



**PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.**

**Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas  
forrageiras**

---

Guilherme de Lira Sobral Silva<sup>1</sup>, Maria Socorro de Souza Carneiro<sup>2</sup>,  
Francisca Mirlanda Vasconcelos Furtado<sup>3</sup>, Francisco José de Seixas Santos<sup>4</sup>,  
Maykon Sousa da Silva<sup>5</sup>, Newton de Lucena Costa<sup>6</sup>, João Avelar Magalhães<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Méd.Vet., D.Sc., Pós-doutorando em Zootecnia. UFC, Fortaleza, Ceará.

<sup>2</sup>Eng. Agr., D.Sc., Professora do Curso de Doutorado em Zootecnia da UFC. Fortaleza, Ceará.

<sup>3</sup>Zootecnista, M.Sc., Doutorando em Zootecnia, UFC. Fortaleza, Ceará.

<sup>4</sup>Eng. Agr., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Parnaíba, Piauí.

<sup>5</sup>Eng. Agr., B.Sc., Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas, UFC. Fortaleza, Ceará.

<sup>6</sup>Eng. Agr., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Roraima. Boa Vista, Roraima.

<sup>7</sup>Méd. Vet., D.Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte. Parnaíba, Piauí.

---

**Resumo**

Ao descrever e estudar organismos vegetais, é normal subdividi-los em partes acima da superfície do solo, denominada parte aérea e a parte abaixo da superfície do solo, denominada parte subterrânea. Na maioria das pesquisas com pastagens, o estudo do crescimento e do desenvolvimento da parte aérea das plantas é priorizado em detrimento à sua interdependência com as raízes e à influência dos atributos físicos e químicos do solo, do clima e do manejo da planta forrageira sobre essas variáveis. Portanto, um sistema radicular

vigoroso reduz o tempo de rebrotação das plantas, diminuindo os ciclos de pastejo e elevando a produção anual da planta forrageira, além de aumentar a resistência das plantas forrageiras ao estresse hídrico e sua competitividade por nutrientes. No entanto, para que isso ocorra, é necessária uma estrutura do solo favorável ao seu crescimento, como uma baixa resistência a penetração das raízes e espaço poroso adequado ao movimento de água e gases. Estudar o sistema radicular de qualquer cultura não é uma tarefa fácil, pois a variabilidade física, química e biológica do solo exerce influência na distribuição das raízes, podendo levar a coleta de resultados não condizentes com a realidade. A falta de atenção que o sistema radicular dos vegetais recebe em relação de sua parte aérea se justifica, em parte, devido aos difíceis e entediados métodos de avaliação de raízes. Portanto, conhecendo a distribuição das raízes de uma planta forrageira, têm-se os subsídios necessários, que permitam o melhor uso das técnicas de manejo da planta forrageira, irrigação, adubação e dos animais.

**Palavras-chave:** aspectos químicos, físicos e biológicos.

### **Some considerations on the root system of forage plants**

#### **Abstract**

In describing and studying plant organisms, it is usual to subdivide them into parts above the soil surface, called aerial part and the part below the ground surface, called underground part. Most of the research on pasture, the study of the growth and development of the shoot is prioritized at the expense of their interdependence with the roots and the influence of physical and chemical properties of soil, climate and forage plant management on these variables. Therefore, a vigorous root system reduces the time of regrowth of plants, decreasing grazing cycles and increasing the annual production of forage crops, and increase the resistance of plants to drought stress and forage competitiveness for nutrients. However, for this to occur, you need a soil structure favorable to its growth, as a low resistance to root penetration and

pore space suitable for the movement of water and gases. Studying the root system of any culture is not an easy task as the variability physical, chemical and biological soil influences the distribution of the roots, leading to collection of results that do not match reality. The lack of attention that the root system of the plant receives the detriment of their shoot is justified, in part, due to the difficult and tedious methods of assessing root. Therefore, knowing the distribution of the roots of plant forage, there are the subsidies needed to allow the best use of management techniques forage plant irrigation, fertilization and animals.

**Keywords:** chemical, physical and biological aspects.

### **Introdução**

No Brasil a pecuária é baseada principalmente em pastagens, ocupando uma área de aproximadamente um quarto do território nacional, as quais representam a principal fonte de alimento de mais baixo custo para ruminantes, em face da capacidade desses animais possuírem um sistema digestivo adaptado para a ingestão e digestão de alimentos fibrosos.

Dadas às ótimas condições de exploração, as pastagens assumem papel relevante no sistema produtivo animal. Sua capacidade de se renovar e tornar-se perene, é ditada basicamente em função do manejo de pastoreio adotado e seus efeitos sobre o sistema radicular das plantas forrageiras, sobre o qual implicam inúmeros fatores, tais como: a área foliar remanescente mantida após o pastoreio, o efeito das patas dos animais e sua compactação no solo, o período de repouso e de ocupação dos piquetes e o conhecimento das características morfofisiológicas das plantas forrageiras.

O conhecimento do sistema radicular de uma cultura é um fator muito importante na concepção do seu plano de manejo (COELHO e OLIVEIRA, 2006). As raízes, através do seu maior comprimento e densidade, tornam-se melhores mobilizadoras de nutrientes e absorvedoras de água de camadas mais profundas, contribuindo, após a sua morte, para uma maior quantidade de carbono orgânico nessas camadas (PEQUENO, 1999). Em muitos estudos

com plantas forrageiras, a ênfase tem sido maior para a parte aérea, resultando em carência acentuada de informações sobre o sistema radicular dessas plantas (CECATO et al., 2004). No entanto, as raízes exercem importantes e vitais funções no desenvolvimento das plantas forrageiras no solo.

Informações sobre o sistema de raízes das culturas a campo ainda é escasso comparado ao desenvolvimento da parte aérea, pois as avaliações do sistema de raízes em condições de campo são limitadas, trabalhosas, demoradas, os resultados variáveis e pouco precisos, muitas vezes pela metodologia empregada, requerendo procedimentos destrutivos do local de coleta, não sendo possíveis avaliações repetidas no mesmo local (BENINCASA, 1988). Portanto, parte aérea e sistema radicular devem ser vistos como meios naturais, complexos e dinâmicos que interagem e influenciam-se mutuamente numa íntima relação de dependência, e que, sistemas de pastoreio que afetam negativamente o sistema radicular das plantas forrageiras, certamente estão fadados ao insucesso, por alterarem o equilíbrio do ecossistema da pastagem e no solo.

Dessa forma, as informações sobre o sistema radicular das plantas forrageiras são indispensáveis na percepção do planejamento de sistemas de manejo que visem maximizar a sua produtividade e, conseqüentemente, otimizar a exploração dos animais numa determinada área.

Esta revisão teve como objetivo discorrer sobre os principais aspectos que envolvem o sistema radicular.

### **Morfologia das Raízes**

A maioria das árvores e arbustos das Dicotiledônias possui uma raiz principal, que apresenta geotropismo positivo, de onde partem ramificações de menor desenvolvimento, formando o sistema chamado radicular pivotante. O sistema radicular mais frequente nas Monocotiledôneas é formada por raízes adventícias que se originam do caule. Essas raízes e as laterais originam um sistema radicular fasciculado, no qual não se distingue uma raiz principal, nem

pela posição, nem pelo desenvolvimento. Os sistemas radiculares pivotantes geralmente são mais profundos que os fasciculados (RAVEN et al., 1996).

A arquitetura e morfologia do sistema radicular variam consideravelmente entre espécies, dentro da mesma espécie e dentro do próprio sistema (FITTER, 1985). Ele é modificado pelas condições locais do solo e influenciado pela capacidade genética das raízes em tolerar as dificuldades das condições do solo (MACLEOD e CRAM, 1996) e varia, principalmente na profundidade e na distribuição das raízes (COPPIM e STILIS, 1995). Vale ressaltar que, em algumas gramíneas como o *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, aproximadamente 60% do sistema radicular do concentra-se na camada de 0-10 cm e cerca de 25% na camada de 10-20 cm de profundidade do solo, ademais, sofre relativa influência dos teores de nutrientes no solo (SARMENTO et al., 2008).

A preocupação é demonstrada pelo interesse em responsabilizar mudanças na produtividade da parte aérea da planta forrageira devido a alterações em características morfológicas do sistema radicular, como sua distribuição em diferentes camadas do solo, seu peso, volume, comprimento, superfície, etc. Cada um destes parâmetros morfológicos do sistema radicular parece estar associado com uma função principal na planta (CORSI et al., 2001) (Tabela 1).

Poucas espécies têm raízes com diâmetro inferior a 0,1 mm e as raízes jovens, em pleno crescimento, da maioria das plantas herbáceas e arbóreas, são consideravelmente maiores do que esse valor, sendo, bem maiores do que os poros drenados na "capacidade de campo", cujo diâmetro está na faixa de 0,05 mm. Por isso, os macroporos constituem a rota principal ao crescimento das raízes, de modo que os solos mal estruturados podem inibir o pleno desenvolvimento do sistema radicular (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

**Tabela 1.** Parâmetros morfológicos - chave do crescimento radicular e suas funções.

<b>Parâmetro radicular</b>	<b>Importância funcional</b>
Máximo crescimento em profundidade (m)	- Absorção de água e nutrientes móveis - Fixação da planta
Comprimento específico (cm/cm <sup>3</sup> ) por camada de solo	- Absorção de água e nutrientes - Fixação de planta
Diâmetro de raízes (mm)	- Absorção de água e nutrientes
Distância entre raízes adjacentes (mm)	- Indicativo da ramificação de raízes - Competição efetiva entre raízes
Diâmetro de pelos radiculares ( $\mu\text{m}$ )	- Absorção de nutrientes imóveis
Extensão radial de pelos radiculares	- Absorção de nutrientes imóveis

Fonte: Goss (1993)

### **Desenvolvimento do Sistema Radicular**

O sistema radicular desenvolve-se sob a influência de diversos fatores, como a forma de utilização da pastagem, presença de pragas e moléstias, competição com outras plantas, presença de microrganismos e de aspectos que irão determinar a intensidade de crescimento e o potencial de extração de nutrientes pelas raízes (CECATO et al., 2001).

O crescimento das forrageiras não é representado somente pela parte aérea, mas também pelo desenvolvimento radicular, visto que a raiz é o caminho de entrada de água e nutrientes (GRISE et al., 2004). Portanto, a capacidade produtiva da parte aérea da planta é reflexo da ação do seu sistema radicular, pois ambos interagem. Se algum fator limita o crescimento das raízes, este pode prejudicar a produção de massa seca da planta forrageira (GIACOMINI et al., 2005). Smith et al. (1999) verificaram que o crescimento da raiz em condições fisicamente limitadas (poda de raiz ou desfolha) reduziram significativamente os pesos totais das plantas, mas não influenciaram a partição de fotoassimilados entre as raízes e parte aérea,

sugerindo que o crescimento da parte aérea está diretamente relacionado a capacidade funcional do sistema radicular e também que sempre ocorrerá o restabelecimento do equilíbrio entre o sistema radicular e aéreo.

O fornecimento de nutrientes afeta o crescimento das raízes e sua morfologia e a densidade das raízes aumenta rapidamente nos locais de maior concentração do fertilizante (MARSCHNER, 1995). O pequeno volume e a má distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo tornam a planta mais susceptível a déficits hídricos, prejudicando sua sustentação e restringindo a exploração de nutrientes a um pequeno volume de solo (SINGH, 1999). Além disso, segundo Fitter (1996), quando um nutriente é fornecido em baixa quantidade, as raízes reduzem o diâmetro e aumentam em comprimento, resultando em maior comprimento radicular específico.

### **Importância do Sistema Radicular**

O sistema radicular das plantas terrestres possui funções primárias de fixação, absorção, condução de água e nutrientes do solo, bem como, armazenamento, síntese de reguladores de crescimento, propagação e dispersão, classificadas como funções secundárias (GIBBENS e LENZ, 2001).

O seu crescimento é governado por dois processos básicos: síntese de material orgânico pela parte aérea (fotossíntese) e absorção de água e nutrientes via raízes. Estes processos interagem de forma que a assimilação de gás carbônico na parte aérea é necessária para o crescimento do sistema radicular e a absorção radicular é imprescindível para o desenvolvimento da parte aérea (SCHUURMAN e GOEDEWAAGEN, 1971). Então, um bom manejo é importante para melhorar a recuperação e produção das plantas forrageiras. Pois estas armazenam carboidratos e proteínas que influenciam diretamente na capacidade de rebrota da planta após a desfolhação, além de serem responsáveis pela sua produção e perenidade (HERLING et al., 2001).

O armazenamento e a produção de substâncias de reserva nas raízes e base dos colmos é um mecanismo que as plantas forrageiras utilizam para emitir o rebrote após uma desfolha intensa (2 a 3 cm do solo). Através deste

manejo, a energia total proveniente da fotossíntese realizada pelo remanescente da área foliar não é suficiente para sobrevivência da planta, levando-a a mobilizar suas substâncias de reserva. Os carboidratos não estruturais são então mobilizados para o início do rebrote da pastagem. O rebrote evolui e adquire capacidade fotossintética, com a consequente formação de carboidratos não estruturais. Este processo vai acumulando energia na parte aérea até que haja um excedente, que migra para a base da planta e para o seu sistema radicular, reabastecendo suas reservas e preparando a planta para um novo pastoreio (MACHADO, 2004).

A capacidade de absorção do sistema radicular não aumenta em função do aumento do comprimento de raiz ou de sua área. Enquanto novas raízes com alta capacidade de absorção estão sendo produzidas, raízes velhas tornam-se menos permeáveis (KRAMER, 1983). As modificações anatômicas que ocorrem durante a maturidade dos tecidos por suberização, cutinização, formação de tecidos secundários e outros, determinarão o padrão de absorção pelas raízes velhas (HOPKINS, 1995).

### **Fatores que Influenciam o Desenvolvimento Radicular**

#### **- Desfolha**

A desfolha é a remoção de uma porção ou de toda a parte aérea da planta. Conforme Corsi et al. (2001); Donaghy e Fulkerson (2002), o crescimento, a distribuição e a morte das raízes da planta forrageira também são influenciados pela desfolha, que, por sua vez, promove redução na massa seca de raízes após o pastejo geralmente proporcional à intensidade e à frequência de desfolha. As diferentes respostas das plantas a estes processos estão intimamente relacionados pelo método de desfolhação, que representa um momento de estresse para a planta. Mas, não é o pastoreio a fundo que leva à degradação do sistema radicular e sim, o fato de não ser respeitado um período mínimo de repouso, suficiente para as plantas restabelecerem seu sistema de reservas. Se isso não for respeitado, ocorre o exaurimento

progressivo das reservas do sistema radicular e conseqüente redução progressiva da parte aérea.

Conforme Corsi e Nascimento Junior (1994), quando a produção de matéria seca diminui sensivelmente, reduzindo a lotação animal, a planta forrageira já diminuiu drasticamente o sistema radicular, perfilhamento, expansão foliar e níveis de reserva de carboidrato em raízes e hastes. A redução do sistema radicular após a desfolha pode ser considerada como mecanismo desejável de adaptação, a qual antecipa o restabelecimento da área foliar e o equilíbrio desta com o crescimento radicular (RICHARDS, 1984).

O uso da planta tanto para corte ou pastejo interrompe o crescimento das raízes logo nas primeiras 24 horas e atinge a maior parte do sistema radicular acarretando morte e decomposição das raízes mais velhas (CECATO et al, 2004). Dovrat et al. (1980) enfatizaram que os efeitos mais significativos sobre o sistema radicular são observados na primeira e segunda semana após o corte ou pastejo em seguida ha uma tendência na retomada do crescimento. A partir deste momento, de acentuada redução na matéria seca de raízes, o incremento na massa radicular tende a apresentar uma taxa mais ou menos constante e proporcional ao crescimento da parte aérea (DOVRAT et al., 1980).

Por um lado, esta perda de raízes determina para a planta forrageira uma menor capacidade de absorção de água e nutrientes. Por outro lado, ela não deve ser vista apenas por este aspecto negativo, pois a redução na massa radicular imediatamente após a desfolha parece ser uma estratégia fisiológica da planta forrageira que busca proporcionar uma rápida recuperação da parte aérea (rápida retomada do processo fotossintético) e conseqüente equilíbrio positivo de carbono na planta, através da diminuição da demanda de carbono pelo sistema radicular (RICHARDS, 1993).

Segundo Briske (1991), os carboidratos são usados apenas para a respiração e manutenção de raízes poucos dias após a desfolhação. O mesmo autor salienta também, a importância da rápida recuperação do índice de área foliar (IAF) após corte ou desfolha, bem como sugere que outros compostos

como proteínas, ácidos orgânicos e hemicelulose poderiam também contribuir com energia para a rebrota. Dependendo da severidade da desfolha, a planta entra em balanço negativo de carbono, reduzindo o crescimento de raízes (SANDERSON et al., 1997). Verificou-se também, que a maior intensidade de pastejo determinou uma menor taxa de crescimento e um período mais longo para a retomada do crescimento do sistema radicular.

Em trabalhos com raízes de azevém outros autores informaram que ocorreu paralisação no desenvolvimento das mesmas após a desfolha priorizando a recomposição da parte aérea da planta. Ainda há diminuição do sistema radicular e aumento da mortalidade de raízes, quando se aumenta a intensidade de pastejo (DONAGHY e FULKERSON, 1998). Esses mesmo autores observaram que uma elongação do sistema radicular varia 4 dias após a desfolha para manejo adequado da forragem, e 8 dias para situações de desfolha mais intensa. Costa e Saibro (1985) constataram reduções superiores a 30% no peso seco de raízes de *Paspalum guenoarum* submetido a cortes a 5 cm acima do solo (17,6 g/vaso), comparativamente a cortes a 10 cm (26,1 g/vaso), independentemente do estágio de crescimento das plantas (vegetativo, pré-florescimento e florescimento).

#### **- Pisoteio e Compactação**

As plantas forrageiras (parte aérea, sistema radicular) são importantes ferramentas atuando no sentido de reduzir os efeitos indesejáveis que o pisoteio ocasiona (KERBER, 2005). Quando os tempos de repouso não são respeitados, a pastagem entra em declínio produtivo, com redução da parte aérea e conseqüentemente do sistema radicular, diminuindo seu poder de amortecimento.

As alterações nas propriedades físicas do solo provocadas pelo pisoteio animal dependem, da intensidade e frequência do pastoreio, das características das forrageiras (hábito de crescimento), da textura da camada superficial do solo, da unidade no momento do pastoreio e dos condicionadores do pastejo como bebedouros e cochos de sal (HERLING, 2004).

Entende-se como compactação, segundo Camargo e Alleoni (1997), a compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução de seu volume, resultando na expulsão de ar dos poros do solo. Em solo compactado, o sistema radicular concentra-se próximo à superfície (MULLER et al., 2001), tornando a planta mais susceptível a déficits hídricos e com limitada capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (ROSOLEM et al., 1994). Para Camargo e Alleoni (1997), outros atributos físicos do solo como aeração, temperatura e resistência mecânica à penetração são modificados afetando também atributos químicos (disponibilidade dos nutrientes para as plantas), biológicos (condições do solo para o desenvolvimento de microrganismos) e a região ocupada pelas raízes. Solos compactados oferecem resistência mecânica ao desenvolvimento do sistema radicular, causando mudanças na sua morfologia, afetando seu diâmetro, comprimento e ramificações, criando um ambiente desfavorável para o crescimento e desenvolvimento das plantas (KERBER, 2005) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características do sistema radicular de plantas de trigo (49 dias após a semeadura) crescendo em diferentes ambientes.

<b>Característica</b>	<b>Solo compactado</b>	<b>Solo sem compactação</b>
Raízes seminais (número)	4,5 - 5,2	4,5 - 5,2
Profundidade do sistema radicular	15 - 30	60 - 100
Taxa de alongamento de raízes seminais (cm/d)	0,60	1,78
Diâmetro das raízes (mm)	1,19	0,86
Relação sistema radicular/parte aérea aos 49 dias	3,8	7,7
Concentração de nutrientes g/kg de raiz seca		
N	33,7	39,3
P	4,7	4,9
K	28,9	32,8

Atwell, citado por Gregory (1994)

A presença de camada compactada superior à capacidade de penetração das raízes, muitas vezes aumenta o diâmetro radicular. Este fenômeno, dependendo da espécie, leva a diferentes comportamentos. Em alguns casos, existe desvio no crescimento de raízes, que expandem lateralmente, paralelas à superfície do solo já em outras, há aumento no diâmetro, resultando em uma maior pressão de crescimento, proporcionando a penetração na camada compactada (SILVA e ROSOLEM, 2001). Entretanto, plantas com raízes profundas, de crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados, principalmente em associação de espécies, dentro de sistema de rotação de culturas. Ao crescer as raízes exercem pressão contra as partículas do solo, afastando-as, para permitir seu alongamento.

Ferrero (1991), avaliando o efeito da compactação do solo pelo pisoteio animal no desenvolvimento de duas espécies de plantas forrageiras (*Lolium perenne* e *Phleum pratense*) com diferentes taxas de estabelecimento e suscetibilidade ao pisoteio do solo, observou que a compactação afetou o desenvolvimento das gramíneas reduzindo a produção de matéria seca e alongação de raízes. Dessa forma, a estrutura do solo favorável ao crescimento do sistema radicular é a condição necessária para obtenção e a manutenção de elevadas produtividades, devendo possuir baixa resistência a penetração das raízes e espaço poroso adequado ao movimento de água e gases (IMHOFF et al., 2000).

Práticas de manejo podem reduzir a compactação do solo por pisoteio animal. Segundo Townsend et al. (2012), a implantação de leguminosas forrageiras, gradagem e aração, proporcionou efeitos benéficos na diminuição da compactação de um Latossolo Amarelo distrófico, textura argilosa, sob pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Porto Velho.

É válido ressaltar que a quantificação do grau de compactação de um solo, pode ser avaliada a partir de diversos atributos do solo, tais como: porosidade, densidade, infiltração de água, resistência ao penetrômetro. Esse último parâmetro vem sendo bastante difundido e utilizado dado sua facilidade e rapidez de determinação, no entanto a interpretação de seus resultados

requer certa precaução, pois está diretamente relacionado a textura e densidade do solo, e inversamente a umidade do mesmo (MANIERI, 2005; TOWNSEND et al., 2012).

### **- Umidade do solo**

A umidade é o fator mais importante na determinação da magnitude de deformação que pode ocorrer no solo quando determinada pressão é aplicada (MOSADDEGHI et al., 2000). Portanto, o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular em condições de umidade do solo estão associados a sua textura, topografia e a pressão aplicada (animais ou máquinas) sobre o solo.

No umedecimento a água facilita o deslocamento entre as partículas do solo, propiciando um ambiente favorável ao crescimento de raízes. Quando diminui a umidade do solo, o efeito lubrificante da água entre as partículas do solo cessa e, com isso, aumenta a pressão a ser exercida para expansão radicular, até a ocorrência de situações considerada limitantes ao crescimento. As variações na umidade do solo estão ligadas aos níveis de compactação impostos e aos ciclos de umedecimento e secagem, consequentes das precipitações e estiagens. Wilcox et al. (2004) explicaram que em áreas de clima árido, a umidade do solo é geralmente tida como principal fator a afetar o crescimento radicular, enquanto outros estudos reforçam a hipótese de que a temperatura do solo atua secundariamente. Costa e Rodrigues (1986) constataram que os rendimentos de raízes de *Leucaena leucocephala* foram diretamente proporcionais aos níveis de umidade do solo (4,37; 5,48 e 6,39 g/vaso, respectivamente para 80, 100 e 120% da capacidade de campo). Os teores de cálcio da leguminosa não foram afetados pela umidade do solo, contudo os de fósforo foram favorecidos com o aumento dos níveis de umidade.

Segundo Sudzuki-Hills (2001), a falta de umidade no solo por períodos mais prolongados, provoca a morte de um percentual das raízes, que se renovam com o retorno da umidade ao solo. A importância da longevidade das folhas não reside somente na manutenção da qualidade da forragem, mas

desempenha papel fundamental no sentido de determinar o intervalo entre pastejos. Em azevém, uma gramínea típica de clima temperado, cada perfilho possui três folhas e o intervalo de aparecimento de cada uma é de 11 dias, havendo renovação completa da parte aérea a cada 33 dias, recomendando-se um intervalo de pastejo de 30 dias para evitar morte de folhas. No caso do capim-elefante, em que há maior longevidade das folhas, conferida pela presença da haste, o intervalo entre pastejos pode ser ampliado, recomendando-se um ciclo de pastejo de 45 dias para aproveitamento máximo da forragem produzida (CORSI et al., 2001).

### **- Fertilidade**

A baixa produtividade das forrageiras ou a sua diminuição com o passar dos anos após o estabelecimento em solos tropicais, tem como causas principais: a toxidez de alumínio e manganês e a baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N) (RAO et al., 1995). Um maior entendimento da utilização desses nutrientes é de essencial importância para o desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente da produção de biomassa da forrageira.

O alumínio traz prejuízos ao desenvolvimento do sistema radicular, devido ao seu efeito tóxico às plantas (MIGUEL et al., 2010). Quando livre na solução do solo, o íon  $Al^{3+}$  pode ser absorvido pelas plantas, provocando alterações no crescimento e na conformação das raízes. As altas concentrações de alumínio no interior das células vegetais provocam geralmente uma redução no crescimento radicular, o aumento do diâmetro da raiz e diminuição da quantidade de ramificações, dificultando a absorção de água e de nutrientes (SOUSA et al., 2007).

O N é considerado como o principal nutriente para as plantas, sendo exigido em quantidades substanciais, conforme observaram Magalhães et al. (2012) e Sousa et al. (2013). Os teores de N total tendem a ser mais elevados na parte aérea do que nas raízes (CECATO et al., 2001). Quando ocorre deficiência de N, as formas solúveis são reduzidas nos tecidos. Prosseguindo a

deficiência, ocorre a mobilização do N-proteico dos tecidos mais velhos para os mais novos. Por outro lado, quando o nível de N supera o necessário para o crescimento, as formas solúveis começam a acumular-se nos tecidos (MILLS e JONES, 1979). De fato, até 70 a 80% do N presentes na parte aérea na primeira semana após o corte ou pastejo, pode ser proveniente da translocação a partir de raízes e hastes, sendo o restante proveniente da absorção de N a partir do solo (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996). Costa e Saibro (1984) reportaram incrementos lineares na produção de raízes de *P. guenoarum*, em função da adubação nitrogenada (0, 100, 200, 300 e 400 kg de N/ha), independentemente do nível de desfolhação (5 ou 10 cm).

O potássio (K) é o segundo nutriente mais retirado do solo pelas plantas (GODOY et al., 2007; COSTA et al., 2012a). A relevância do K para as plantas decorre de suas diversas funções, onde se citam a melhor eficiência de uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos, maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta, maior eficiência enzimática (MALAVOLTA et al., 1997; LAVRES JUNIOR e MONTEIRO, 2002). Geralmente, a difusão é o mecanismo dominante do transporte de K até às raízes das plantas (MARSCHNER, 1995).

Com grande influência na produtividade de plantas forrageiras, o P também considerado um nutriente essencial às plantas (COSTA et al., 2006; 2012b; 2013), é importante principalmente no desenvolvimento radicular, o que contribui para uma maior absorção de água e nutrientes (OLIVEIRA, 2008). Embora seja, de acordo com Holford (1997), o segundo nutriente essencial mais limitante à produção agrícola, depois do N, nos solos tropicais altamente intemperizados, como os Latossolos, a manutenção de bons níveis de P disponível, ou lábil, torna-se particularmente importante, uma vez que o íon fosfato ( $H_2PO_4^-$ ) é facilmente preso às estruturas dos óxidos, hidróxidos e oxidróxidos de ferro e alumínio. Uma vez fixado, o íon fosfato passa a ser indisponível às plantas, pois a força de ligação dos colóides do solo é muitas vezes superior à capacidade de absorção radicular. Somado a estes fatos, a

deficiência de P na planta restringe a absorção, assimilação e translocação de N (GNIAZDOWSKA et al., 1999).

Ao estudarem o efeito do P na cultura do guandu, Oliveira et al. (2007) constataram a ação positiva deste na produção de matéria seca de raízes e que existiu uma relação direta do elemento com o desenvolvimento radicular.

### **- Estresse hídrico**

O estresse hídrico desenvolve-se na planta quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e o transporte de água (BERKOWITZ, 1998). Acredita-se que as raízes atuam como sensores do déficit de água no solo, que é detectado pelas células-guarda dos estômatos, mesmo antes de qualquer déficit hídrico ser observado nas folhas (SALAH e TARDIEU, 1997), por meio de sinais (ácido abscísico) enviados à parte aérea da planta. Além de estimular a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo.

De acordo com Hoogenboom et al. (1987) em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo. Estudos demonstram que o maior desenvolvimento das raízes ocorre nas camadas de solo, cuja disponibilidade de água foi maior. A disponibilidade de água para as plantas tem sido avaliada de acordo com a delimitação de um intervalo de qualidade física do solo ideal ao crescimento vegetal, o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO). O IHO é determinado pela interação de três fatores: aeração, resistência do solo à penetração e água disponível às plantas. Geralmente a maior limitação à absorção radicular em solos tropicais cultivados é a densidade do solo, como verificado por Petean et al. (2010), que determinaram o IHO de um LATOSSOLO Vermelho distroférico sob plantio direto em um sistema de integração lavoura-pecuária. Outra consequência é o aumento da senescência das folhas (WRIGHT et al., 1983); isto ocorre porque o solo seco não pode fornecer N suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura, e o N do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento (BALL et al., 1994); entretanto, a

intensidade da senescência depende da quantidade de N no solo, das reservas de N na planta e da demanda de N dos pontos de crescimento (WOLFE et al., 1988).

O efeito do estresse por saturação hídrica do solo sobre as plantas é complexo e dependente do estágio de desenvolvimento da planta (SALISBURY e ROSS, 1992) e da duração desse estresse (GOMES et al., 1992). As plantas susceptíveis ao estresse hídrico exibem mudanças nos processos metabólicos e fisiológicos. Fatores como: redução na condutância radicular gerando murchamento do vegetal, fechamento estomático, redução da absorção de água e conseqüentemente da fotossíntese (translocação de carbono), estão entre as primeiras respostas ao encharcamento (BARUCH, 1994). Outras mudanças em sequencia incluem diminuição na permeabilidade das raízes, alterações no balanço de hormônio do crescimento, epinastia das folhas, clorose e abscisão, levando a interrupção do crescimento vegetativo e reprodutivo (COSTA, 2004).

Segundo Humphreys (1981), a inundação ou má drenagem em solos onde vegetam espécies forrageiras susceptíveis ao excesso hídrico, são fatores que atuam diretamente na deficiência de oxigênio para o desenvolvimento de raízes, sendo, portanto causa de morte dessas forrageiras, pois reduz a respiração da raiz, diminuindo a disponibilidade energética e a absorção de nutrientes.

A saturação hídrica do solo, aplicada a leguminosas, prejudica o desenvolvimento das raízes e da parte aérea e também a fixação de N pelo sistema radicular, em virtude de reduzir o oxigênio para os nódulos, resultando numa conseqüente redução do número de nódulos por área radicular (DE WIT, 1978). Em estudos com gramíneas forrageiras (*A. gayanus* e *H. rufa*), Baruch (1994) verificou que os excessos hídricos nas gramíneas apresentaram um rápido fechamento estomático contribuindo para redução no turgor das folhas. Essas baixa condutância estomática foi responsável pela redução da fotossíntese líquida e da taxa de crescimento.

Em relação à absorção de nutrientes, Huang (2000) descreveu que absorção de nutrientes como N, K e P, frequentemente são inibidos pelo alagamento dos solos, o qual reduz o suprimento para a parte aérea das plantas. Contudo, outros nutrientes têm seus teores afetados de maneira inversa como magnésio e zinco que tendem a se acumular nos tecidos radiculares.

### **Considerações Finais**

O estudo dos sistemas radiculares é de extrema importância para elevar a produção da biomassa da parte aérea e o aproveitamento pelos animais, maximizando assim a produção animal.

### **Referências Bibliográficas**

- BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D.M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. *Agronomy Journal*, Madison, v.86, p. 788-795, 1994.
- BARUCH, Z. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses.I. Biomass allocation, leaf growth and mineral nutrients. *Plant and Soil*, The Hague, v.164, n.1, p.87-96, 1994.
- BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: Funep, 1988. 42p.
- BERKOWITZ, G.A. *Water and salt stress*. In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed.). *Photosynthesis: comprehensive treatise*. Cambridge: Cambridge University, 1998. p.226-237.
- BRISKE, D.D. *Developmental morphology and physiology of grass*. In: HEITSCHIMIDT, R.K.; STUTH, J.W. (Ed) *Grazing management: an ecological perspective*. Portland: Timber Press, 1991. p.11-26.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. *Compactação do solo e o desenvolvimento e plantas*. Escola Superior Luiz de Queiroz: Piracicaba. 1997. 132p.
- CECATO, U.; CANO, C.C.P.; BORTOLO, M. et al. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em *coastcross-1 (cynodon dactylon (L.) Pers)* pastejado por ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.30, n.3, p.644-650, 2001.
- CECATO, U.; JOBIM, C.C.; REGO, F.C.A. et al. Sistema radicular – componente esquecido das pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.159-207.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C. Avaliação de métodos de obtenção e de análise de imagens digitais de raízes. *Magistra*, v.18, n.3, p.146-151, 2006.
- COPPIN, N.; STILES, R. *Ecological principles for vegetation establishment and maintenance*. In: MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J. (Ed.). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. London, EFN SPON, 1995. p.59-94
- CORSI, M.; MARTHA JR., G.B.; PAGOTTO, D.S. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: MATTOS, W.R.S. (Ed.) *A produção animal na visão dos brasileiros*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p.838-852.

CORSI, M.; NASCIMENTO Jr, D. *Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicados no manejo de pastagens*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.) Pastagens: fundamentos da exploração racional. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.15-48.

COSTA, M.N.X. da. *Desempenho de duas gramíneas forrageiras tropicais tolerantes ao estresse hídrico por alagamento em dois solos glei húmicos*. 2004. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

COSTA, N. de L.; ALCANTARA, V.B.G.; MAGALHÃES, J.A.; PAULINO, V.T.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A.; NASCIMENTO, L.E. da S.; RODRIGUES, M.J.A. Resposta de *Cassia rotundifolia* CIAT-7792 à inoculação de micorrizas arbusculares e adubação com fosfato de rocha. *Pubvet (Londrina)*, v.7, Art#1511, 2013.

COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J.A.; CARNEIRO, M.S.S.; MAGALHÃES, J.A.; XAVIER, T.F.X.; NASCIMENTO, L.E. da S.; FURTADO, F.M.V. Produção e composição química de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de potássio. *Pubvet (Londrina)*, v.6, Art#1388, 2012a.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; LUCENA, M.A.C.; LOPES, R.B.; SCHUNKE, R.; MAGALHAES, J.A.; NASCIMENTO, L.E.S. Resposta de *Pueraria phaseoloides* (Benth.) à adubação fosfatada em presença ou não de fungo micorrízico. *Pubvet (Londrina)*, v.6, Art#1315, 2012b.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. Resposta de *Arachis pintoï* cv. Amarello à níveis de fósforo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, p.59-62, 2006.

COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A. Efeito da umidade do solo sobre o crescimento e absorção de cálcio e fósforo pela leucena (*Leucaena leucocephala* Lam.). *Agropecuária Técnica*, v.7, n.1, p.10-18, 1986.

COSTA, N. de L.; SAIBRO, J.C Adubação nitrogenada, épocas e alturas de corte em *Paspalum guenoarum* Arech. *Agronomia Sulriograndense*, v.20, p.31-49, 1984.

DE WIT, M.C. *Metabolic adaptation to anoxia*. In: HOOK, D.D., CRAWFORD, E.M.M. Plant life in anaerobic environments. Michigan: Ann Arbor Science, 1978. p.333-350.

DONAGHY, D.J.; FULKERSON, W.J. Priority for allocation of water soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science*, v.53, p 211-218, 1998.

DONAGHY, D.J.; FULKERSON, W.J. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on Summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. *Grass and Forage Science*, v.57, p.351-359, 2002.

DOVRAT, A.; DAYAN, E.; VAN KEULEN, H. Regrowth potential of shoot and of roots of Rhodes grass (*Chloris gayana*) after defoliation. *Netherland Journal of Agricultural Science*, v.28, p.185-199, 1980.

FERRERO, A.F. Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. *Soil Tillage Research*, v.19, p.319-329, 1991.

FITTER, H.A. *Functional significance of root morphology and root system architecture*. In: BRITISH ECOLOGICAL SOCIETY. Ecological interactions in soil: plants, microbes and animals. Oxford: A. H Fitter, 1985. p.87-106.

FITTER, H.A. *Characteristics and functions of root systems*. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Eds.) Plant roots: the ridden half. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-20.

GIACOMINI, A.A.; MATTOS, W.T.; MATOS, H.B. et al. Crescimento de raízes dos capins aruana e Tanzânia submetidos a duas doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.4, p.1109-1120, 2005.

GIBBENS, R.P.; LENZ, J.M. Root systems of some Chihuahuan Desert plants. *Journal of Arid Environments*, v.49, n.2, p.221-263, 2001.

GNIAZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. et al. Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.551-563, 1999.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BOAS, R.L.; BACKES, C. et al. Doses de nitrogênio e potássio na produção de grama esmeralda. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.5, p.326-332, 2007.

GOMES, A.S.; SOUZA, R.O.; LERÍPIO, A.A. Produtividade do arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 20., 1992, Pelotas. *Anais...* Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1992. 305p. p.108-112.

GOSS, M. Root distribution growth and turnover. In: DAVIES, A.; BAKER, R.D.; GRANT, S.A.; LAIDLAW, A.S. (Ed.) *Sward measurement handbook*. 2ed. Reading: British Grassland Society, 1993. p.157-182.

GREGORY, P.J. *Root growth and activity*. In: Physiology and determination of crop yield. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p.65-93.

GRISE, M.M.; PELISSARI, A.; FERNANDES, A.C.; VALERIO, S. Desenvolvimento radicular em pastagem de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) mais azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) em resposta ao pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande-MS. *Anais...* Campo Grande: SBZ, 2004.

HERLING, V.R.; RODRIGUES, L.R.A; LUZ, P.H.C. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: planejamento e sistemas de produção em pastagens, 18., 2001, Piracicaba-SP. *Anais...* Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2001. p.157-192.

HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, p.227-239, 1997.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON C.M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agronomy Journal*, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

HOPKINS, W.G. *Introduction to plant physiology*. New York: John Wiley, 1995. 464p.

HUANG, B. *Waterlogging responses and interaction with temperature, salinity and nutrients*. In: WILKINSON, R.E (Ed.). Plant-environments interactions. New York: Marcel Dekker, 2000. Cap.8. p.263-282.

HUMPHREYS, L.R. *Environmental adaptation of tropical pasture plants*. London: McMillon, 1981. 261p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

KERBER, R. L. *Avaliação da implantação de um sistema de pastoreio racional voisin no Colégio Agrícola de Camboriú*, 2005, 133f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KRAMER, P. J. *Water relations of plants*. Orlando: Academic press, 1983. 489p.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. *Tissue flows in grazed plant communities*. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed). The ecology and management of grazing systems. Wallingford: CAB International, 1996 p.3-36.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F.A. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para produção e nutrição do capim-Mombaca. *Boletim de Indústria Animal*, v.59, n.2, p.101-114, 2002.

MACHADO, P.C.L. *Pastoreio racional voisin*. Tecnologia agroecológica para o terceiro milênio. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2004.

MACLEOD, R.D.; CRAM, W.J. *Forces exerted by tree roots*. Survey: The Arboricultural advisory and deformation service, 1996. (Arboriculture Research and Information Note, 134).

MAGALHÃES, J.A.; CARNEIRO, M.S. de S.; ANDRADE, A.C.; PEREIRA, E.S.; SOUTO, J.S.; PINTO, M.S. de C.; RODRIGUES, B.H.N.; COSTA, N. de L.; MOCHEL FILHO, W.J.E. Eficiência do nitrogênio, produtividade e composição do capim-andropogon sob irrigação e adubação. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, v.61, n.236, p. 577-588, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.319p.

MANIERI, J.M. *Utilização de um penetrômetro de impacto combinado com sonda de TDR para medidas simultâneas de resistência e de umidade do solo na avaliação da compactação em cana-de-açúcar*. Campinas: IAC, 2005, 82f. (Dissertação de Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical).

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MIGUEL, P.S.B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. *CES Revista*, Juiz de Fora, v.24, p.13-29, 2010.

MILLS, H.A.; JONES JR.; J.B. *Nutrient deficiencies and toxicities in plants: nitrogen*. *Journal of Plant Nutrition*, n.1, v.2, p.101-122, 1979.

MOSADDEGHI, M.R.; HAJABBASI, M.A.; HEMMAT, A. et al. Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.55, n.½, p.87-97, May 2000.

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

OLIVEIRA, F.T. de. *Crescimento do sistema radicular da Opuntia fícus indica (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada*. 2008. 76f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Patos - PB, 2008.

OLIVEIRA, F.T.; SOUTO, J.S.; SOUTO, P.C. et al. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado-RS. *Anais...* Gramado-RS, 2007.

PEQUENO, P.L.L. *Sistema radicular de leguminosas: efeito em algumas propriedades de um podzólico vermelho-amarelo*. Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 1999, 55f. (Dissertação Mestrado).

PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A.; ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.5, p.1515-1526, 2010.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biologia vegetal*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C<sub>4</sub> grasses and C<sub>3</sub> legumes. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, p.2135-2155, 1995.

RICHARDS, J.H. *Physiology of plant recovering from defoliation*. In: BAKER, M.J. (Ed.) *Grasslands for our world*. Wellington: Sir Publishing, 1993. p.46-54.

RICHARDS, J.H. Root growth response to defoliation in two *Agropyron* bunchgrasses: field observation with an improved root periscope. *Oecologia*, v.64, p.21-25, 1984.

ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.491-497, 1994.

SALAH, H.B.H.; TARDIEU, F. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. *Plant Physiology*, v.114, n.3, p.893-900, 1997.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. *Plant physiology*. 4.ed. California: Wadsworth, 1992. 682p.

SANDERSON, M.A.; STAIR, D.W.; HUSSEY, M.A. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. *Advances in Agronomy*. v.59, p.171-224, 1997.

SARMENTO, P. et al . Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.37, n.1, 2008.

SCHUURMAN, J.J.; GOEDEWAAGEN, A.J. Methods for the examination of root system and roots. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1971. 86p.

SILVA, V.R; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, n.25, p.253-260, 2001.

SINGH, K.A. Effect of nitrogen levels on yield, root biomass distribution, nitrogen recovery by forage grasses and changes in soil properties of acid Inceptisol. *Indian Journal of Agricultural Science*, v.69, p.551-554, 1999.

SMITH, J.P.; LAWN, R.J.; NABLE, R.O.; HOGARTH, D.M. Investigations into the root: shoot relationship of sugarcane, and some implications for crop productivity in the presence of sub-optimal soil conditions. In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1999, Townsville, Queensland, Australia. *Proceedings...* Brisbane, PK Editorial Services, 1999. p.108-113.

SOUSA, A.R.; ANDRADE, A.C.; MAGALHÃES, J.A.; MEHL, H.U.; RODRIGUES, B.H.N.; BITENCOURT, A.B.; SILVA, E.M.; FOGACA, F.H.S.; COSTA, N. de L. Produtividade do capim-Marandu sob diferentes doses de nitrogênio. *Pubvet (Londrina)*, v.7, Art#1510, 2013.

SOUSA, D.M.D.; MIRANDA, L.N.D.; OLIVEIRA, S.A.D. Acidez do Solo e sua Correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.D.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.206-268.

SUDZUKI-HILLS, F. *Anatomia e fisiologia*. In: Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 28-34.

TOWNSEND, C.R.; COSTA, N. de L.; MENDES, A.M.; PEREIRA, R.G. de A.; NASCIMENTO, L.E. da S. ; MAGALHÃES, J.A. Compactação de um Latossolo Amarelo sob pastagem submetida a diferentes métodos de introdução de leguminosas forrageiras. *Pubvet (Londrina)*, v.6, Art#1339, 2012.

WILCOX, C.S.; FERGUSON, J.W.; FERNANDEZ, G.C.J.; NOWAK, R.S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. *Journal of Arid Environments*, v.56, n.1, p.129-148, 2004.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C. et al. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*, Madison, v.80, p.859-864, 1988.

WRIGHT, G.C.; SMITH, R.G.; McWILLIAM, J.R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.34, p.615-626, 1983.