatoriamente, na qual ocorria o corte da forragem a cerca de 0,28 m de altura do solo (Figura 2).



Figura 2 – Detalhe do corte amostral de forragem.

Para determinação da massa verde de forragem, estas eram encaminhadas ao laboratório para pesagem. Para se determinar a massa seca de forragem foi retirada uma sub-amostra representativa de fitomassa de cada sub-parcela (cerca de 0,5 kg), identificadas e acondicionadas em saco de papel perfurado para procedimento de pré-secagem em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C por 72 horas até atingir o peso seco constante. Finalmente, foi realizada uma pesagem final do material usando uma balança com precisão de 0,1 mg, determinando a quantidade de matéria seca.

3.4 Sistema e manejo da irrigação

Para obtenção de lâminas diferenciadas, na aplicação da água foi utilizado um sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler System), de acordo com metodologia desenvolvida por Hanks et al. (1976) (Figura 3), sob média pressão (Pressão de serviço de 25 mca), segundo Gomes (1999). Utilizou-se um conjunto moto bomba composto de motor elétrico, potência de 5,0 cv e bomba centrífuga, com vazões mínima e máxima de 8.000 e 20.000 L h⁻¹, respectivamente, cinco aspersores modelo NY 25 de ¾" com bocais verde e cinza com vazão de 0,668 m³ h⁻¹, de fabricação da Agropolo e tubo de subida de 1,00 m de altura (Figura 4), disposto no espaçamento de 10,0 m na linha de aspersores.

O abastecimento do sistema provinha da água de um canal terciário que por sua vez é abastecido pelo açude General Sampaio, cuja classificação de qualidade da água para irrigação proposta por Richards (1954), apresenta alto risco de salinidade (C₃), mas não oferece risco de sodificação (S₁).

No período compreendido da semeadura até o estabelecimento da cultura, a área era irrigada diariamente, objetivando-se manter um teor de umidade adequado para garantir uma boa germinação e desenvolvimento inicial das plantas.

A intensidade de aplicação (I.A.) foi calculada através de três testes medindo-se a água precipitada por uma hora em coletores instalados no centro das parcelas W₃ (situados a 3,75 m da linha dos aspersores) resultando em uma I.A. de 5,0 mm h⁻¹ sendo este valor utilizado como referência para estimativa do tempo de irrigação.



Figura 3 – Sistema de aspersão em linha (Line Source Sprinkler System)



Figura 4 – Detalhe da tubulação de subida e do aspersor.

O controle da irrigação foi estabelecido de acordo com os tratamentos, ficando a parcela W_3 como referência para o cálculo da lâmina de água a aplicar, sendo baseada na evaporação do tanque Classe "A" (ECA), instalado em uma área vizinha a do experimento. A frequência de irrigação era de três dias, sendo o tempo de irrigação (TI_{RR}) calculado pela equação (1):

$$TI_{RR} = \frac{\sum ECA_{3d}}{IA} \quad (1)$$

em que,

TI_{RR} → tempo de irrigação, em horas;

$\sum ECA_{3d}$ → evaporação do tanque Classe A no período de três dias, em mm;

IA → intensidade de precipitação média padrão, em mm h^{-1} .

Após o corte de uniformização, foram instalados 64 (sessenta e quatro) coletores, locados exatamente no centro de cada subparcela a uma altura de 0,80 m do solo para mensurar a água aplicada na irrigação (Figura 5). Ao término de cada rega, fazia-se a leitura imediata do volume coletado com o auxílio de uma proveta graduada, calculando-se a lâmina precipitada através da equação (2).

$$L = \frac{V}{A} \quad (2)$$

em que:

L → lâmina média aplicada, em mm;

V → volume de água coletada, em L;

A → área do coletor, em m^2 .

O horário de irrigação ocorria sempre entre 0:00 e 5:00 h, como forma de minimizar os efeitos de deriva pelo vento.



Figura 5 – Detalhe dos coletores para mensuração da água precipitada dos aspersores.

3.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, composto de quatro blocos, quatro tratamentos primários compreendidos nas parcelas e quatro tratamentos secundários nas subparcelas, conforme croqui ilustrado na Figura 6.

Os tratamentos compuseram-se da combinação de quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação nitrogenada. As lâminas de irrigação W_1 , W_2 , W_3 e W_4 , correspondiam respectivamente a 169,3; 280,8; 462,4 e 517,8 mm e os níveis de nitrogênio, N_0 , N_1 , N_2 e N_3 , a 0; 300; 600 e 1.200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, respectivamente.

As 16 parcelas apresentavam 50,0 m² (2,50 m x 20,0 m) e as 64 subparcelas tinham medições de 2,50 m x 5,0 m (12,5 m²), apresentando uma área útil de 6,0 m².

A Tabela 3 mostra o esquema da análise de variância associada ao delineamento experimental.

Tabela 3 - Esquema da análise de variância

Causa da Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Prob>F
Lâminas (W)	W – 1				
Blocos	J – 1				
Resíduo (A)	(W-1)(J-1)				
Parcelas	WJ-1				
Níveis de Nitrogênio(N)	N-1				
W x N	(W-1)(N-1)				
Resíduo(B)					
Total	WJN-1				

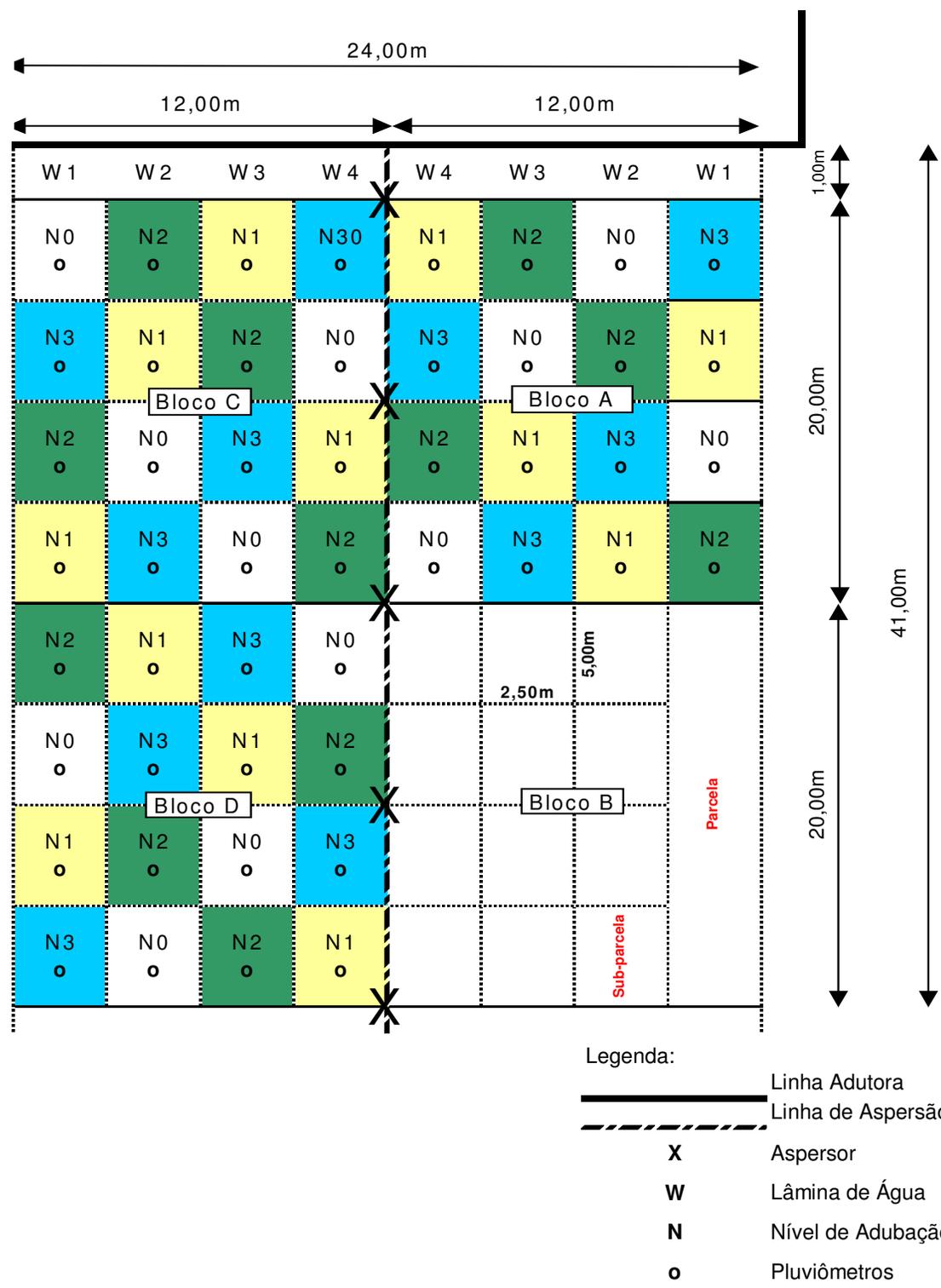


Figura 6 – Croqui da área experimental ilustrando a distribuição de parcelas e subparcelas

3.6 Função de produção

A água e os nutrientes, dentre os fatores complementares de produção, são os que com maior frequência restringem os rendimentos. Sendo assim, o domínio da água como da fertilidade do solo estabelecem o critério principal para o êxito da agricultura. A utilização das funções de resposta permite em descobrir recursos viáveis na otimização destes fatores na agricultura (Frizzone, 1999).

Frizzone (1986) cita que na obtenção de uma função de produção deve-se fazer uma análise de regressão entre uma ou mais variáveis independentes e uma variável dependente, utilizando-se de um modelo estatístico que represente esta relação.

Neste trabalho, as variáveis independentes foram formadas pelos fatores de produção água (W) e nitrogênio (N) e, a variável dependente como a produtividade da cultura (Y). Para alcançar a função de produção testaram-se dez modelos estatísticos que, segundo Hexem & Heady (1978) e Heady & Dillon (1961), referenciados por Aguiar (1989), que se mostraram muito aceitáveis a partir de pesquisas de campo para conceber uma determinada função de produção de uma cultura.

Dentre estes modelos, testados a partir de análise de regressão utilizando-se o software SAS SYSTEM, escolhe-se o que melhor se ajustar aos dados do experimento, tendo em vista os coeficientes de determinação r^2 e r^2 ajustado, o valor do teste F da análise de variância, os valores do teste t para todos os coeficientes e os sinais das variáveis dos modelos analisados. Os modelos estatísticos testados foram:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^{0,5} + b_4N^{0,5} + b_5W^{0,5}N^{0,5} + e_i \quad (03)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^{0,5} + b_4N^{0,5} + b_5WN + e_i \quad (04)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^{0,5} + b_4N^{0,5} + e_i \quad (05)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^2 + b_4N^2 + b_5WN + e_i \quad (06)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^2 + b_4N^2 + e_i \quad (07)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N + b_3W^{1,5} - b_4N^{1,5} + b_5WN + e_i \quad (08)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W + b_2N - b_3W^{1,5} - b_4N^{1,5} + e_i \quad (09)$$

$$\hat{Y} = b_0 + b_1W - b_2W^2 - b_3N^2 + e_i \quad (10)$$

$$\hat{Y} = b_1W + b_2N - b_3W^2 - b_4N^2 + b_5WN + e_i \quad (11)$$

$$\hat{Y} = b_1W + b_2N - b_3W^2 - b_4N^2 + e_i \quad (12)$$

em que,

Y → produtividade do capim Tanzânia, em Mg ha⁻¹;

W → lâmina de água, em mm;

N → níveis de adubação nitrogenada, em kg ha⁻¹;

b₀, b₁, b₂, b₃, b₄ e b₅ → são parâmetros de ajuste.

3.7 Produto físico marginal da água e do nitrogênio

Varian (1994), descreve o produto físico marginal como sendo o produto adicional obtido ao usar “uma” unidade adicional do fator. Na medida em que seja relativamente pequena em comparação com a quantidade total do fator que esteja utilizando, isto será satisfatório. Salienta ainda que o produto marginal é uma taxa referente a quantidade adicional de produto por unidade de insumo adicional.

É concebido por meio da derivada primeira da função de produção em relação ao fator considerado e é representado pela equação:

$$PMg(f) = \frac{\partial Y}{\partial f} \quad (13)$$

em que,

$PMg(f)$ → é o produto físico marginal do fator considerado;

$\frac{\partial Y}{\partial f}$ → é a derivada da função em relação ao fator considerado.

Para fins de análise foram obtidos os seguintes produtos marginais:

- produtos físicos marginais da água para as diferentes lâminas aplicadas correspondentes a cada dose de nitrogênio;
- produtos físicos marginais do nitrogênio para as diferentes doses aplicadas correspondentes a cada lâmina de água;
- produtos físicos marginais da água, para diferentes lâminas de água aplicadas;
- produtos físicos marginais do nitrogênio para as diferentes doses de nitrogênio aplicadas.

3.8 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência de uso da água é definida pelo quociente entre o rendimento de massa seca de forragem e a lâmina total de água aplicada durante os cortes da pastagem, segundo a equação:

$$EUA = \frac{Y}{W} \quad (14)$$

em que,

EUA → eficiência do uso da água, em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

Y → rendimento da pastagem, em kg ha^{-1} ;

W → lâmina total de água aplicada durante os cortes da pastagem, em mm.

3.9 Eficiência do uso do nitrogênio (EUN)

O índice de eficiência do uso do nitrogênio foi calculado através da divisão do incremento da produção de massa seca de forragem pela quantidade de nitrogênio aplicada em um determinado tratamento, conforme a equação:

$$EUN = \frac{Y_t - Y_0}{N_t} \quad (15)$$

em que,

EUN → eficiência do uso do nitrogênio, em quilogramas de massa seca de forragem produzida por quilograma de nitrogênio aplicado ($\text{kgMS kgN}_{\text{ap}}^{-1}$);

Y_t → produtividade de massa seca de forragem no tratamento “t”, em kg ha^{-1} ;

Y_0 → produtividade de massa seca de forragem no tratamento testemunha, em kg ha^{-1} ;

N_t → é a quantidade de nitrogênio aplicado no tratamento “t”, em kg ha^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento de massa seca de forragem do capim Tanzânia em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de rendimento de massa seca de forragem total do capim Tanzânia obtidos em função das lâminas totais de água e da aplicação dos níveis de adubação nitrogenada (Anexo 1).

O tratamento W₃N₃ foi o que resultou no máximo rendimento de massa seca de forragem total do capim Tanzânia, 12277,2 kg ha⁻¹, referente a aplicação de 462,4 mm de água e 1200,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Soria (2002), estudando a produtividade do capim Tanzânia em função da lâmina de irrigação e adubação nitrogenada obteve um rendimento máximo de 24562,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Lourenço (2004), avaliando a produtividade de capim Tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio no solo, obteve um rendimento máximo de 38360,0 kg ha⁻¹, em 10 cortes a intervalos de 36 dias.

Tabela 4. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia, em kg ha⁻¹, em função das lâminas de água, em mm, e dos níveis de nitrogênio, em kg ha⁻¹.

Lâminas (mm)	Níveis de Nitrogênio (kg ha ⁻¹)				Médias
	0,0 N ₀	300,0 N ₁	600,0 N ₂	1200,0 N ₃	
W ₁ (169,3)	6619,2	7269,1	6849,2	7623,7	7090,3
W ₂ (280,8)	6543,0	7655,3	9248,4	10095,1	8385,4
W ₃ (462,4)	9238,9	10475,1	10745,7	12277,2	10684,2
W ₄ (517,8)	9502,0	9575,3	10939,1	11016,6	10258,2
Médias	7975,8	8743,7	9445,6	10253,1	

Para todas as lâminas totais de água utilizadas no experimento, as menores produtividades foram obtidas no tratamento N₀, correspondente às subparcelas que não receberam adubação nitrogenada, demonstrando a importância e o efeito do adubo nitrogenado sobre o rendimento da cultura.

O resumo da análise de variância do rendimento do capim Tanzânia, em kg ha⁻¹, é apresentado na Tabela 5. A análise demonstra que a água e o nitrogênio influenciaram significativamente em nível de 0,007% e 0,034% o rendimento do capim Tanzânia. Entretanto a interação entre os dois fatores, água e nitrogênio, não apresentou resultado significativo em nível de 5%.

Tabela 5. Resumo da análise de variância do rendimento de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função da água e do nitrogênio.

Causas da Variação	GL	Teste F	Prob. > F
Lâminas de Água	3	43,8082	0,00007
Regressão Linear	1	123,55610	0,00002
Regressão Quadrática	1	3,05403	0,11199
Nitrogênio	3	8,7024	0,00034
Regressão Linear	1	25,38606	0,00007
Regressão Quadrática	1	0,70790	0,58654
Água x Nitrogênio	9	0,9150	0,52374
CV% (Água)	5,554		
CV% (Nitrogênio)	14,490		

Souza (2003) obteve resultando semelhante ao estudar o efeito da irrigação e adubação nitrogenada sobre a produção de matéria seca e qualidade da forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq., observando que tanto as lâminas de água quanto a adubação nitrogenada influenciaram no rendimento de fitomassa, entretanto não apresentaram efeito significativo em nível de 5% para a interação água-nitrogênio.

Rodrigues et al. (2002), avaliando o efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre o teor de proteína bruta de capim Tanzânia, verificaram significância para os efeitos dos fatores isolados, não obtendo, porém, diferença significativa para a interação entre as lâminas de água e os níveis de nitrogênio. Todavia, Soria (2002), em estudo com capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia), e analisando a produtividade em função da lâmina de irrigação e de adubação nitrogenada, verificou efeito significativo na interação da irrigação com os níveis de nitrogênio.

O valor da probabilidade de erro, ao se afirmar que a interação entre os dois fatores influenciou o rendimento da cultura, é de 52,37%. Verifica-se, ainda, que o efeito da água sobre o rendimento da cultura é ligeiramente mais pronunciado do que a influência do nitrogênio, quando estes fatores são analisados individualmente. A não interação entre os fatores água e nitrogênio sugere a suposição de independência destes fatores.

Analisando o efeito das lâminas de água sobre o rendimento do capim Tanzânia, constatou-se que o modelo linear apresentou efeito altamente significativo (Prob. > F = 0,00002), com elevado coeficiente de determinação (0,9401). Já a regressão polinomial de segundo grau só foi significativa para o nível de 11,2% devendo tal fato estar associado às características físicas do solo através da baixa capacidade de retenção de água no solo.

Embora Vaux et al. (1981) citem que a relação entre a aplicação de água e o rendimento das culturas possa ser representada por vários modelos estatísticos, o modelo linear, segundo estes autores tem se mostrado adequado para representar tal relação, quando pequena for a amplitude dos níveis do fator água.

A equação ajustada proporcionou um coeficiente de determinação de 0,9401. Este valor pode ser considerado altíssimo por tratar-se de um fenômeno biológico, demonstrando que mais de 94,0 % da variação do rendimento pode ser explicado pelo modelo, conforme a Figura 7.

Avaliando o rendimento do capim Tanzânia analisado sobre o efeito dos níveis de nitrogênio aplicados, verificou-se, também, que o modelo linear proporcionou efeito altamente expressivo (Prob.>F=0,00007), com um coeficiente de determinação de 0,9724. O resultado demonstra que mais de 97,0 % da variação do rendimento é explicado por este modelo, conforme a Figura 8.

Segundo Boin (1986) a produção de matéria seca de gramíneas em resposta à adubação com níveis crescentes de nitrogênio é normalmente linear dentro de certos limites, que variam principalmente com o potencial genético das diferentes gramíneas, com a frequência de cortes, e com as condições climáticas.

Setti et al. (2004) estudando a composição bromatológica do capim mombaça (*P. Maximum*) submetido a diferentes níveis de nitrogênio, relataram que ocorreu um aumento linear da produção de matéria seca do capim Mombaça com os diferentes níveis de N aplicado no solo na forma de uréia. Combinado com a

irrigação, a aplicação de níveis mais elevados de N, proporcionou maiores produções de matéria seca.

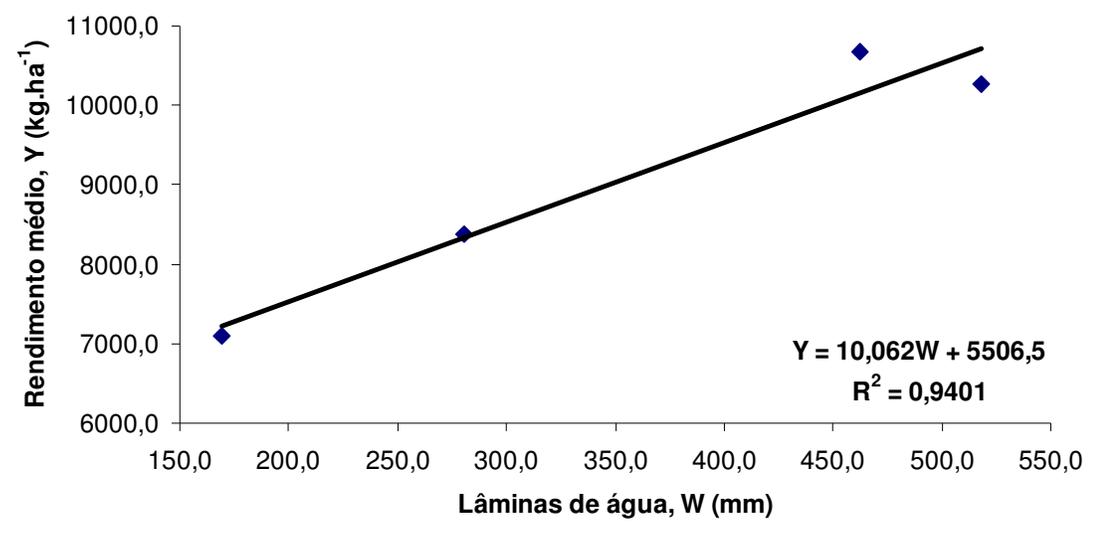


Figura 7. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função das lâminas de água.

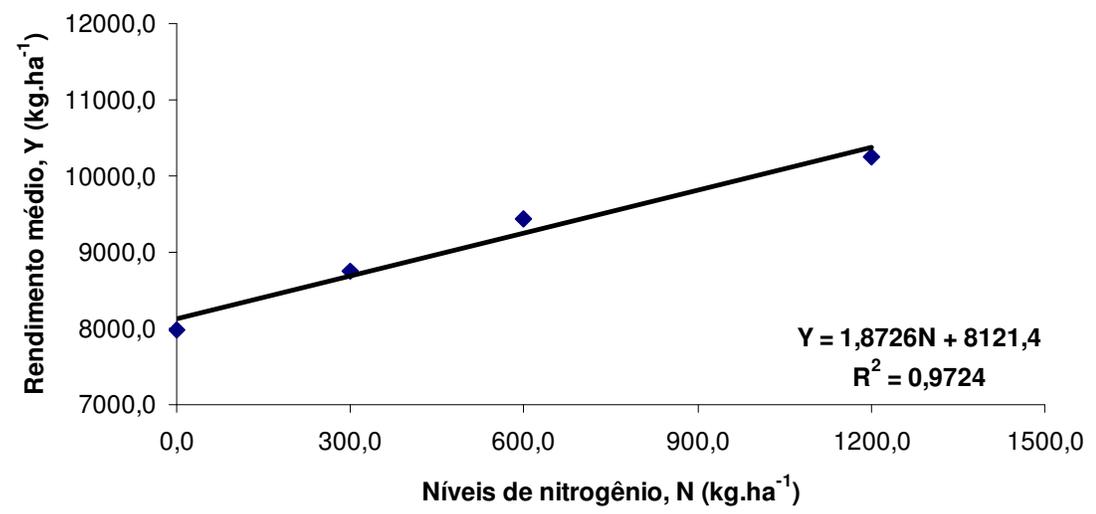


Figura 8. Rendimento médio de massa seca de forragem total do capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio.

4.2 Superfície de resposta

Na Tabela 6 apresenta-se o sumário da análise de regressão múltipla para os dez modelos estatísticos testados (equações 1 a 10) de produtividade do capim Tanzânia em função das diferentes lâminas de água (W) e dos níveis de nitrogênio (N) (Anexo 2).

Com finalidade de obter-se a função de produção, constatou-se que todos os modelos foram significativos pelo teste F, em nível de 1% de probabilidade, demonstrando que todos os modelos poderiam representar a variação da produtividade do capim Tanzânia em função das lâminas de água e níveis de nitrogênio na condição pesquisada. Porém, o modelo que melhor se ajustou aos dados do experimento foi o de N^o. 10, sendo este polinomial quadrático, sem intercepto e sem interação entre os fatores lâminas de água (W) e níveis de nitrogênio (N), conforme equação:

$$Y = 38,88477W + 3,26263N - 0,04098W^2 - 0,00106N^2 \quad (16)$$

Para este modelo, o coeficiente de determinação (r^2) foi de 0,9957, expressando que 99,57% da variação do rendimento do capim Tanzânia é esclarecido pela variação das lâminas de água e níveis de nitrogênio.

De acordo com Gujarati (2002), o problema ao se trabalhar com o coeficiente de determinação (r^2) é que seu valor pode ser acrescido quando adicionado cada vez mais variáveis ao modelo, além de seu uso não ser adequado para modelos que não incluem o parâmetro intercepto. Nestas circunstâncias podem ocorrer duas alternativas:

- não se reportar a um valor de r^2 ;
- medir-se a variação em torno de zero em lugar de em torno da média amostral.

Na análise do teste t, quase todas as variáveis contidas no modelo proporcionaram efeito altamente significativo, com exceção da N^2 ; sendo para a variável W (prob > |t| = <0,0001), N (prob > |t| = 0,0381), W^2 (prob > |t| = <0,0001) e N^2 (prob > |t| = 0,38485). Este evento evidencia que as aludidas variáveis, excluindo-se a N^2 , influenciam significativamente em nível inferior a 5% o rendimento da cultura, podendo ser incluídas no modelo.

A variável N^2 , embora tenha apresentado um nível de significância da ordem de 38,48 % pode ser incluída no modelo 10, uma vez que este apresenta a menor probabilidade de erro ao afirmar-se que tal variável influencia no rendimento da cultura quando comparado com os demais. Atrelado a esse fato, corrobora também que os sinais das variáveis mostram-se coesos (W e N positivos) ao aventar-se de perfil demonstrativo de um acontecimento biológico.

De acordo com o modelo escolhido o rendimento máximo estimado do capim Tanzânia seria de 11734,72 kg ha⁻¹, a ser obtido com 474,4 mm de água e 1.538,9 kg.ha⁻¹ de nitrogênio.

Lopes (2006) avaliando o potencial de produção de matéria seca do capim Tanzânia, sob três lâminas de irrigação (200, 600 e 1000 mm) e três níveis de adubação nitrogenada (100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹) alcançou uma produtividade máxima de 27678 kg ha⁻¹ obtida com a aplicação do nível de nitrogênio correspondente a 300 kg ha⁻¹ e por não ter ocorrido efeito significativo para as lâminas de água aplicadas, sugeriu a aplicação do menor nível em função da economia de água e conseqüente redução nos custos de produção da forragem.

Tabela 6 - Análise de regressão múltipla do rendimento do capim Tanzânia (Y) em função de diferentes lâminas totais de água (W) e níveis de nitrogênio (N), para dez modelos matemáticos.

Modelos		Parâmetros						r ²	r ² ajust.	F	Prob>F
		B0	B1	B2	B3	B4	B5				
01	Parâm. Est.	- 978,37783	-9,77380	1,00503	672,06018	-9,60214	2,25021	0,8987	0,8480	17,73	0,0001
	Prob > t	0,8740	0,6170	0,4492	0,3494	0,0,9067	0,5432				
02	Parâm. Est.	-1492,33702	-10,56254	0,46782	715,07094	32,04212	0,00150	0,8975	0,8462	17,51	0,0001
	Prob > t	0,8066	0,5925	0,7810	0,3212	0,4933	0,6091				
03	Parâm. Est.	-1774,37066	-9,77380	1,00503	715,07094	32,04212	----	0,8946	0,8563	23,35	<0,0001
	Prob > t	0,7620	0,6061	0,4350	0,3033	0,4774	----				
04	Parâm. Est.	2687,22138	22,85805	2,41613	-0,01965	-0,00086955	0,00150	0,9036	0,8554	18,74	<0,0001
	Prob > t	0,1441	0,0582	0,1862	0,2256	0,4362	0,5982				
05	Parâm. Est.	2405,18774	23,64679	2,95334	-0,01965	-0,00086955	----	0,9007	0,8646	24,95	<0,0001
	Prob > t	0,1518	0,0414	0,0500	0,2088	0,4197	----				
06	Parâm. Est.	2245,43116	33,66986	3,06346	-0,88338	-0,04861	0,00150	0,9016	0,8524	18,32	<0,0001
	Prob > t	0,3173	0,1289	0,2368	0,2561	0,4476	0,6019				
07	Parâm. Est.	1963,39752	34,45860	3,60067	-0,88338	-0,04861	----	0,8987	0,8619	24,40	<0,0001
	Prob > t	0,3474	0,1069	0,1218	0,2388	0,4311	----				
08	Parâm. Est.	2919,64061	23,64679	-0,01965	0,00132	----	----	0,8570	0,8212	23,97	<0,0001
	Prob > t	0,1258	0,0676	0,2679	0,0018	----	----				
09	Parâm. Est.	----	38,99441	3,20761	-0,04125	-0,00106	0,00016503	0,9957	0,9938	514,20	<0,0001
	Prob > t	----	< 0,0001	0,0917	0,0001	0,3695	0,9541				
10	Parâm. Est.	----	38,88477	3,26263	-0,04098	-0,00106	----	0,9957	0,9943	700,96	<0,0001
	Prob > t	----	< 0,0001	0,0381	< 0,0001	0,38485	----				

Na Figura 9 visualiza-se a superfície de resposta do modelo estatístico que melhor se ajustou à função de produção. O fator lâminas totais de água foi mais restritivo ao rendimento da cultura do que o fator níveis de nitrogênio, fato este demonstrado pela maior curvatura da linha do fator lâminas totais de água na superfície de resposta, se comparado à curvatura do fator níveis de nitrogênio.

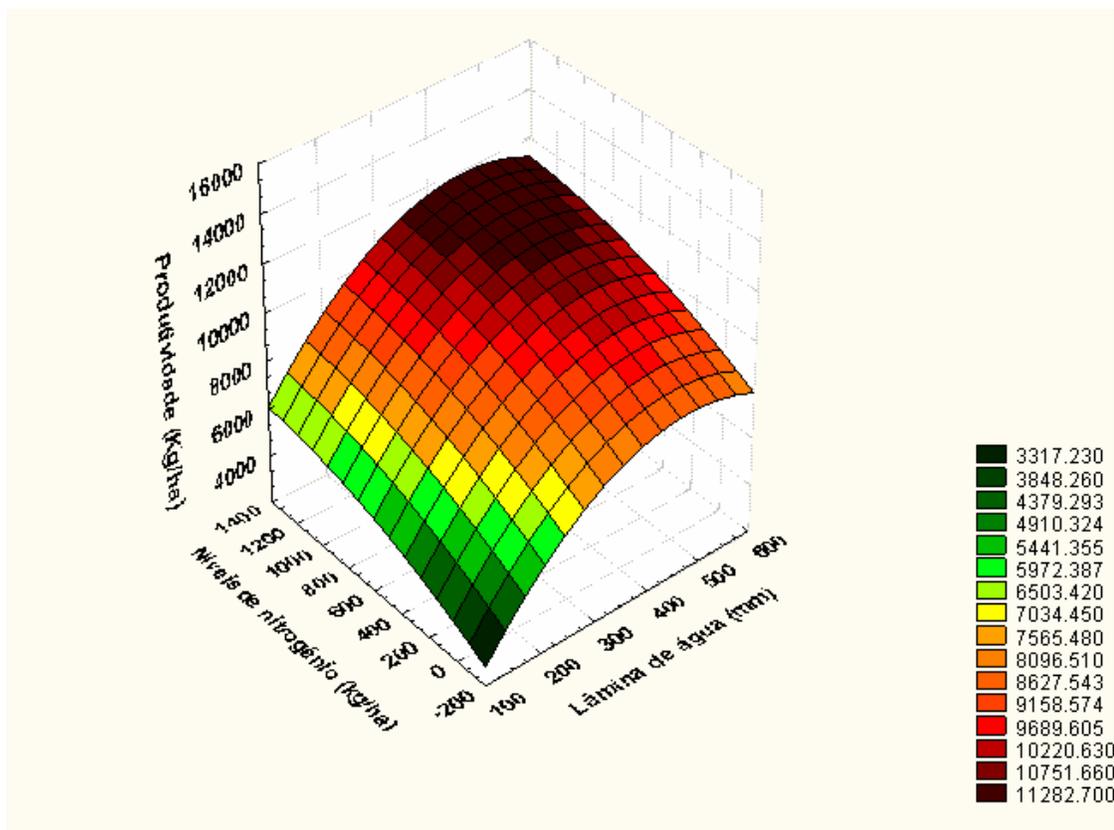


Figura 9 - Superfície de resposta do rendimento do capim Tanzânia em função das lâminas de água e níveis de nitrogênio.

4.3 Produtos físicos marginais da água e do nitrogênio

Os produtos físicos marginais da água e do nitrogênio para as diferentes lâminas de água e níveis de nitrogênio são visualizados na Tabela 7. Estes valores foram obtidos derivando-se a equação da função de produção em relação à água e ao nitrogênio, respectivamente.

O produto físico marginal mostra o aumento no rendimento ao se usar uma unidade a mais do fator considerado, água ou nitrogênio. Por exemplo, ao empregarmos $600,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio e $169,3 \text{ mm}$ de água, o rendimento aumenta $25,01 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada milímetro de água e $1,99 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada quilograma de nitrogênio aplicado.

Por não ter ocorrido interação significativa entre os fatores lâminas de água e níveis de nitrogênio, observa-se que não ocorreu variação no produto físico marginal da água com o nível de nitrogênio aplicado, assim como também não há mudança no produto físico marginal do nitrogênio em relação à variação da lâmina de água aplicada.

Os produtos físicos marginais da água e do nitrogênio respectivamente, vão reduzindo à medida que ocorre acréscimo nas lâminas de água e nos níveis de nitrogênio. Estes vão reduzindo-se até alcançar o valor zero, onde ocorre o máximo rendimento. Nesta pesquisa, o produto físico marginal da água é zero quando a lâmina de água aplicada for igual a $474,4 \text{ mm}$ e produto físico marginal do nitrogênio atinge o valor zero ao aplicar-se $1538,9 \text{ kg ha}^{-1}$.

A partir do momento em que o produto físico marginal da água e/ou o produto físico marginal do nitrogênio tornam-se negativos, comprova-se declínio no rendimento com a respectiva aplicação de maiores lâminas de água e/ou níveis de nitrogênio. Por exemplo, ao aplicar-se $300,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio e $517,8 \text{ mm}$ de água, o rendimento diminui $3,55 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada milímetro de água utilizado, embora continue tendo um aumento de $2,63 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada quilograma de nitrogênio aplicado. A partir daí, torna-se anti-econômico a quantidade sobreposta do fator lâmina de água.

Tabela 7 – Produto físico marginal da água para as diferentes lâminas de água (valor superior) e produto físico marginal do nitrogênio (valor inferior) para os diferentes níveis de nitrogênio.

Lâminas Totais de Água (mm)	Níveis de Nitrogênio (kg.ha ⁻¹)			
	0,0	300,0	600,0	1200,0
169,3	25,01	25,01	25,01	25,01
	3,26	2,63	1,99	0,72
280,8	15,87	15,87	15,87	15,87
	3,26	2,63	1,99	0,72
462,4	0,99	0,99	0,99	0,99
	3,26	2,63	1,99	0,72
517,8	-3,55	-3,55	-3,55	-3,55
	3,26	2,63	1,99	0,72

4.4 Eficiência do uso da água (EUA)

Os valores médios de eficiência do uso da água pela cultura em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio, obtidos a partir do Anexo 3, são apresentados na Tabela 8. A análise de variância para os dados de EUA é apresentada na Tabela 9.

Os valores médios da eficiência do uso da água aumentaram com o incremento dos níveis de nitrogênio, para a faixa de N aplicada. Este fato está de acordo com o que afirmou Lopes (1989), de que a eficiência do uso da água aumenta com a prática da adubação, desde que a produtividade da cultura também aumente. Houve diferença estatística significativa entre os tratamentos apenas em nível de 0,34% de probabilidade.

Soria (2002) comenta que no geral, o uso de fertilizante nitrogenado aumenta a eficiência do uso da água, que por associação é aumentado em função do efeito do aumento na produção de massa seca. O mesmo autor citando Power (1980), relata que existiu quase uma relação linear entre a eficiência do uso da água e produção de massa seca, quando este trabalhou com algumas gramíneas perenes. Ressalta, ainda, que esta relação não apresentaria influência do tipo da espécie estudada, como também a época de coleta.

Na análise do fator lâminas de água, a eficiência do uso da água pela cultura apresentou uma relação inversa. Resultado semelhante foi obtido por Lourenço (2004), avaliando a produção de capim Tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio no solo. O autor constatou que quanto maior a disponibilidade de água, menor a eficiência do uso deste fator.

No tocante ao efeito da interação entre lâminas de água e níveis de nitrogênio sobre a eficiência do uso da água, verifica-se em base à análise de variância, que o efeito da interação não se mostrou significativo em nível de 5% de probabilidade.

O maior valor da eficiência do uso da água para o fator lâminas de água foi observado na dose de nitrogênio de 1200 kg ha⁻¹, cujo valor de 45,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹, foi obtido para uma lâmina de água de 169,3 mm.

Foram realizadas análises de regressão para os valores médios da eficiência do uso da água em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio. A análise de variância da regressão quadrática para as lâminas de água mostrou-se

significativa em nível de 2,23% de probabilidade, sendo a regressão linear significativa em nível de 0,001% com coeficiente de determinação de 0,9429, conforme ilustra a Figura 10. Para os níveis de nitrogênio, a análise de variância da regressão quadrática mostrou-se significativa apenas em nível de 55,0% de probabilidade, sendo a regressão linear significativa em nível de 0,051% com coeficiente de determinação de 0,9745, conforme ilustra a Figura 11.

Tabela 8. Valores médios da eficiência do uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) em função das lâminas totais de água e dos níveis de nitrogênio.

Lâminas (mm)	Níveis de Nitrogênio (kg ha^{-1})				Médias
	N ₀ 0,0	N ₁ 300,0	N ₂ 600,0	N ₃ 1200,0	
W ₁ (169,3)	39,1	42,9	40,5	45,0	41,9
W ₂ (280,8)	23,3	27,3	32,9	36,0	29,9
W ₃ (462,4)	20,0	22,7	23,2	26,6	23,1
W ₄ (517,8)	18,4	18,5	21,1	21,3	19,8
Médias	25,2	27,8	29,4	32,2	

Tabela 9. Resumo da Análise de variância da eficiência do uso da água em função da água e nitrogênio.

Causas da Variação	GL	Teste F	Prob. > F
Lâminas de Água	3	59,1749	0,00004
Regressão Linear	1	167,41320	0,00001
Regressão Quadrática	1	7,45531	0,02233
Nitrogênio	3	5,5250	0,00348
Regressão Linear	1	16,15745	0,00051
Regressão Quadrática	1	0,37672	0,55006
Água x Nitrogênio	9	0,7658	0,64903
CV% (Água)	8,845		
CV% (Nitrogênio)	17,483		

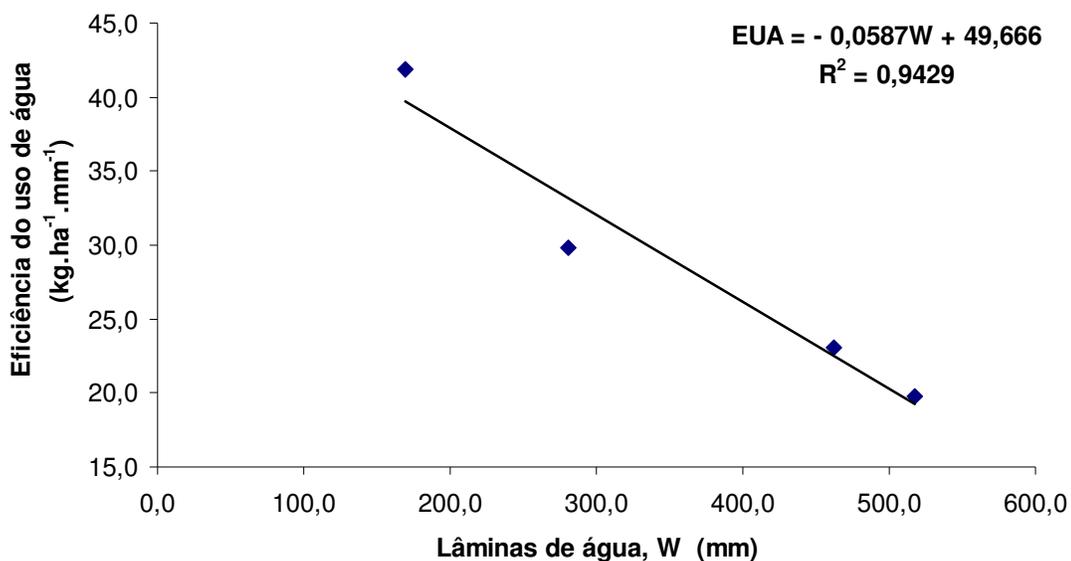


Figura 10. Eficiência do uso da água do capim Tanzânia em função das lâminas de água

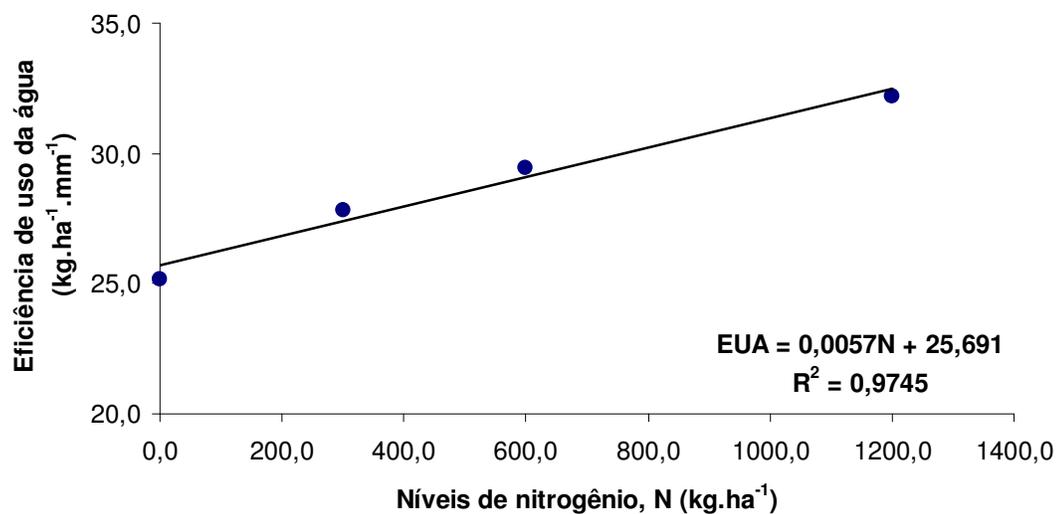


Figura 11. Eficiência do uso da água do capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio

4.5 Eficiência do uso do nitrogênio (EUN)

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios de eficiência do uso do nitrogênio pela cultura em função das lâminas de água e dos níveis de nitrogênio, obtidos a partir do Anexo 4.

Os valores médios da eficiência do uso do nitrogênio decresceram com o aumento dos níveis de nitrogênio (Figura 12). Resultado análogo foi obtido por Lugão (2003) ao estudar a eficiência de utilização do nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq., constatando que a eficiência de utilização do nitrogênio na produção de matéria seca diminuiu do menor para o maior nível de nitrogênio aplicado.

Lugão (2003) relata, ainda, que a redução na eficiência de utilização do nitrogênio com o aumento dos níveis aplicados também foi observada por Gonçalves et al. (1980), Gomide (1993) e Heringer (1995). Esse autor, fazendo referência a Dougherty e Rhykerd (1985) e Mello (1987), comenta que essa redução provavelmente deve-se ao menor aproveitamento pelas plantas, às maiores perdas por lixiviação, ao menor número de aplicações do N e ao desequilíbrio nutricional em altos níveis.

Já a eficiência do uso do nitrogênio em relação aos níveis de água, apresentou um comportamento quadrático (Figura 13). Resultado análogo foi verificado por Soria (2002), constatando que o uso em excesso de água na irrigação (lâmina W_4) ou em momentos de déficit de água no solo (lâmina W_1), acarreta menores valores na eficiência do uso de nitrogênio.

Tabela 10. Valores médios da eficiência do uso do nitrogênio ($\text{kgMS kgN}_{\text{ap}}^{-1}$); em função das lâminas totais de água e níveis de nitrogênio

Níveis de Nitrogênio (kg ha^{-1})	Lâminas de Água (mm)				Médias
	W_1 (169,3)	W_2 (280,8)	W_3 (462,4)	W_4 (517,8)	
N_1 (300,0)	2,17	3,71	4,12	0,24	2,56
N_2 (600,0)	0,38	4,51	2,51	2,40	2,45
N_3 (1200,0)	0,84	2,96	2,53	1,26	1,90
Médias	1,13	3,73	3,05	1,30	

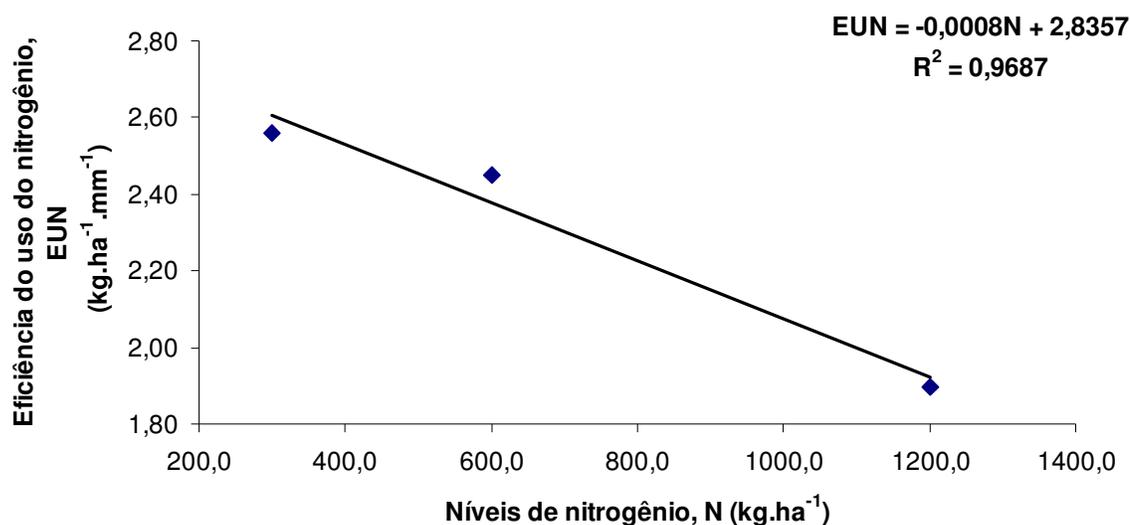


Figura 12. Eficiência do uso do nitrogênio no capim Tanzânia em função dos níveis de nitrogênio.

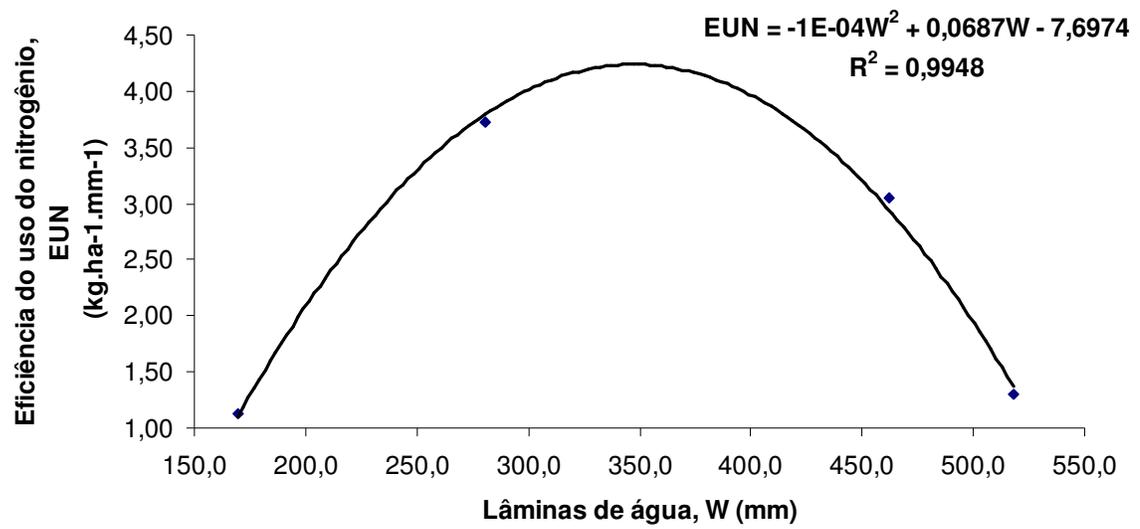


Figura 13. Eficiência do uso do nitrogênio no capim Tanzânia em função das lâminas de água.

5. CONCLUSÕES

Os fatores de produção água e nitrogênio apresentaram efeito significativo ao nível de 5% porém não foi verificada interação entre os mesmos.

A máxima produtividade do capim Tanzânia, de 12277,2 kg ha⁻¹ no período, foi obtida no tratamento W₃N₃, equivalente à aplicação de 462,4 mm de água e 1200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio.

Os dez modelos estatísticos testados foram significativos em nível de 1%. E o modelo 10 apresentou melhor ajuste com coeficiente de determinação de 0,9957.

Não ocorreu variação no produto físico marginal da água com nível de nitrogênio aplicado. Também não foi verificada mudança no produto físico marginal do nitrogênio em relação à variação da lâmina de água aplicada.

O maior valor da eficiência do uso da água, 45,0 kg.ha⁻¹ mm⁻¹, foi observado no nível de nitrogênio de 1200 kg ha⁻¹ para uma lâmina de água de 169,3 mm.

Houve redução na eficiência do uso da água com o aumento das lâminas aplicadas.

Verificou-se incremento na eficiência de uso da água à medida que se elevou os níveis de nitrogênio.

O maior valor da eficiência do uso do nitrogênio, 4,51 kgMSFT kgNap⁻¹, foi obtido com 600 kgN ha⁻¹ para uma lâmina de água de 280,8 mm.

A eficiência do uso de nitrogênio decresceu com o aumento dos níveis de nitrogênio.

A eficiência do uso de nitrogênio em relação às lâminas aplicadas apresentou comportamento quadrático.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. V. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza, Ce., 2005. Imprensa Universitária. 196 p.

AGUIAR, J. V., **Determinação do consumo de água e da função de produção do caupi irrigado no Município de Bragança – Pará**. Fortaleza, 1989. 106 p. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) Universidade Federal do Ceará.

ARONOVICH, S. O capim Colonião e outros cultivares de *Panicum maximum* Jacq.: introdução e evolução de uso no Brasil In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12. Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 1-20.

BALSALOBRE, M. A. A; SANTOS, P. M, MAYA, F. L. A; et al. Pastagens irrigadas. In SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM: Produção animal em pastagens, 20, 2003, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 265-296.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 656p.

BOIN, C. Produção animal em pastos adubados. In: **SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS**, 1., Nova Odessa. Anais do 1º Simpósio Calagem e Adubação de Pastagens. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. P 382-419.

CAMARGO, A. C.; NOVO, A. L. M.; NOVAES, N. J.; ESTEVES, S. N.; MANZANO, A.; MACHADO, R. Produção de leite a pasto. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM**, 18., 2001, Piracicaba. Anais do 18º Simpósio sobre Manejo de Pastagens. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 285-319.

CANTARELLA, H. et al. **Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens**. In: PEIXOTO et al. (ed.) Inovações tecnológicas no manejo de pastagens. Piracicaba:FEALQ, 2002. p. 159-188.

CORSI, M. Pastagem de alta produtividade. In: Simpósio sobre manejo de pastagens, 8., 1986, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1986. p. 499 - 512.

CORSI, M. & NASCIMENTO JÚNIOR, D. Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicadas no manejo das pastagens. In: **Pastagens: fundamentos da exploração racional**. PEIXOTO et al. (Ed.) Piracicaba: FEALQ, 1994, p. 15-47.

EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G. R.; EUCLIDES, V. P. B. et al. Desempenho de animais nelore e seus mestiços com caracu, angus e simental. (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36. Porto Alegre, 1999. **Anais**. Porto Alegre: SBZ, 1999.

EUCLIDES, V. P. B. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: **Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, 19. Piracicaba. Anais do 12^o Simpósio sobre Manejo de Pastagens. Piracicaba: FEALQ, 1995. P.245-273

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, M. P. Desempenho animal em pastagens de gramíneas recuperadas com diferentes níveis de fertilização. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, M. P. Animal production in tropical pastures recovered by subsoiling and fertilization in the Cerrados of Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. São Pedro: FEALQ, 2001. p.841-842.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALÉRIO, J. R. et al. Cultivar Massai (*Panicum maximum*) uma nova opção forrageira: características de adaptação e produtividade (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., Viçosa, 2000. **Anais**. Viçosa: SBZ, 2000.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação.** Piracicaba, 133p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em solos e nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP. 1986.

FRIZZONE, J. A. **Planejamento da irrigação:** uma abordagem às decisões de investimento. Piracicaba: ESALQ, DER, 1999. 110p.

GARCEZ NETO, A. F. **Respostas morfogênicas e produção de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte.** Viçosa, 2001. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa.

GARGANTINI, P. E. **Irrigação e adubação nitrogenada em capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) na região Oeste do Estado de São Paulo.** Ilha Solteira, SP. 2005. 96p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção Animal). Faculdade de Engenharia da UNESP.

GHELFI FILHO, H. **Efeito da irrigação sobre a produtividade do capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) variedade Napier.** Piracicaba, 1972. 77p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

GHELFI FILHO, H. Efeito da irrigação sobre o capim Colômbio (*Panicum maximum* Jacq.). **O Solo.** V. 58, n. 1, p. 12-16, 1976.

GOMES, J. F.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA Jr., P. Avaliação da produtividade e economicidade do feno de capim Pangola (*Digitaria decumbens* Stent) fertilizado com nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia.** 16 (6):491-499, 1987.

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** 3ª ED, Campina Grande -PB, 1999, p412.

GOMES, M. L. A. **Função de produção do algodoeiro herbáceo (*G. hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch), aos níveis de água e fertilizante no município de Pentecoste, Ceará.** 2000. 54p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará

GOMIDE, J. A. Aspectos biológicos e econômicos da adubação das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 24., Jaboticabal, 1989. **Anais.** Jaboticabal: UNESP, 1989, p. 237-270.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica.** Nova Iorque, EUA: McGraw Hill. 2002.

HANKS, R. J.; RASMUSSEN, V. P.; WILSON, G. D. **Line source sprinkler for continuous variable irrigation - rop productions studies.** Soil Science Society American Proceedings, v. 40, p. 426 - 9, 1976.

HEXEM, R. W. & HEADY, E. O. **Water production functions for irrigated agriculture.** Ames, Iowa: The Iowa University Press, 215p. 1978.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. <http://www.ibge.gov.br>
Acesso em: 15 de fevereiro de 2006.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12. Piracicaba, 1995. **Anais.** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 21-58.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems.** St. Joseph, ASAE, 1983. 829p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera.** 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Traduzido e adaptado do original: Soil fertility manual. Potash Phosphate Institute, 1978. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LOPES, E. A. **Irrigação e adubação nitrogenada do capim Tanzânia em Parnaíba, Piauí**. Agronline.com.br. Disponível em www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=140. Acesso em: 07 de fevereiro de 2006.

LOURENÇO, L. F. **Avaliação da produção de capim Tanzânia em ambiente protegido sob disponibilidade variável de água e nitrogênio no solo**. 2004. 77p. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

LUGÃO, S. M. B. et al. Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do Nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. (Acesso BRA-006998) adubadas com Nitrogênio. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences Maringá, v. 25, no. 2, p. 371-379, 2003.

MALDONADO, H.; DAHER, R. F.; PEREIRA, A. V.; FERNANDES, A. M.; SOARES, C. S.; SILVA, L. C. C.; BORGES, A. Efeito da irrigação na produção de matéria seca do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., Juiz de Fora, 1997. **Anais**. Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.216-217.

MARTHA JR., G. B. **Produções de forragem e transformações do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigado de capim Tanzânia**. Piracicaba, 2003. 149p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência Animal e Pastagem). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". USP. 2003.

MARTHA JR., G. B. & VILELA, L. **Pastagens no cerrado: baixa produtividade pelo uso limitado de fertilizantes em pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 32 p. (Documentos, 50).

MAYA, F. L. A. **Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem o uso da irrigação.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2003. 83f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 2003.

MELLO, A. C. L. de. **Respostas morfofisiológicas do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada.** Piracicaba, 2002. 67p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MOLINARI, O. G. **Grasslands and grasses of Puerto Rico.** Rio Pedras: University of Puerto Rico, 1952. 167 p. (Bulletin, 102).

MONTEIRO, R. O. C., **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu - CE.** Fortaleza, 2004. 73f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará - UFC.

MONTEIRO, F. A. Nutrição mineral e adubação. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM**, 12, 1995, Piracicaba. Anais do 12º Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 219-244.

PENATI, M. A. **Estudo do desempenho animal e produção do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) em um sistema de pastejo sob irrigação em três níveis de resíduo pós pastejo.** 2002. 117p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP. Piracicaba, 2002.

PINHEIRO, V. D.; COELHO, R. D ; LOURENÇO, L. F. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagens de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil.** In: PEIXOTO et al. (ed.) Inovações tecnológicas no manejo de pastagens. Piracicaba: FEALQ, 2002. p. 159-188.

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com uréia em pastagens de *Cynodon dactylon* cv. Coast Cross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas.** São Carlos, Embrapa-Pecuária Sudeste. 2001, 42p (Circular Técnica, 30).

RASSINI, J. B. Avaliação das respostas das forrageiras Tanzânia e capim Elefante à irrigação na região Sudeste do Brasil. (compact disc). In: **REUNIÃO ANUAL SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34.** Recife, 2002. **Anais.** Recife: SBZ, 2002.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** Piracicaba: Manole, 1990. 188p.

RICHARDS, L. A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).

RODRIGUES, B. H. N.; LOPES, E. A.; MAGALHÃES, J. A. Irrigação e adubação nitrogenada em gramíneas forrageiras In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31,** Salvador, 2002. **Anais.** Jaboticabal, SBEA, 2002. (CD-ROM).

SANTOS, P.M. **Controle do desenvolvimento das hastes do capim Tanzânia: um desafio.** Piracicaba, 2002, 112 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SAVIDAN, Y.H., JANK, L., COSTA, J.C.G. **Registros de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum*.** Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1990. 68p. (EMBRAPA - CNPGC. Documentos,44).

SETTI, J. C. A.; BONO, J. A. M.; MACHADO, V. J.; MACHADO, J. L. Composição bromatológica do capim mombaça submetido a diferentes doses de nitrogênio. In: **REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41,** Campo Grande, 2004. **Anais.** Campo Grande, SBZ, 2004. (CD-ROM)

SILVA, E. M. da ; AZEVEDO, J. A. de; GUERRA, A. F.; FIGUÊREDO, S. F.; ANDRADE, L. M. de; ANTONINI, J. C. dos A. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: **Manejo de Irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.239-280.

SILVA, L. D. B. da. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama Batatais (*Paspalu nonatum Flugge*) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. 2003. 93p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, 2003.

SILVA, R. G, da. **Morfosiologia do dossel e desempenho produtivo de ovinos em *Panicum maximum* (Jacq.) cv. Tanzânia sobre três períodos de descanso**. Fortaleza, 2004. 114 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Ceará.

SORIA, L. G. T. **Produtividade do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada**. Piracicaba, 2002. 170p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2002.

SORIA, L. G. P. et al. Resposta do capim Tanzânia a aplicação do nitrogênio e de lâminas de irrigação. I: Produção de forragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.430-436, 2003. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

SOUZA, E. M. **Efeitos da irrigação e adubação nitrogenada sobre a produção de matéria seca e qualidade da forragem de cultivares de *Panicum maximum* Jacq.** 2003. 60. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção Animal). Faculdade de Engenharia da UNESP.

SKERMAN, P. J. & RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Rome: FAO,1992. 849 p. (FAO Producción y Protección Vegetal, 23).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca de Ciências e Tecnologia. **Guia para normalização de trabalhos acadêmicos**. Fortaleza, 2002. Disponível em: <<http://sw.npd.ufc.br/bibct>>. Consultado em novembro de 2005.

VARIAN, H. R. **Microeconomia – princípios básicos – Uma abordagem moderna**. Rio de Janeiro, Editora Campus, 337-350 p. 1994

VASCONCELOS, V. R.; WANDER, A. E.; SOUSA, F. B. de; BARROS, N. N.; LEITE, E. R.; NEIVA, J. N. M.; PIMENTE, J. C. M. e ROGÉRIO, M. C. P. **Viabilidade econômica da terminação de cordeiros em pastagem cultivada**. Agronline.com.br. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=140>>. Acesso em: 01 de agosto de 2005.

VAUX, H. J. et al. Optimization of water use with respect to crop production. Resources and environmental economics and public policy group. **Working paper series**, University of California. 1981.

ZIMMER, A.; SILVA, M.P. da; MAURO, R. Sustentabilidade e impactos ambientais da produção animal em pastagens. In: PEIXOTO et al. (ed.) **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**. Piracicaba:FEALQ, 2002. p. 31-58.

ANEXOS

Anexo 1. Produtividade de massa seca de forragem total do capim Tanzânia no período de irrigação, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, em função das lâminas de água, em mm, dos níveis de nitrogênio, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Irrigação (W)	Nitrogênio (N)	Blocos			
		A	B	C	D
W ₁	N ₀	9253,0	6080,0	5534,0	5609,7
	N ₁	7518,2	8266,1	6406,0	6886,0
	N ₂	9682,3	5683,6	5712,3	6318,6
	N ₃	6848,5	9442,6	6126,2	8077,3
W ₂	N ₀	8481,6	7322,8	4784,9	5582,5
	N ₁	10281,7	8413,6	5906,4	6019,3
	N ₂	8356,2	11449,7	8784,3	8403,4
	N ₃	9401,5	10442,3	10352,7	10183,7
W ₃	N ₀	10134,9	8734,6	9247,3	8838,9
	N ₁	11453,8	13511,4	8138,2	8797,0
	N ₂	11269,3	12910,5	9625,6	9177,3
	N ₃	12706,0	13048,5	12005,5	11348,6
W ₄	N ₀	10957,7	7627,4	8998,1	10424,6
	N ₁	9551,1	10191,5	9709,7	8848,8
	N ₂	11734,7	12558,7	10824,4	8638,7
	N ₃	9595,2	12470,5	11173,7	10827,1

Anexo 2. Resumo da análise de regressão múltipla, para os dez modelos matemáticos testados, do rendimento de massa seca de forragem total (MSFT) do capim Tanzânia em função das diferentes laminas de água (W) e níveis de nitrogênio (N).

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

1

The REG Procedure

Model: MODEL 1

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	43625692	8725138	17.73	0.0001
Error	10	4920036	492004		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	701.42965	R-Square	0.8987
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8480
Coeff Var	7.70416		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	-978.37783	6011.87149	-0.16	0.8740
w	1	-9.77380	18.93773	-0.52	0.6170
n	1	1.00503	1.27600	0.79	0.4492
w1	1	672.06018	684.60108	0.98	0.3494
n1	1	-9.60214	79.90422	-0.12	0.9067
w1n1	1	2.25021	3.57479	0.63	0.5432

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

2

The REG Procedure

Model: MODEL 2

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	43569392	8713878	17.51	0.0001
Error	10	4976335	497634		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	705.43146	R-Square	0.8975
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8462
Coeff Var	7.74811		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	-1492.33702	5935.00527	-0.25	0.8066
w	1	-10.56254	19.10430	-0.55	0.5925
n	1	0.46782	1.63787	0.29	0.7810
w1	1	715.07094	685.06894	1.04	0.3212
n1	1	32.04212	45.06410	0.71	0.4933
wn	1	0.00150	0.00285	0.53	0.6091

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

3

The REG Procedure

Model: MODEL 3

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	43430746	10857687	23.35	<.0001
Error	11	5114981	464998		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	681.90783	R-Square	0.8946
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8563
Coeff Var	7.48974		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	-1774.37066	5713.79653	-0.31	0.7620
w	1	-9.77380	18.41066	-0.53	0.6061
n	1	1.00503	1.24049	0.81	0.4350
w1	1	715.07094	662.22433	1.08	0.3033
n1	1	32.04212	43.56137	0.74	0.4774

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

4

The REG Procedure

Model: MODEL 4

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	43864523	8772905	18.74	<.0001
Error	10	4681204	468120		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	684.19328	R-Square	0.9036
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8554
Coeff Var	7.51484		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	2687.22138	1695.49138	1.58	0.1441
w	1	22.85805	10.68748	2.14	0.0582
n	1	2.41613	1.70244	1.42	0.1862
w2	1	-0.01965	0.01521	-1.29	0.2256
n2	1	-0.00086955	0.00107	-0.81	0.4362
wn	1	0.00150	0.00276	0.54	0.5982

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

5

The REG Procedure

Model: MODEL 5

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	43725877	10931469	24.95	<.0001
Error	11	4819850	438168		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	661.94274	R-Square	0.9007
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8646
Coeff Var	7.27046		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	2405.18774	1561.84934	1.54	0.1518
w	1	23.64679	10.24440	2.31	0.0414
n	1	2.95334	1.34194	2.20	0.0500
w2	1	-0.01965	0.01472	-1.34	0.2088
n2	1	-0.00086955	0.00104	-0.84	0.4197

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

6

The REG Procedure

Model: MODEL 6

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	43767535	8753507	18.32	<.0001
Error	10	4778192	477819		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	691.24470	R-Square	0.9016
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8524
Coeff Var	7.59229		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	2245.43116	2133.44021	1.05	0.3173
w	1	33.66986	20.34344	1.66	0.1289
n	1	3.06346	2.43414	1.26	0.2368
w15	1	-0.88338	0.73335	-1.20	0.2561
n15	1	-0.04861	0.06150	-0.79	0.4476
wn	1	0.00150	0.00279	0.54	0.6019

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

7

The REG Procedure

Model: MODEL 7

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	43628889	10907222	24.40	<.0001
Error	11	4916838	446985		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	668.56958	R-Square	0.8987
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8619
Coeff Var	7.34324		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	1963.39752	2000.35249	0.98	0.3474
w	1	34.45860	19.62507	1.76	0.1069
n	1	3.60067	2.14763	1.68	0.1218
w15	1	-0.88338	0.70930	-1.25	0.2388
n15	1	-0.04861	0.05948	-0.82	0.4311

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

8

The REG Procedure

Model: MODEL 8

Dependent Variable: y

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	41603604	13867868	23.97	<.0001
Error	12	6942123	578510		
Corrected Total	15	48545727			

Root MSE	760.59862	R-Square	0.8570
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.8212
Coeff Var	8.35404		

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
Intercept	1	2919.64061	1774.41333	1.65	0.1258
w	1	23.64679	11.77122	2.01	0.0676
w2	1	-0.01965	0.01691	-1.16	0.2679
n2	1	0.00132	0.00033122	3.99	0.0018

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

9

The REG Procedure

Model: **MODEL 9**

Dependent Variable: y

NOTE: No intercept in model. R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	1368975727	273795145	514.20	<.0001
Error	11	5857112	532465		
Uncorrected Total	16	1374832839			
	Root MSE	729.70183	R-Square	0.9957	
	Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.9938	
	Coeff Var	8.01469			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
w	1	38.99441	3.46675	11.25	<.0001
n	1	3.20761	1.73581	1.85	0.0917
w2	1	-0.04125	0.00721	-5.72	0.0001
n2	1	-0.00106	0.00114	-0.94	0.3695
wn	1	0.00016503	0.00280	0.06	0.9541

The SAS System

10:19 Tuesday, March 2, 2006

10

The REG Procedure

Model: MODEL 10

Dependent Variable: y

NOTE: No intercept in model. R-Square is redefined.

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	1368973882	342243470	700.96	<.0001
Error	12	5858958	488246		
Uncorrected Total	16	1374832839			

Root MSE	698.74636	R-Square	0.9957
Dependent Mean	9104.55625	Adj R-Sq	0.9943
Coeff Var	7.67469		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr > t
w	1	38.88477	2.80000	13.89	<.0001
n	1	3.26263	1.40060	2.33	0.0381
w2	1	-0.04098	0.00527	-7.78	<.0001
n2	1	-0.00106	0.00109	-0.98	0.3485

Anexo 3. Eficiência do uso da água, em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, em função das lâminas de água, em mm e dos níveis de nitrogênio em kg ha^{-1} .

Irrigação (W)	Nitrogênio (N)	Blocos			
		A	B	C	D
W ₁	N ₀	54,65	35,91	32,69	33,13
	N ₁	44,41	48,83	37,84	40,67
	N ₂	57,19	33,57	33,74	37,32
	N ₃	40,45	55,77	36,19	47,71
W ₂	N ₀	30,21	26,08	17,04	19,88
	N ₁	36,62	29,96	21,03	21,44
	N ₂	29,76	40,78	31,28	29,93
	N ₃	33,48	37,19	36,87	36,27
W ₃	N ₀	21,92	18,89	20,00	19,12
	N ₁	24,77	29,22	17,60	19,02
	N ₂	24,37	27,92	20,82	19,85
	N ₃	27,48	28,22	25,96	24,54
W ₄	N ₀	21,16	14,73	17,38	20,13
	N ₁	18,45	19,68	18,75	17,09
	N ₂	22,66	24,25	20,90	16,68
	N ₃	18,53	24,08	21,58	20,91

Anexo 4. Eficiência do uso do nitrogênio, em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, em função dos níveis de nitrogênio, em kg ha^{-1} e das lâminas de água, em mm.

Nitrogênio (N)	Irrigação (W)	Blocos			
		A	B	C	D
N ₁	W ₁	-5,78	7,29	2,91	4,25
	W ₂	6,00	3,64	3,74	1,46
	W ₃	4,40	15,92	-3,70	-0,14
	W ₄	-4,69	8,55	2,37	-5,25
N ₂	W ₁	0,72	-0,66	0,30	1,18
	W ₂	-0,21	6,88	6,67	4,70
	W ₃	1,89	6,96	0,63	0,56
	W ₄	1,30	8,22	3,04	-2,98
N ₃	W ₁	-2,00	2,80	0,49	2,06
	W ₂	0,77	2,60	4,64	3,83
	W ₃	2,14	3,59	2,30	2,09
	W ₄	-1,14	4,04	1,81	0,34