

BIOMETRIA, RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS DO
COQUEIRO ANÃO VERDE EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO,
LÂMINA DE IRRIGAÇÃO E CLASSE DE SOLO

ANDERSON LOPES PEÇANHA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
ABRIL - 2007

BIOMETRIA, RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS DO
COQUEIRO ANÃO VERDE EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO,
LÂMINA DE IRRIGAÇÃO E CLASSE DE SOLO

ANDERSON LOPES PEÇANHA

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Produção
Vegetal

Orientador: Prof. Cláudio Roberto Marciano

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
ABRIL - 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA/ UENF 051/2007

Peçanha, Anderson Lopes

Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo / Anderson Lopes Peçanha. – 2007.

78 f. : il.

Orientador: Cláudio Roberto Marciano

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

Bibliografia: f. 67– 75.

1. *Cocos nucifera* L. 2. Densidade do solo 3. Umidade do solo 4. Relações hídricas 5. Trocas gasosas I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD– 634.61

BIOMETRIA, RELAÇÕES HÍDRICAS E TROCAS GASOSAS DO
COQUEIRO ANÃO VERDE EM FUNÇÃO DA COMPACTAÇÃO,
LÂMINA DE IRRIGAÇÃO E CLASSE DE SOLO

ANDERSON LOPES PEÇANHA

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
obtenção do título de Mestre em Produção
Vegetal

Aprovada em 02 de abril de 2007

Comissão Examinadora:

Prof. Marcos Gervásio Pereira (Ph.D., Ciência do Solo) - UFRuralRJ

Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Conselho do Curso de Pós Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pela ajuda financeira para a execução do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao mestre Cláudio Roberto Marciano, exemplo de ser humano, pela orientação, ensinamentos, amizade e participação na realização deste sonho.

Ao mestre Eliemar Campostrini, pelos ensinamentos, amizade e por contribuições que permitiram executar este trabalho e continuar sonhando.

Ao mestre Elias Fernandes de Souza, pela colaboração e ensinamentos.

Aos mestres Ricardo Garcia e Sérgio Tibana, pelo empréstimo da prensa hidráulica e do Proctor normal, respectivamente.

Ao mestre Fábio Lopes Olivares, pelo convívio, ajuda e exemplo profissional.

Aos professores do Curso de Agronomia da UFRuralRJ, em especial ao Mestre Marcos Gervásio Pereira, pelos ensinamentos iniciais.

Ao Romano Roberto Valicheski, pelo companherismo durante a implementação do experimento, e à Rejane Siqueira Bernardes, pelo apoio constante.

À Alena Torres Netto, pela ajuda nas avaliações fisiológicas, confecção dos gráficos e amizade.

Ao Leandro Gladyson Pinho, pela amizade e ajuda na análise estatística.

A todos do Laboratório de Solos, em especial ao Leonardo Barros Dobbs, pelo convívio tranquilo, e ao Sr. Zélio, pela constante alegria durante as pesagens dos vasos.

A todos da Estação Experimental da UENF-PESAGRO, em especial ao José Manoel, pela ajuda em todas as etapas do experimento.

Ao Horto Municipal de Quissamã pelas mudas de coqueiro.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram na realização deste trabalho.

Em especial, a minha esposa Leticia e a minha filha Paula, pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, Ciléa e Aroldo, por quem sou.

A minha madrinha Andréia, pela ajuda, ao padrinho Alexandre, que participou ativamente na finalização deste trabalho, e aos sobrinhos Andrei e Julia, pelas alegrias.

As minhas tias Cidnéa e Cidléa e a todos os primos, pela convivência e conselhos.

À Leila e Sérgio, pelos incentivos.

As minhas avós Hermínia, Yole e Gilda, pelo apoio, carinho e por proporcionarem a formação dessa família maravilhosa.

E a Deus, pela vida e saúde.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cocoicultura no Brasil	3
2.2. Classificação botânica e variedades do coqueiro	4
2.3. Morfologia do coqueiro	6
2.4. Ecofisiologia do coqueiro	7
2.5. Demanda hídrica do coqueiro	10
2.6. Solos do Norte Fluminense	12
2.7. Compactação do solo	14
2.8. Relações hídricas e trocas gasosas em solo compactado	16

3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Localização.....	20
3.2. Delineamento experimental e tratamentos	20
3.3. Coleta, amostragem e caracterização inicial dos solos utilizados no experimento	21
3.4. Acondicionamento dos solos nos vasos	25
3.5. Atributos físicos após a compactação	27
3.6. Plantio das mudas de coqueiro e tratos culturais	29
3.7. Implementação das condições hídricas.....	30
3.8. Condições de cultivo.....	31
3.9. Características avaliadas.....	33
3.9.1. Análises biométricas (ou morfológicas).....	33
3.9.2. Consumo de água	34
3.9.3. Análises fisiológicas	35
3.10. Análise de resultados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Análise biométrica (ou morfológica).....	37
4.2. Consumo de água	45
4.3. Análise fisiológica	52
5. RESUMO E CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÊNDICE.....	76

RESUMO

PEÇANHA Anderson Lopes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; abril 2007; **Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo**; Orientador: Professor Cláudio Roberto Marciano; Co-orientador: Professor Eliemar Campostrini.

O experimento foi realizado entre março de 2006 e janeiro de 2007, em casa de vegetação, em Campos dos Goytacazes - RJ. O delineamento foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo duas classes de solos, quatro níveis de compactação do solo e quatro condições hídricas, com 3 repetições, totalizando 96 parcelas. Cada parcela correspondeu a um vaso plástico com aproximadamente 100 litros. Os solos utilizados no experimento foram Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico, dos Tabuleiros Costeiros, e Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico gleico, da Baixada Campista. O acondicionamento dos solos nos vasos foi feito de modo a se obter em quatro níveis de compactação; o nível 1 correspondeu ao acondicionamento do solo sem aplicação de carga, e os níveis 2, 3 e 4 corresponderam a incrementos na densidade do solo de respectivamente 30%, 60% e 90% da amplitude da faixa de variação da densidade de cada solo (Δds). As condições hídricas foram implementadas a partir da definição, para cada solo e nível

de compactação, de uma umidade ótima ou de referência, que correspondeu ao nível 2. Os demais níveis foram definidos em relação a esta referência, sendo o nível 1 obtido pela elevação de $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na umidade do solo, e os níveis 3 e 4 obtidos pela redução de $0,04$ e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ da umidade do solo, respectivamente. Exceção feita à razão de área foliar, todas as demais variáveis morfológicas avaliadas - altura do coqueiro, circunferência da estipe, número de folhas, massa total e área foliar - sofreram efeitos significativos da classe de solo (as plantas crescidas no Cambissolo foram superiores às crescidas no Argissolo), compactação (funções quadráticas indicam maior desenvolvimento das plantas para incrementos na densidade do solo de 38% da Δds em relação à densidade mínima) e da irrigação (regressões lineares significativas indicam que a maior lâmina propiciou maior desenvolvimento dos coqueiros). O consumo diário de água pelos coqueiros, ao longo do tempo, passou de menos $0,5 \text{ L}$ aos 90 dias após plantio (DAP) para mais de $1,0 \text{ L}$ aos 280 DAP. O comportamento geral do consumo diário de água pode ser descrito, em relação à densidade, por uma função quadrática - sendo os maiores valores obtidos com incremento de 40% da Δds em relação à densidade mínima. Quanto à lâmina, por uma função linear crescente para o Cambissolo (maior consumo para a maior umidade) e por uma função quadrática para o Argissolo (maior consumo na umidade corresponde ao nível 2). A respeito da fisiologia, os coqueiros do Cambissolo apresentaram, em relação ao Argissolo, maiores valores de potencial hídrico foliar ante-manhã (Ψ_w) e para a leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC) - exceto para as maiores lâminas de irrigação -, para a taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e o rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) - exceto para as maiores lâminas, e menores valores para o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar. Os mais elevados conteúdos de água no solo levaram a valores menos negativos do Ψ_w para ambos os solos, e a maiores valores da LMPC para o Argissolo. A variável F_v/F_m apresentou, para o Argissolo, relação quadrática com a umidade, sendo seu valor máximo atingido próximo ao nível 2 deste fator. Não houve efeito da compactação do solo para as demais variáveis fisiológicas.

ABSTRACT

PEÇANHA Anderson Lopes; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; April 2007; **Biometry, water relations and gas exchange of green dwarf coconut plants as a function of compaction, irrigation and soil class**; Adviser: Professor Cláudio Roberto Marciano; Co-adviser: Professor Eliemar Campostrini.

The experiment was carried out among March 2006 and January 2007 in a greenhouse in Campos dos Goytacazes - RJ. The experimental design was a random-block with treatments in a factorial scheme 2 x 4 x 4, with two soil classes, four compaction levels and four soil moisture conditions, and three replications, with 96 total plots. A vase with 100 L of volume correspond an each plot. There were used a Typic Kandudult concerning in Tabuleiros Costeiros and Umbric Dystrochrept (USDA, 1990) in lowlands environment. The soil was conditioned in vase promoted four compaction levels. The level 1 was the minimum soil density, obtained without load application during the soil packed. In corresponded compaction levels 2, 3, and 4 had a increased in soil density of 30%, 60% and 90% of soil density range (Δd_s) for each soil. This range was obtained by difference among maximum (acquired in Proctor normal test) and minimum soil density. Irrigations levels were implemented as a function of moisture condition 2, which was reference or optimal moisture for each

soil and compaction level. Soil moisture increase of $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in condition 1, and decrease of $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ and $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ in soil moisture 3 and 4 respectively. Except leaf area rate, all others evaluated morphological variables - coconut height; stem circumference; leaf number; total mass; leaf area -, had expressive effects of soil class (coconut growth in Umbric Dystrochrept were higher than Typic Kandiudult), soil compaction (quadratic function indicates more development in 38% Δ ds increments) and irrigation (significant linear regressions shows that condition 1 promoted the best result in coconut growth). The use of water by coconut plants was crescent with time, about 0,5 L in 90 days after planting (DAP) period, and exceeding 1,0 L in 280 DAP period. Significant influence of interaction factors was observed soil x compaction x irrigation. In general order the water use was described by a quadratic function with relation to soil density, (the maximum consumption was observed with 40% Δ ds increment). About soil moisture, maximum water consumption was observed in condition 1 by Umbric Dystrochrept (linear crescent function) and soil moisture correspondent condition 2 by Typic Kandiudult (quadratic function). About physiologies attributes, Umbric Dystrochrept with relation to Typic Kandiudult was the greatest in - predawn water potential coconut (Ψ_w); SPAD reading (LMPC) - except to higher soil moisture condition -, CO_2 assimilation, stomata conductance, transpiration, and maximum quantum yield of photosystem II (F_v/F_m), - except to higher moisture condition -, and smallest in water vapour pressure deficit between leaf and air. Higher soil moisture conducted a smaller Ψ_w for each soil class, and higher LMPC for Typic Kandiudult. For F_v/F_m coconut's Typic Kandiudult, a quadratic as a function of soil moisture was shown and moisture condition 2 proportioned the maximum value. The F_v/F_m also presented quadratic as a function of soil moisture in compaction level 1 (maximum soil moisture close to condition 2), and in lower level of irrigation, quadratic relations with soil compaction (optimal compaction in 50% Δ ds increment beyond the minimum soil density). Effects of soil compaction were not observed in others physiologies variables.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, e na Região Norte Fluminense, o solo de extensas áreas encontra-se em avançado processo de degradação. Um dos principais aspectos que evidenciam essa degradação é a sua compactação. As conseqüências mais diretas da aproximação entre as partículas do solo no processo de compactação são o aumento da densidade e diminuição da porosidade do solo. Existem, no entanto, outras conseqüências, como a diminuição da infiltração e alteração da energia de retenção de água pelo solo, a formação de uma crosta superficial durante as chuvas (prejudicando a germinação de sementes) e o aumento da resistência mecânica do solo à penetração, que dificulta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Compactação é o processo pelo qual uma determinada quantidade de partículas passa a ocupar um volume de solo menor do que ocupava originalmente, o que ocorre em resposta à aplicação de uma carga externa. Um dos fatores que tornam a aplicação de uma determinada carga mais eficaz para promover a compactação do solo é a ocorrência de um conteúdo de água ótimo para o processo. Outro fator facilitador da compactação do solo é a redução do conteúdo de matéria orgânica decorrente do seu uso agrícola. Essa redução faz com que o solo tenha diminuídas sua estabilidade estrutural e capacidade de suporte de carga, uma vez que a matéria orgânica é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo.

Do ponto de vista físico, a recuperação das áreas degradadas passa obrigatoriamente pela elevação do conteúdo de matéria orgânica a níveis que permitam uma estabilidade estrutural compatível com o manejo implementado ao solo. Como, em geral, não é viável implementar essa elevação em curto prazo, e enquanto se busca essa recuperação em médio prazo, alternativas de manejo de solo devem ser buscadas para que se obtenha produtividade que permita seu uso agrícola, mesmo que fora de sua condição física ideal. Cabe ressaltar que estas mesmas alternativas poderão ser adequadas para conviver com a presença de horizontes coesos, camadas naturalmente adensadas, típica dos solos dos Tabuleiros Costeiros, muito expressivos na Região Norte Fluminense.

A irrigação é certamente a técnica de manejo mais adequada para se conseguir o exposto, pois permite manter a umidade do solo dentro de “limites adequados ao desenvolvimento da cultura”. Esses limites são usualmente estabelecidos considerando aspectos relacionados à energia de retenção da água no solo, principalmente o que se chama de água disponível às plantas, cujos valores de umidade máxima e mínima são, respectivamente, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Ao se considerarem aspectos relativos à aeração e resistência mecânica do solo, tais limites podem ser estabelecidos de forma mais refinada, principalmente se avaliados a partir da resposta fisiológica das plantas.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a morfologia, extração de água e a condição fisiológica de plantas jovens de coqueiro à permanência de seu sistema radicular em diferentes níveis de compactação e condições hídricas. Neste contexto, a principal hipótese testada pode ser assim enunciada: “A exposição do sistema radicular a condições de estresse hídrico e mecânico influenciará a biometria, o consumo de água, o potencial hídrico foliar e as trocas gasosas das plantas de coqueiro anão verde”.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cocoicultura no Brasil

No Brasil, a cocoicultura gera empregos e renda para mais de 500 mil pessoas envolvidas diretamente no processo de produção, além dos inúmeros empregos indiretos. A produção brasileira de coco está distribuída por quase todo o território nacional, com exceção dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em função das suas limitações climáticas durante parte do ano (Cuenca, 2002). A área destinada à colheita de coco no Brasil é de cerca de 292.200 ha, e a quantidade produzida chega à marca de 2.079.291 toneladas de frutos, com um rendimento médio de 7.157 kg por hectare, gerando aproximadamente 576 milhões de reais por ano (IBGE, 2005).

O aumento significativo da demanda por água de coco, observado nos últimos anos, gerou uma rápida expansão do plantio com coqueiros da variedade anã, a qual passou a ocupar áreas não-tradicionais de cultivo desta cultura. Quando se consideram as questões relacionadas com proximidade do mercado consumidor, a Região Sudeste, principalmente os Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, apresenta vantagens de localização em relação à Região Nordeste, possibilitando, assim, a oferta do produto a preços mais baixos. Além disso, esta região apresenta

maior renda *per capita*, favorecendo, inclusive, o estabelecimento de indústrias processadoras (Cuenca, 2002).

Com cerca de 12.205 ha e produção em torno de 175,5 milhões de frutos, o Espírito Santo possui a maior área destinada à colheita de coco na Região Sudeste. O Rio de Janeiro está na segunda posição, com área de plantio em torno de 5.500 ha e produção de 71,2 milhões de frutos (IBGE, 2005). São utilizados sistemas de produção intensivos e alto grau de tecnologia, de modo que a Região Sudeste chegou a atingir, em 2001, rendimento acima dos 14.869 frutos por hectare, tendo como destaque o Estado do Espírito Santo, que conseguiu médias superiores aos 15.169 frutos por hectare (Cuenca, 2002).

De acordo com o IBGE (2005), no Espírito Santo, a área plantada passou de 10.037 ha em 2001 para 12.203 ha em 2005, enquanto a produção de cerca de 153 milhões de frutos em 2001 passou para mais de 175 milhões em 2005. No Rio de Janeiro, a área de plantio e a produção de frutos passaram de 2.876 ha e 41 milhões de frutos em 2001 para 5.338 ha e mais de 71 milhões de frutos em 2005.

No Rio de Janeiro, a cultura do coqueiro ocupa o terceiro lugar em área colhida, possuindo um papel importante na economia do Estado, com geração de aproximadamente 29,8 milhões de reais por ano. O Município de Quissamã é o maior produtor de coco do Estado, com área de 1.020 hectares e produção anual de aproximadamente 13,5 milhões de frutos (IBGE, 2005).

2.2. Classificação botânica e variedades do coqueiro

O coqueiro possui a seguinte classificação botânica: Divisão - Espermatófita; Classe - Angiosperma; Subclasse - Monocotiledônea; Ordem - Principes (Arecales); Família - Palmae (Arecaceae); Tribo - Cocoidae; Gênero - Cocos; Espécie - *Cocos nucifera*; Nome vulgar - Coqueiro, coco da bahia (Siqueira et al., 2002).

De acordo com Siqueira et al. (2002), dentro do gênero Cocos, distinguem-se duas variedades principais: variedade gigante (*typica* Nar) e variedade anã (*nana* Griff). O coqueiro gigante é predominantemente de polinização cruzada, devido às flores masculinas se formarem antes das flores femininas. As plantas têm

estipe (caule) com circunferência média de 84 cm e atingem, em média, 18 metros de altura. As folhas são compridas, com comprimento médio de 5,5 metros. O florescimento é tardio, ocorrendo normalmente entre seis e oito anos após o plantio. A produção de flores é contínua. O tamanho dos frutos varia de médio a grande, sendo necessários de 4.000 a 5.200 frutos para se produzir uma tonelada de copra (endosperma). As plantas são tolerantes a diversos tipos de solo e clima. Sob condições favoráveis, o período de produção econômica é de cerca de 60 anos (Siqueira et al., 2002).

O coqueiro anão é predominantemente de autopolinização, em que as fases de formação das flores masculinas e femininas são coincidentes. Essa variedade tem estipe estreito, com circunferência média de 56 cm, e chega a atingir de 10 a 12 metros de altura. Floresce cedo, três a quatro anos após o plantio, e produz um grande número de pequenos frutos (150 a 200 frutos por planta/ano). As plantas se desenvolvem bem em solos profundos, férteis e se cultivadas em regiões com precipitação bem distribuída. São susceptíveis a pragas e doenças, e sofrem muito com a seca. A vida útil de produção econômica está em torno de 40 anos. Essa variedade é composta pelas cultivares Amarelo, Verde, Vermelho de Camarões e Vermelho da Malásia (Siqueira et al., 2002).

Para produção de água-de-coco, o coqueiro anão constitui-se na variedade mais utilizada comercialmente no Brasil, com qualidade sensorial superior às demais cultivares, apesar de poder ser empregada também na agroindústria de alimentos e/ou do fruto seco *in natura*. Nos plantios tecnificados, essa variedade apresenta produtividade estimada de polpa acima de oito toneladas por hectare. Neste contexto, essa variedade pode se constituir em alternativa promissora para os produtores de coco seco, pois, além de se tornar uma variedade de maior utilidade comercial, reduzirá o déficit de produção de polpa atualmente observado nos plantios com as cultivares de coqueiro híbrido e gigante. Além disto, com relação à qualidade dessa polpa, o teor de gordura encontra-se em torno de 30%, representando menos da metade dos teores encontrados na variedade gigante (65 a 70%) e no híbrido (62 a 65%), o que assinala conseqüentemente, uma perspectiva muito interessante no segmento de mercado de alimentos “light” à base de coco, que é um mercado crescente (Aragão, 2002).

2.3. Morfologia do coqueiro

O coqueiro apresenta um sistema radicular fasciculado, característico das monocotiledôneas. Embora não exista uma raiz principal, raízes primárias são continuamente produzidas, durante toda a sua vida, a partir da base do tronco. As raízes primárias possuem de 8 a 10 mm de diâmetro e apresentam pequena capacidade de absorção, absorção essa restrita apenas à parte mais jovem, localizada próximo à coifa. Quando há déficit hídrico, esta parte da raiz se suberifica, perdendo sua função de absorção. A principal função dessas raízes primárias é a fixação do coqueiro ao solo. Das raízes primárias, partem as secundárias, e destas as terciárias, que produzem as radículas, as quais possuem de 1 a 3 mm de diâmetro, e são os verdadeiros órgãos de absorção, uma vez que as raízes do coqueiro não possuem pêlos radiculares. Geralmente, as radículas encontram-se nas camadas mais superficiais do solo, mas, quando submetidas a déficit hídrico, podem aprofundar-se mais dependendo da umidade e da proximidade do lençol freático (Passos, 1998).

O caule do coqueiro é do tipo estipe, não-ramificado, muito desenvolvido e bastante resistente. No ápice caulinar, prende-se um tufo de folhas que protege a única gema terminal. A inflorescência é a única ramificação desse caule, pois é considerada um ramo caulinar modificado (Passos, 1998). A parte terminal do tronco, de onde se formam novas folhas, é tenra e comestível, constituindo o palmito. No ápice do palmito, situa-se seu único ponto de crescimento, que, destruído, causa a morte da planta.

A folha do coqueiro é do tipo penada, constituída pelo pecíolo, que continua pela ráquis, onde se prendem numerosos folíolos. Quando madura, mede aproximadamente 6 m de comprimento, com 200 a 300 folíolos de 90 a 130 cm de comprimento. Os estômatos estão localizados na face inferior dos folíolos. Em condições ambientais favoráveis, uma planta de coqueiro gigante emite de 12 a 14 folhas por ano, enquanto que o coqueiro anão pode emitir até 18 folhas no mesmo período. As folhas permanecem vivas por um período de 36 a 42 meses, resultando em aproximadamente 25 a 30 folhas por planta (Passos, 1998).

O coqueiro possui inflorescências paniculadas, axilares, protegidas por brácteas grandes chamadas espatas. A espata, ao completar seu desenvolvimento (3 a 4 meses), abre-se, libertando a inflorescência, que é formada pelo pedúnculo, espigas e flores. Cada espiga possui algumas flores femininas na base e inúmeras flores masculinas nos dois terços terminais. A primeira inflorescência pode ser constituída de apenas flores masculinas, sendo as femininas produzidas nas inflorescências posteriores. Sob condições de deficiência hídrica prolongada e/ou desnutrição, o número de flores femininas é fortemente diminuído. Do mesmo modo, poderá não ocorrer desenvolvimento da inflorescência (Passos, 1998).

Em virtude do prolongado período de desenvolvimento da inflorescência até a abertura, e considerando que, após a fecundação da flor feminina, são necessários seis meses para que o fruto atinja o desenvolvimento ideal para o consumo da água ou doze meses para o consumo do albúmen (polpa), deficiências hídricas, mesmo que de curta duração, provocam redução no número e/ou na qualidade dos frutos (Passos, 2002).

O fruto do coqueiro é considerado uma drupa. Quando completamente desenvolvido, é formado por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso, ficando mais para o interior uma camada muito dura, o endocarpo (Passos, 1998).

A semente, envolvida pelo endocarpo, é constituída por uma camada fina de cor marrom – o tegumento – que fica entre o endocarpo e o albúmen sólido ou copra. Este último é a camada carnosa, branca, muito oleosa, que forma uma grande cavidade onde se encontra o albúmen líquido. Próximo a um dos orifícios do endocarpo e envolvido pelo albúmen sólido, está o embrião (Passos, 1998).

2.4. Ecofisiologia do coqueiro

Como as demais palmáceas, o coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma planta essencialmente tropical, que encontra condições climáticas favoráveis entre as latitudes 20° N e 20° S (Passos, 2002).

O coqueiro requer um clima quente, sem grandes variações de temperatura do ar, com média anual em torno de 27 °C e oscilações diárias de 5 °C a 7 °C, consideradas ótimas para o crescimento e produção. Mínimas diárias inferiores a 15 °C modificam a morfologia do coqueiro e, mesmo que de pequena duração, provocam desordens fisiológicas, tais como a parada do crescimento e o abortamento de flores.

A distribuição das chuvas é o fator que mais influi no desenvolvimento do coqueiro. Tem-se observado que o crescimento e produção não dependem apenas da pluviosidade total, mas também da distribuição anual das chuvas. O regime pluviométrico ideal é caracterizado por uma precipitação anual de 1.500 mm, com pluviosidade mensal nunca inferior a 130 mm. Um período de três meses com menos de 50 mm de precipitação por mês é considerado prejudicial ao coqueiro. Esta situação é amenizada em ambiente onde o lençol freático é pouco profundo ou quando o fornecimento de água é possível por meio da irrigação (Passos, 2002).

Entre os fatores ambientais que limitam o desenvolvimento do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), em muitas áreas do mundo, a deficiência hídrica é um dos mais freqüentes. O déficit hídrico na planta é produzido tanto por deficiência de água no solo quanto por perda excessiva pela transpiração em relação à absorção feita pelas raízes, sendo esses processos influenciados por fatores ambientais e por características da própria planta. Em plantas arbóreas, condições atmosféricas que favorecem altas taxas de transpiração têm importante influência no potencial hídrico da folha devido à baixa condutividade hidráulica do seu sistema radicular. Por outro lado, plantas anuais apresentam maior condutividade hidráulica das raízes (Flore e Lakso, 1988), sofrendo menor efeito da demanda evaporativa da atmosfera quando as condições hídricas do solo são satisfatórias.

Em algumas plantas vasculares, a deficiência hídrica afeta primeiramente o aparato estomático, reduzindo as trocas de CO₂. Mesmo que o ar seco cause o fechamento dos estômatos, a deficiência de água no solo pode atuar ao mesmo tempo, amplificando esse efeito. Também, baixos valores de potencial hídrico impedem o processo fotossintético devido, principalmente, ao prejuízo causado ao transporte de elétrons e à fosforilação oxidativa (Larcher, 2000).

Quando o déficit de água no solo é prolongado, o crescimento radicular é quase sempre reduzido, sendo acompanhado pelo desenvolvimento da exoderme próxima ao ápice bem como por morte das células epidérmicas, resultando em aumento no grau de suberização da raiz. Em muitas espécies, as paredes das células da exoderme tornam-se mais espessas e lignificadas (Peterson, 1998), modificação esta que provavelmente restringe a perda de água da planta para o solo. Alterações estruturais na raiz em resposta à seca são permanentes, e o restabelecimento do crescimento após a reidratação envolve, usualmente, a formação de novas raízes laterais (Stasovski e Peterson, 1993).

Uma insolação de 2.000 horas anuais com, no mínimo, 120 horas por mês é considerada ideal. No entanto, a insolação não é um bom método para avaliar a incidência de energia luminosa, devendo-se considerar a radiação solar (Passos, 2002). A radiação solar é a maior e a principal fonte de energia para a Terra, influenciando todos os outros elementos meteorológicos, como temperatura, vento, umidade, precipitação, pressão, etc. A luz em excesso pode provocar reduções ou mesmo inibições na taxa fotossintética líquida (Long et al., 1994), podendo destruir o aparelho fotossintético (Demming e Adams, 1992). A radiação influencia na transpiração, e o aumento na transpiração e a não-reposição dessa água perdida, em uma taxa satisfatória, podem reduzir o potencial hídrico e, desta maneira, comprometer o processo fotossintético, devido principalmente ao prejuízo causado à condutância estomática, ao transporte de elétrons e à fosforilação oxidativa (Larcher, 2000).

Segundo Posse (2005), a maior abertura estomática do coqueiro anão foi presenciada no início da manhã, explicada pelo baixo déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar e a presença da luz azul incidente. A luz é um sinal ambiental dominante que controla direta ou indiretamente o movimento estomático em folhas de plantas bem hidratadas. Por sua vez, a luz azul estimula o bombeamento de prótons pela H^+ -ATPase através da membrana plasmática, promovendo a absorção de íons nas células guarda, fazendo com que o potencial osmótico aumente e ocorra, então, a entrada de água nas células guarda, o que se traduz em um aumento de abertura estomática (Taiz e Zeiger, 2004).

Os ventos, sob condições de deficiência de água no solo, principalmente na zona de maior atuação das raízes, tornam-se prejudiciais por agravarem os efeitos da seca. O vento tem função importante na disseminação do pólen e na fecundação das flores femininas na variedade gigante, por ser alógama, sendo menos importante nas variedades anãs, por serem predominantemente autógamas (Passos, 1998).

2.5. Demanda hídrica do coqueiro

A quantidade de água requerida pelo coqueiro depende de vários fatores, tais como: edáficos (tipo de solo, textura, teor de umidade, fertilidade), climáticos (radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), biológicos (cultivar, idade, altura, área foliar e estado nutricional da planta) e manejo cultural como uso de quebra-ventos e cobertura morta, controle fitossanitário e de plantas invasoras, fertilização, método e/ou sistema de irrigação utilizado, frequência e tempo de aplicação de água (Embrapa, 2003).

O solo armazena a água que será utilizada pela planta, que absorverá a água dependendo do estágio fisiológico e dos fatores ambientais externos. A energia da atmosfera induz à evaporação da água contida no solo e a transpiração das plantas. Em solos arenosos, a coluna de água presente no sistema de capilares é quebrada mesmo sob pequenas tensões, fazendo com que a movimentação da água no solo sofra grandes resistências e o suprimento de água à planta seja interrompido (Larcher, 2000).

Devido à alta taxa de transpiração, o coqueiro anão consome mais água que as outras variedades (gigante e híbrido), sendo, em condições edafoclimáticas semelhantes, o primeiro a apresentar os sintomas de deficiência hídrica (IRHO, 1992). Quando submetido a déficit hídrico, o coqueiro reduz o desenvolvimento, prorrogando o início da produção por um período de 8 a 24 meses após o fornecimento de água, e produz frutos de baixa qualidade, pois muitos elementos nutricionais deixaram de ser absorvidos em quantidades adequadas (Embrapa, 2003). Um suprimento adequado de água mantém o coqueiro com um satisfatório

número de folhas e frutos, fazendo com que a planta apresente crescimento contínuo, com folhas, flores e frutos em vários estádios de desenvolvimento.

Estudos preliminares, realizados em plantas jovens de coqueiro anão irrigadas por microaspersão, indicam um consumo de água variando de 8 a 12 L planta⁻¹ dia⁻¹ nos primeiros seis meses após o plantio, de 12 a 28 L planta⁻¹ dia⁻¹ dos 7 aos 12 meses, e de 30 a 55 L planta⁻¹ dia⁻¹ dos 13 aos 18 meses de idade (Miranda et al., 1998).

Dentre as três cultivares anãs existentes (verde, vermelho e amarelo), a verde é mais tolerante às condições adversas do ambiente, e a amarela, mais suscetível (Amorim, 2002). Em geral, o coqueiro apresenta melhores condições de adaptação a solos leves e bem drenados, mas que permitam bom suprimento de água para as plantas. A adaptação do coqueiro aos Neossolos Quartzarênicos, antigas Areias Quartzosas do litoral nordestino, seu hábitat, está quase sempre associada à presença de lençol freático pouco profundo, compensando, assim, sua baixa capacidade de retenção de água. Quando o lençol freático é profundo, como no caso dos solos dos Tabuleiros Costeiros, região em franca expansão da cocoicultura para água-de-coco, é necessária a adoção de técnicas eficazes para o suprimento de água às plantas, sendo a irrigação a alternativa mais utilizada.

Em trabalhos com Neossolo Quartzarênico, na Região Norte Fluminense, Araújo (2003) mediu o fluxo de seiva xilemática de coqueiro anão com 3,5 anos de idade, com 22 folhas bem formadas, constatando que a transpiração média das plantas foi de 0,95 L dia⁻¹ m⁻² de área foliar, com valor mínimo de 0,09 L dia⁻¹ m⁻² e máximo de 1,52 L dia⁻¹ m⁻² de área foliar. Já os resultados determinados por Posse (2005), para coqueiros em fase de produção com média de 6 anos idade, foram de 0,76 L dia⁻¹ m⁻² de área foliar para o fluxo de seiva médio, com valores mínimos e máximos de 0,02 e 2,29 L dia⁻¹ m⁻² de área foliar, respectivamente.

De um modo geral, no Brasil, tem-se utilizado no cálculo da quantidade de água a ser aplicada na cultura do coqueiro um coeficiente de cultura (kc) de 0,8 para as plantas adultas, com resultados obtidos satisfatórios. No entanto, deve-se lembrar que esses valores não foram comprovados experimentalmente para as diversas condições ambientais brasileiras, demandando ações de pesquisa específica para esse fim (Embrapa, 2003).

2.6. Solos do Norte Fluminense

Do ponto de vista geomorfológico, a Região Norte Fluminense apresenta, basicamente, três ambientes distintos (a serra, o tabuleiro e a baixada), o que resulta numa grande diversidade de solos. Serão apresentadas a seguir as características dos solos do Tabuleiro Costeiro e da Baixada Campista e suas conseqüências para a cocoicultura.

Os solos de tabuleiro estão distribuídos por quase toda a faixa costeira do Brasil, desde o Estado do Amapá até o Estado do Rio de Janeiro, com extensão até o vale do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. O termo “Tabuleiros Costeiros” é utilizado para designar uma forma de superfície do tipo tabular, dissecada por vales profundos e encostas com forte declividade. De um modo geral, os tabuleiros costeiros têm topografia plana e menor freqüência suavemente ondulada. (Jacomine, 2001).

Estima-se que, no Brasil, as áreas de Latossolos, Argissolos e de outros solos do Tabuleiro Costeiro, todos provenientes de sedimentos da Formação Barreiras do Terciário ou similares, atinjam cerca de 20.000 km². Desde o litoral do Nordeste até a região de Campos dos Goytacazes, no Rio de Janeiro, tradicionalmente os tabuleiros são cultivados com cana-de-açúcar, mas a fruticultura tropical atualmente é praticada em todas as áreas dos Tabuleiros Costeiros (Souza, 2004).

O deslocamento da cultura do coqueiro para regiões não convencionalmente cultivadas trouxe, como conseqüência, uma série de problemas tecnológicos, os quais, na sua grande maioria, ainda se encontram em fase de estudo. Nos Tabuleiros Costeiros, um dos problemas mais graves dizem respeito à existência de camadas coesas subsuperficiais, comuns nos solos desse ecossistema. Essas camadas interferem na forma com que a água é retida, na aeração e resistência à penetração das raízes. Por essas camadas apresentarem elevados níveis de adensamento, a circulação normal de água e ar é dificultada, e a profundidade efetiva do sistema radicular é diminuída, podendo deixar as plantas vulneráveis ao tombamento. Em plantios de sequeiro, este conjunto de características põe em risco

a cocoicultura, principalmente se a variedade cultivada for o coqueiro anão, mais exigente em água e nutrientes (Cintra, 2002).

Como os riscos para o coqueiro nos Tabuleiros Costeiros estão relacionados quase sempre ao baixo suprimento de água para as plantas, o seu cultivo tem sido viável, predominantemente, em sistemas irrigados. Além de regular o suprimento de água, a irrigação reduz a expressão do adensamento da camada coesa, que, na presença de umidade, se torna friável, permitindo a penetração das raízes e o aprofundamento do sistema radicular. Essa condição permite a ampliação do volume de solo a ser explorada pelas raízes, melhorando o suprimento de água e nutrientes e reduzindo a vulnerabilidade das plantas a estresses hídricos (Cintra, 2002).

A Baixada dos Goytacazes ou Baixada Campista é uma bacia sedimentar deltaica do Rio Paraíba do Sul, que se inicia no seu curso inferior, nas proximidades de Itaocara, em trecho com declividade média de $0,20 \text{ m km}^{-1}$. As cotas mais elevadas com referência ao nível do mar são de 12 metros. No levantamento de solos em nível semidetalhado, realizado pelo antigo Instituto do Açúcar e do Alcool do Ministério da Indústria e Comércio, foram descritas 62 classes de solos desenvolvidos na Baixada dos Goytacazes, abrangendo uma área aproximada de 245.000 há. Utilizaram-se para isto as normas do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. As principais classes de solo encontradas na área são: Aluvial (atual Neossolo Flúvico), com argilas de atividades baixa, média e alta, caráter eutrófico, distrófico e álico, caráter salino, sódico e solódico, em diversas classes de textura; Areia quartzosa (atual Neossolo Quartzarênico), distrófica; Cambissolo com argilas de atividades baixa, média e alta, caráter eutrófico, distrófico e álico, caráter sódico e solódico, em diversas classes de textura; Podzol (atual Espodossolo), hidromórfico; Glei (atual Gleissolo), húmico com argilas de atividades média, alta e baixa, caráter distrófico, álico e eutrófico, caráter salino e solódico, em diversas classes de textura; Glei (atual Gleissolo), pouco húmico com argilas de atividades alta, média e baixa, caráter eutrófico, distrófico e álico, caráter solódico e ligeiramente salino, em diversas classes de textura; Glei (atual Gleissolo), salino sem e com caráter solódico, em diferentes classes de textura; Glei tiomórfico salino com argilas de atividades altas, textura argilosa; Solos orgânicos (atuais Organossolos), com caráter distrófico, salino, ligeiramente salino e tiomórfico (Ravelli Neto, 1989).

2.7. Compactação do solo

Resultante da ação dos implementos agrícolas e da pressão exercida pelas rodas dos tratores e máquinas agrícolas, a compactação é reconhecida como uma das principais conseqüências do manejo inadequado do solo (Lipiec e Hatano, 2003). Atualmente, devido ao processo de compactação ao qual estão sendo expostos, diversos tipos de solo vêm perdendo a sua qualidade física. Em nível mundial, este processo, tendo atingido aproximadamente 68 milhões de hectares, destaca-se como um dos principais fatores que têm limitado a qualidade física de terras agrícolas, bem como a obtenção de maiores índices de produtividade (Soane e Van Ouwerkerk, 1994; Alakukku et al., 2003).

O termo compactação refere-se à compressão do solo não saturado durante a qual ocorre um aumento de sua densidade em conseqüência da redução do seu volume (Dias Junior e Pierce, 1996). Essa redução é resultante de um rearranjo mais denso das partículas do solo que, conseqüentemente, ocasiona a redução de sua porosidade de aeração (macroporos) e da porosidade total (Tormena et al., 2002).

Como os macroporos têm importante papel na movimentação de gases no solo, o compartimento é também chamado de porosidade de aeração. Os efeitos da compactação na aeração do solo podem, portanto, ser avaliados por meio da análise da ocorrência de macroporos, fator para o qual valores críticos são freqüentemente estabelecidos na literatura. Em geral, considera-se que $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ representa uma boa porosidade de aeração e que valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ indicam aeração deficiente (Da Ros et al., 1997).

Como as raízes podem se desenvolver em porosidade de aeração acima de 10% e o conteúdo de água armazenada deve ser em maiores quantidades que as de ar, Kiehl (1979) considera que um solo ideal apresenta sua porosidade com um terço de macroporos e dois terços de microporos, garantindo desse modo boa aeração, boa permeabilidade e retenção de água.

O adensamento tem conseqüências semelhantes à compactação, sendo, no entanto, resultante de processos pedogenéticos, como se podem citar as camadas adensadas dos fragipans, duripans, plintitas, etc. (Dias Junior, 2000). Segundo Costa

e Abrahão (1996), o adensamento é a redução natural do espaço poroso e conseqüente aumento da densidade de camadas ou horizontes do solo por dessecação, ciclos de umedecimento e secagem, iluviação e precipitação química. Outro processo pedogenético bastante conhecido e que tem influência direta no desenvolvimento do sistema radicular é a formação dos horizontes coesos, oriundos da gênese dos solos dos Tabuleiros Costeiros, que apresentam extrema dureza e elevada resistência à penetração quando secos, alta densidade do solo, baixa porosidade total e baixa macroporosidade (Souza et al., 2001).

O uso intenso de máquinas agrícolas que revolvem o solo (para o preparo do solo e para a limpeza dos coqueirais) resulta na pulverização dos agregados existentes. Quando um solo encontra-se pulverizado, a acomodação de suas partículas é facilitada, uma vez que a agregação é desfeita e o espaço vazio entre estas pode ser facilmente reduzido. Esse processo de acomodação mais densa das partículas é acentuado quando ocorre precipitação intensa sobre o solo desnudo e pulverizado, ou pelo tráfego de máquinas para os diversos tratamentos culturais, como roçada, pulverizações, adubações e colheita.

Segundo Dias Junior (2000), a facilidade com que o solo não-saturado decresce de volume quando sujeito a pressões é chamada de compressibilidade, a qual depende de fatores externos e internos. Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência de carga aplicada, enquanto que os fatores internos são influenciados pela história de tensão, umidade, textura, estrutura, densidade inicial e teor de carbono do solo. Para uma mesma condição, a umidade é o fator que governa a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo, refletindo sua densidade inicial e o estado de compactação. Assim, quando os solos estão mais secos, sua capacidade de suporte de carga pode ser suficiente para agüentar as pressões aplicadas, e a compactação do solo pode não ser significativa. Entretanto, qualquer compactação excessiva é prejudicial para as plantas sob condições de alta umidade, o que pode causar redução na produção

Os efeitos prejudiciais da compactação excessiva dos solos consistem, principalmente, em mudanças indesejáveis das características físico-hídricas do solo, afetando negativamente os processos de armazenamento e de disponibilidade de

água, nutrientes e aeração do solo, bem como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas por impedimentos físicos (Medeiros, 2004).

Os solos bem estruturados, com condições normais de aeração, têm pressão parcial de oxigênio próxima à atmosférica (20,9 KPa). Quando o solo é alagado, os espaços porosos tornam-se preenchidos por água e, como conseqüência, as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera são grandemente reduzidas, especialmente porque a difusão do oxigênio na água é cerca de 10.000 vezes menor que na fase gasosa. Sob inundação, o oxigênio dissolvido na água é rapidamente exaurido, dentro de horas a dias, dependendo da temperatura e da atividade respiratória das raízes e dos microrganismos (Pezeshki, 1994). Em resposta à baixa tensão de oxigênio (hipoxia) ou à sua falta (anoxia), a respiração aeróbia da raiz decresce largamente ou é paralisada, e, ainda que a rota anaeróbia possa ocorrer, a liberação de energia é muito pequena. Como conseqüência, o crescimento é reduzido ou mesmo paralisado.

Devido às suas elevadas taxas de respiração, as raízes apresentam uma alta demanda de oxigênio. Na maioria das espécies, a concentração de O_2 no solo poderá ser próximo de 10 a 15% na fase gasosa sem afetar o crescimento das raízes (Geisler, 1967). Existe uma grande dificuldade em definir a concentração crítica nos solos, pois os decréscimos nos níveis de O_2 estão correlacionados com aumentos nos níveis de CO_2 e etileno (Marschner, 1995). A compactação, por reduzir predominantemente a macroporosidade, diminui muito a taxa de difusão de oxigênio e, em períodos chuvosos, pode levar à hipoxia.

2.8. Relações hídricas e trocas gasosas em solo compactado

A água é, juntamente com o dióxido de carbono, a substância necessária para a fotossíntese. Contudo, não é a pequena quantidade de água utilizada na fotossíntese que a torna um fator limitante significativo, mas sim a grande quantidade necessária para manter a hidratação do protoplasma. Com o déficit hídrico, a atividade fotossintética declina paralelamente à diminuição do volume celular e, portanto, conjuntamente com o declínio da turgescência (Larcher, 2000).

O estado hídrico da planta é dinâmico, modificando-se não somente conforme a disponibilidade de água no solo e as condições atmosféricas, mas também com o estágio de desenvolvimento da planta. A atividade fisiológica de um tecido está intimamente relacionada com o nível de hidratação deste. Assim, o potencial hídrico pode ser aplicado como característica para se avaliar a atividade fisiológica de um tecido ou célula. Nesse sentido, a resposta estomática e a fotossíntese, entre outros processos, podem ser afetadas pelo decréscimo do potencial hídrico foliar, resultante de estresse hídrico ocorrido em qualquer estágio de desenvolvimento da planta (Taiz e Zeiger, 2004).

A absorção da maioria dos nutrientes é reduzida pela compactação de ambos os solos da superfície e os subsolos. A taxa fotossintética líquida de plantas crescidas em solo muito compactado é diminuída tanto pelo efeito estomático quanto pelo não-estomático. A fotossíntese total é reduzida pela diminuição da área foliar. A respiração das raízes, em solo compactado, pode levar a uma situação anaeróbica (hipoxia). O solo severamente compactado influencia adversamente a regeneração de florestas, inibindo a germinação das sementes e o crescimento de plântulas e aumentando a mortalidade destas (Kozlowski, 1999). As raízes apresentam-se mais suscetíveis à condição hídrica em solo compactado, e este adquire um intervalo hídrico mais estreito, ou seja, menor conteúdo de água no solo disponível para as plantas (Lipiec e Simota, 1994).

Na fisiologia dos estômatos, ocorrem dois mecanismos de fechamento, hidropassivo e hidroativo, sendo o primeiro em função da baixa disponibilidade hídrica na folha e o segundo decorrente da redução do conteúdo de solutos das células estomáticas, da perda de água e da redução na turgescência. O processo ativo é a base para as respostas dos estômatos aos fatores ambientais.

Posse (2005), trabalhando com o coqueiro anão verde aos seis anos de idade, na Região Norte Fluminense, observou que elevadas reduções do potencial hídrico das folhas do coqueiro (-0,25 a -1,36 MPa) não afetaram de forma expressiva a condutância estomática, sendo observado redução de 0,1 a 0,3 mol m⁻² s⁻¹, o que demonstra a baixa eficiência do controle estomático às oscilações do potencial.

Diminuição no crescimento das raízes e da parte aérea e redução da condutância estomática devido à alta resistência mecânica do solo têm sido

demonstradas em um grande número de espécies: trigo, (Masle e Passioura, 1987), tomate (Masle, 1990) e milho (Sarquis et al., 1991; Tardieu, 1994), em experimentos em que as variações na resistência mecânica foram impostas sem conseqüências indiretas, como déficit hídrico e o baixo suprimento de oxigênio, comumente presentes nas condições de campo. Além do mais, a resistência mecânica à penetração é um parâmetro altamente variável, temporalmente por precipitações, que mudam a quantidade de água no solo, e espacialmente, pelas variações locais na estrutura e densidade do solo (Masle, 1998).

A resistência mecânica do solo ao sistema radicular afetou as trocas gasosas de genótipos de mamoeiro, todos crescidos com restrição mecânica apresentaram uma menor taxa fotossintética líquida, condutância estomática, concentração interna de carbono e maior temperatura foliar do que os crescidos na área sem restrição mecânica (Campostrini e Yamanishi, 2001).

Masle (1990) relatou um decréscimo na atividade fotossintética devido a uma queda na condutância estomática de tomateiro em solo compactado. Esse decréscimo foi atribuído a uma mensagem química, principalmente por meio do ácido abscísico produzido pelas raízes sob estresse e translocado para parte aérea via fluxo transpiratório (Davies e Zhang, 1991; Tardieu et al., 1994).

Em solo compactado, a taxa de crescimento foliar do milho foi inibida e mostrou boa correlação com a concentração de ácido abscísico (ABA) na seiva xilemática. O rápido aumento na concentração de ABA no xilema coincide com a redução do potencial hídrico foliar e da pressão de turgor (Hartung et al., 1994). Entretanto, em plantas de tomate, o etileno estaria mais relacionado aos efeitos sobre características de crescimento do que o ácido abscísico (Hussain et al., 1999).

A maior diferença de potencial hídrico no gradiente solo-planta-atmosfera está entre a parte aérea da planta e o ar seco, devido ao déficit de pressão de vapor do ar (DPV), fazendo com que ocorra um fluxo de água do interior da planta para a atmosfera. Fatores externos influenciam a transpiração à medida que se altera a diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície da planta. Trabalhando com o coqueiro anão, em condições de sequeiro, Passos et al. (1999) constataram que a transpiração é proporcional aos valores de condutância estomática para determinado déficit de pressão de vapor d'água entre as folhas e o ar (DPV_{fa}).

O conteúdo de pigmentos fotossintéticos, principalmente as clorofilas, pode ser afetado pela ação de fatores do ambiente como deficiências minerais, estresse hídrico, poluição industrial e temperatura sub ou supra-ótima (Hendry e Price, 1993). Este fato mostra que a determinação dos pigmentos fotossintéticos pode ser uma importante ferramenta no diagnóstico de estresse em plantas, ao potencializar o uso do medidor portátil de clorofila (MPC). O MPC ou o “Soil Plant Analyser Development” (SPAD) indica os valores proporcionais dos teores de clorofila na folha, que são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de onda.

Como qualquer outro processo de troca de energia, a conversão de energia luminosa em energia química no processo fotossintético não é perfeita. Nem todos os elétrons que estão num nível energético elevado (molécula de clorofila excitada) são passados para os aceptores. Esses elétrons retornam ao estado inicial (antes das moléculas receberem energia dos fótons) sem a produção de ATP e NADPH₂. Ao retornar ao estado inicial, a energia é dissipada em forma de calor ou luz (fluorescência). Segundo Bolhàr-NordenKampf e Öquist (1993), na temperatura fisiológica, praticamente toda a fluorescência é proveniente das moléculas de clorofilas associadas ao fotossistema II.

A fluorescência da clorofila é usada no monitoramento do desempenho fotossintético. Pode ser utilizada para se obterem informações sobre a inibição ou danos na transferência de elétrons. Avalia o funcionamento do fotossistema II, indicando o nível do estresse. A medição da fluorescência da clorofila *a* é uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva para detectar o desequilíbrio energético e metabólico da fotossíntese (Araus et al., 1998). O rendimento quântico máximo do fotossistema II pode variar numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresses (Bolhàr-NordenKampf et al., 1989). Essa relação é altamente correlacionada com o rendimento fotossintético das folhas. A diminuição da relação F_v/F_m é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse (Yang et al., 1996). Essa redução em F_v/F_m pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível do fotossistema II (Long et al., 1994; Araus e Hogan, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização

O experimento foi realizado em casa de vegetação, localizada na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), em Campos dos Goytacazes-RJ, a coordenadas geográficas 21° 44' 47" S e 41° 18' 24" W e altitude aproximada de 10 m. A casa de vegetação possui 400 m² (8 m de largura e 50 m de comprimento), cobertura em arco com plástico de 150 µm de espessura, aberta nas laterais e orientação leste-oeste. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, isto é, tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo duas classes de solos, quatro níveis de compactação do solo e quatro condições hídricas, com 3 repetições, totalizando 96 parcelas. Cada parcela correspondeu a um vaso plástico de aproximadamente 100 litros (0,4 m de altura e 0,6 m de diâmetro).

Os solos utilizados no experimento foram coletados próximos às duas das áreas estudadas por Souza (2004) e Bernardes (2005), ambos em Campos dos Goytacazes, sendo o solo 1, do Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, inserido no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros e classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico, e o solo 2, da Estação Experimental PESAGRO-RIO, localizado no ambiente da Baixada Campista e classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico gleico (Embrapa, 2006).

O acondicionamento dos solos nos vasos foi feito de modo a se obterem quatro níveis de compactação, sendo que o nível 1 correspondeu à densidade mínima, alcançada pelo acondicionamento sem a aplicação de carga. Os níveis 2, 3 e 4 corresponderam a incrementos na densidade do solo de, respectivamente 30%, 60% e 90% da amplitude da faixa de variação da densidade de cada solo (Δds). Essa amplitude foi obtida pela diferença entre a densidade máxima (obtida no teste de Proctor normal) e a densidade mínima do solo.

As condições hídricas foram implementadas a partir da definição de uma umidade ótima ou de referência, que correspondeu ao nível 2. Os demais níveis foram definidos em relação a esta referência, sendo o nível 1 obtido pela elevação de 4% na umidade do solo e os níveis 3 e 4 obtidos pela redução de 4% e 8% da umidade do solo, respectivamente.

3.3. Coleta, amostragem e caracterização inicial dos solos utilizados no experimento

O solo 1 foi coletado, da superfície até uma profundidade aproximada de 1,2 m (um barranco com esta profundidade foi o local da coleta - Figura 1A), enquanto o solo 2 foi coletado da superfície até 0,3 m de profundidade (que coincide com a ação da grade aradora utilizada no revolvimento do solo - Figura 1B). O material foi peneirado em malha de 6 mm, perfazendo um total aproximado de 7 m³ para cada solo. Foram coletadas 3 amostras compostas para a caracterização inicial dos solos.



Figura 1. Coleta dos solos utilizados no experimento: (A) Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico; e (B) Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico gleico.

Exceto para o carbono orgânico (determinado conforme Anderson e Ingran, 1996), as determinações químicas foram feitas conforme as marchas analíticas apresentadas em Embrapa (1997a), com os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do Argissolo (PAdx) e do Cambissolo (CXbd)

Solo	pH água	P (mg kg ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SB	CTC	V %
				----- (cmol _c dm ⁻³) -----								
PAdx	4,93	2,30	6,44	0,33	1,92	1,35	0,58	0,06	0,04	2,03	3,94	51,41
CXbd	4,66	74,07	12,26	1,00	3,88	1,26	0,89	0,28	0,05	2,48	6,36	38,96

Obs.: pH em água: potenciometria em solução solo-água 1:2,5; fósforo disponível: extraído por Mehlich 1 + espectroscopia); carbono orgânico: dicromato de potássio + colorimetria; alumínio extraível: determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹, usando-se azul de bromotimol como indicador; cálcio e magnésio: extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; potássio e sódio trocáveis: extraídos pelo extrator Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama; SB = Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺ + Na⁺; CTC = SB + (H⁺+Al⁺³); V% = SB x 100 / CTC.

Para a determinação da composição granulométrica, 20 g de terra de cada amostra foram dispersos com 20 ml NaOH 1 mol L⁻¹ + água (250 ml), deixando-se descansar por uma noite, procedendo-se à agitação mecânica em mesa agitadora com 120 ciclos por minuto, durante 16 horas. Após a agitação, a areia foi separada por tamisamento da suspensão em peneira de 0,053 mm de diâmetro. A suspensão contendo argila e silte foi coletada em proveta de 1 L, sendo submetida ao processo de sedimentação para determinação da fração argila pelo método da pipeta. O silte foi determinado pela diferença das outras frações em relação à amostra original, segundo Embrapa (1997b).

A densidade das partículas foi determinada medindo-se o volume ocupado por 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE), com o emprego do álcool etílico como líquido penetrante e balão volumétrico aferido de 50 ml (Equação 1).

$$\rho_p = MS / (V_{\text{balão}} - V_{\text{álcool}}) = MS / VS \quad (1)$$

onde: ρ_p = densidade de partículas (Mg m⁻³ = g ml⁻¹); MS = massa de solo (20 g de TFSE); $V_{\text{balão}}$ = volume do balão volumétrico (50 ml), $V_{\text{álcool}}$ = volume de álcool gasto (ml) e VS = volume ocupado pelas partículas do solo (ml).

Os resultados da composição granulométrica e densidade de partícula, para os dois solos estudados, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição granulométrica e densidade de partículas (ρ_p) do Argissolo (PA_{dx}) e do Cambissolo (CX_{bd})

Solo	Areia	Silte	Argila	ρ_p
	----- (g kg ⁻¹) -----			(Mg m ⁻³)
PA _{dx}	469	57	474	2,68
CX _{bd}	482	120	398	2,66

Foi determinada a capacidade de compactação máxima dos solos por meio do teste de Proctor normal (Stancati et al., 1981). Esse teste consiste basicamente em compactar um corpo de prova, constituído de três camadas, em cilindro de 1,0 dm³, usando para isso um soquete de 2,5 kg; esse corpo recebe 25 golpes deste soquete, que cai de uma altura de 30 cm, cujo golpe corresponde a uma energia de compactação a 6 kgf cm cm⁻³, equivalente a 15 passadas de um trator com 0,727 t na roda, (pressão de 140 KPa) em solo franco-arenoso. Após compactado, o corpo de prova foi extraído, coletando-se uma amostra do seu centro para a determinação da umidade gravimétrica (U, em kg kg⁻¹) e outra para densidade do solo (ρ , em Mg m⁻³), estando os resultados apresentados na Figura 2.

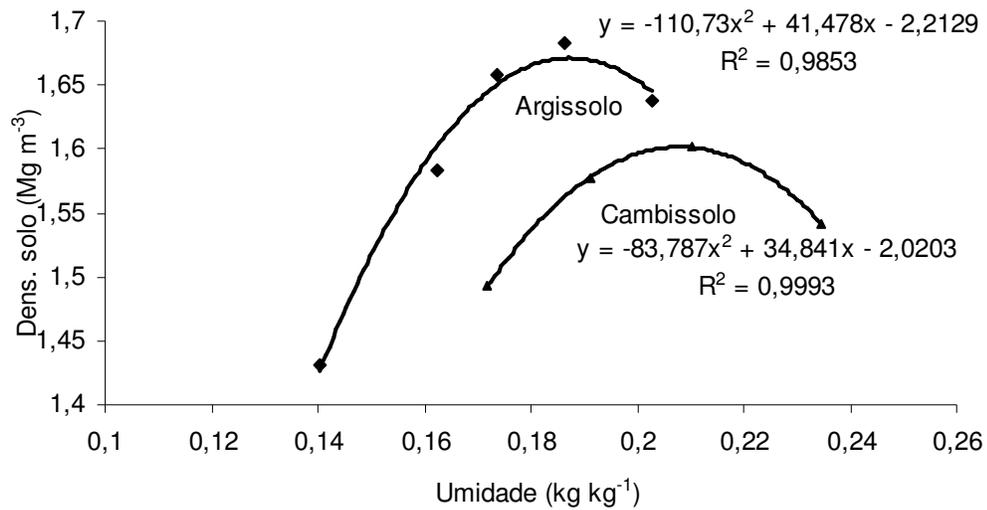


Figura 2. Relação entre umidade e densidade obtida no teste de Proctor normal para o Argissolo Amarelo e o Cambissolo Háplico.

Igualando a zero a derivada primeira das equações da Figura 2, obteve-se, para cada solo, a umidade onde ocorre a máxima compactação. As substituições desses valores de umidade, nas equações da Figura 2, resultam, portanto, no valor da densidade máxima correspondente. Pôde-se, então, determinar a amplitude de variação da densidade e, conseqüentemente, as densidades que foram aplicadas nos 4 níveis de compactação anteriormente mencionados (Tabela 3).

Tabela 3 - Densidade máxima e umidade correspondente, obtidas no teste de Proctor normal, e densidades correspondentes aos 4 níveis de compactação, para o Argissolo (PAdx) e o Cambissolo (CXbd)

Solo	U (kg m ⁻³)	Dmáx	Cp1 Cp2 Cp3 Cp4 ----- (Mg m ⁻³) -----			
			PAdx	0,187	1,67	1,00
CXbd	0,208	1,60	1,00	1,18	1,36	1,54

3.4. Acondicionamento dos solos nos vasos

Antes do acondicionamento do solo, os vasos foram pesados e forrados internamente com saco plástico, a fim de evitar que qualquer resíduo químico interferisse no desenvolvimento das plantas.

O acondicionamento foi feito de forma a se obter uma coluna de solo com altura total de 0,4 m, sendo a camada superficial de 0,1 m acondicionada sem compactação e a camada de 0,3 m, compactada nos níveis estipulados no item 3.2.

Para o estabelecimento das densidades pretendidas, para as camadas superficial (0 - 0,1 m, sem compactação) e profunda (0,1 - 0,4 m, compactada em um dos quatro níveis), tornou-se necessária a correta medição da quantidade de solo para o preenchimento do volume do vaso. Para isso, a massa de solo úmido (MSU, em kg) utilizada em cada vaso foi calculada a partir da massa de solo seco em estufa (MSSE, em kg), necessária para cada tratamento, e do valor da umidade gravimétrica do solo (U, em kg kg⁻¹), determinada em amostra de solo coletada no dia anterior ao acondicionamento, conforme a Equação 2.

$$MSU = MSSE + U \times MSSE \quad (2)$$

As quantidades de solo utilizadas nas duas camadas (superficial e profunda) foram homogeneizadas e corrigidas quimicamente segundo a recomendação de Sobral (1998). A calagem foi feita com calcário dolomítico (com PRNT de 85%) considerando o método da saturação por bases, de modo que esta atingisse o ideal da cultura do coqueiro (70%), e o teor de cálcio e magnésio, o qual deve ser superior

a $2,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. As quantidades de fertilizante fosfatado (super fosfato simples) aplicadas foram determinadas com base nos teores apresentados pelo solo e na massa de TFSE utilizada nos diferentes níveis de compactação.

Para maior eficiência no processo de compactação do solo, a umidade foi elevada ao valor obtido no teste de Proctor normal, em que se verificou a máxima compactação ($0,187 \text{ kg kg}^{-1}$ para o Argissolo e $0,208 \text{ kg kg}^{-1}$ para o Cambissolo). Também como forma de otimizar o processo de compactação e, ainda, minimizar a variação da densidade em profundidade, a quantidade de solo a ser utilizada na camada compactada foi dividida em cinco partes iguais. Assim, a prensa hidráulica utilizada no processo atuou até que cada uma das cinco partes de solo adquirissem uma espessura aproximada de $0,06 \text{ m}$, resultando na altura total pretendida de $0,30 \text{ m}$ (Figura 3A). Para o acondicionamento da camada superficial, não houve necessidade de aplicação de carga ou adequação da umidade.

A fim de que não houvesse deformação dos vasos durante a compactação dos solos, estes foram envolvidos com cintas de ferro, reguláveis com parafusos e porcas. Foi utilizada também uma chapa de compensado com diâmetro pouco inferior ao do vaso, que foi colocada sobre o solo a ser compactado. Sobre essa chapa, foram colocadas peças de madeira (caibros de $10 \times 8 \text{ cm}$), cobrindo sua superfície. Transversalmente e sobre estas últimas, foi posta outra peça idêntica, a qual recebia e transmitia a pressão exercida pela prensa hidráulica, efetuando a compactação dos solos até se atingir a densidade desejada (Figura 3B).

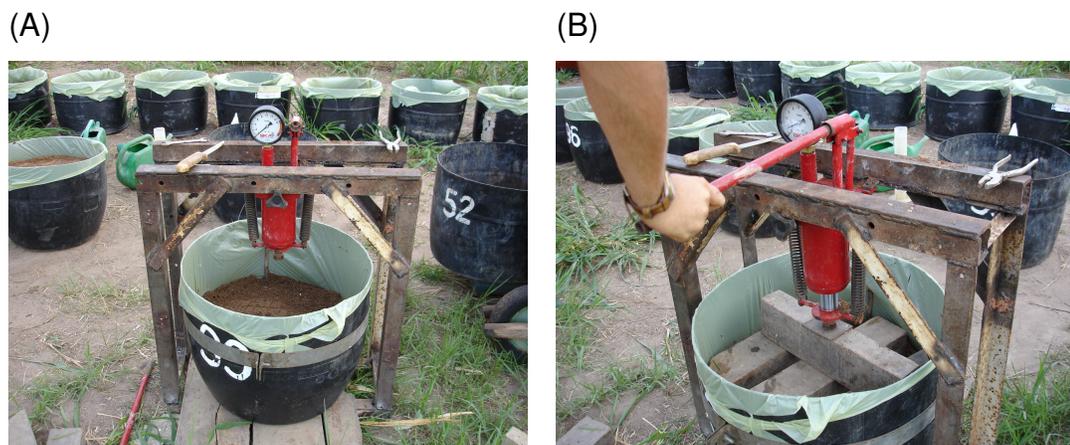


Figura 3. Prensa hidráulica utilizada na compactação durante o acondicionamento do solo nos vasos.

3.5. Atributos físicos após a compactação

Após o acondicionamento, um vaso de cada solo e nível de compactação foi utilizado para a coleta de cinco amostras indeformadas. Estas foram coletadas em anéis metálicos, com volume aproximado de 100 ml (50 mm de altura e 50 mm de diâmetro interno). Além de servirem para conferir se as densidades previstas foram alcançadas, essas amostras foram utilizadas para a determinação da curva de retenção de água e cálculo dos atributos obtidos desta curva (porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível).

Estas amostras foram inicialmente utilizadas na determinação das umidades de equilíbrio em 8 valores de tensão da água, chamados de pontos de “baixa tensão” (1, 3, 6, 10 kPa) e de “alta tensão” (33, 100, 500, 1500 KPa). Cabe lembrar que o valor do potencial mátrico é igual ao da tensão, com o sinal invertido ($\phi_m = -\tau$). Cada uma das cinco amostras foi utilizada para a obtenção de um ou dois desses pontos, sendo os de baixa tensão conseguidos em funil de placa porosa e os de alta tensão, nas câmaras de pressão de Richards, segundo o procedimento descrito por Silva et al. (1994). Os valores de umidade (θ , $m^3 m^{-3}$) foram obtidos pela equação:

$$\theta = V_a / V \quad (3)$$

onde: V_a (m^3) é o volume de água retido na amostra e V (m^3) é o volume da amostra, que corresponde ao volume do anel. O valor de V_a foi obtido pela equação:

$$V_a = m_a / \rho_a \quad (4)$$

onde: ρ_a ($Mg m^{-3}$) é a densidade da água, assumida como sendo $1 Mg m^{-3}$, e m_a (Mg) é a massa de água da amostra obtida pela diferença entre o peso da amostra úmida (imediatamente após retirada dos funis de placa porosa ou câmara de pressão) e a seca, em estufa a $110\text{ }^\circ C$ por 48 horas.

A densidade do solo foi obtida também, após a secagem da amostra em estufa, aplicando-se a equação:

$$\rho = MS / VT \quad (5)$$

onde: ρ = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$), MS = massa do solo seco em estufa (Mg) e VT = volume total do anel (m^3).

A porosidade total foi determinada a partir dos valores de densidade do solo e densidade das partículas, aplicando-se a equação:

$$PT = 1 - \rho / \rho_p \quad (6)$$

onde: PT = porosidade total ($m^3\ m^{-3}$), ρ = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$) e ρ_p = densidade das partículas ($Mg\ m^{-3}$).

A curva de retenção foi estimada associando os valores de conteúdo de água (θ) aos respectivos potenciais mátricos (ϕ_m), segundo o modelo de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha \phi_m|^n\right)^m} \quad (7)$$

onde: θ_r ($m^3\ m^{-3}$), α (kPa^{-1}), n e m (adimensionais) são os parâmetros empíricos do modelo. O valor de θ_r representa a umidade residual, e a umidade de saturação (θ_s , $m^3\ m^{-3}$) foi tratada como variável independente, sendo assumida, para cada amostra, como correspondente à porosidade total.

A partir da curva de retenção obtida, foi possível calcular, ainda, a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}), correspondente ao $\phi_m = -10\ Kpa$; a umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), correspondente ao $\phi_m = -1500\ KPa$; a água disponível ($AD = \theta_{CC} - \theta_{PMP}$) e a porosidade de aeração na capacidade de campo ($\alpha_{AERCC} = PT - \theta_{CC}$). Os valores médios de densidade e porosidade total do solo e os coeficientes de ajuste da curva de retenção obtidos, para cada combinação solo-compactação, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Densidade do solo (ρ), porosidade total ($PT = \theta_s$), parâmetros de ajuste da equação de Van Genuchten (1980) – θ_r , α , m e n – e variáveis resultantes (θ_{CC} , α_{AERcc} , θ_{PMP} e AD), para os quatro níveis de compactação (Cp.1; Cp.2; Cp.3; e Cp.4) do Argissolo (PA dx) e do Cambissolo (CXbd)

Atributos	----- Argissolo -----				----- Cambissolo -----			
	Cp.1	Cp.2	Cp.3	Cp.4	Cp.1	Cp.2	Cp.3	Cp.4
ρ (Mg m ⁻³)	1,02	1,26	1,37	1,71	1,09	1,23	1,44	1,51
$PT = \theta_s$ (m ³ m ⁻³)	0,62	0,53	0,49	0,36	0,59	0,54	0,46	0,43
θ_r (m ³ m ⁻³)	0,140	0,177	0,188	0,236	0,147	0,203	0,205	0,239
α (kPa ⁻¹)	0,821	1,517	1,107	0,538	26,464	2,120	2,283	1,032
m	0,785	0,255	0,314	0,258	0,096	0,051	0,014	0,028
n	1,005	2,038	1,580	1,486	2,926	10,998	23,075	15,851
θ_{CC} (m ³ m ⁻³)	0,223	0,263	0,278	0,300	0,240	0,263	0,299	0,308
α_{AERcc} (m ³ m ⁻³)	0,396	0,268	0,209	0,061	0,351	0,273	0,159	0,123
θ_{PMP} (m ³ m ⁻³)	0,142	0,184	0,195	0,245	0,169	0,207	0,225	0,247
AD (m ³ m ⁻³)	0,081	0,080	0,083	0,055	0,070	0,056	0,075	0,062

3.6. Plantio das mudas de coqueiro e tratos culturais

Foram utilizadas mudas de coqueiro anão verde, com aproximadamente 12 semanas de idade, produzidas no Horto Municipal de Quissamã, RJ, que possuíam de 3 a 4 folhas e coleto (estipe) com circunferência de 3 a 5 cm. Para o plantio, as mudas tiveram suas raízes podadas e estas foram plantadas no centro do vaso, sem que o coleto fosse enterrado.

No 35º dia após o plantio (DAP), foram feitas: adubação de cobertura com uréia e KCl, segundo recomendações de Sobral (1998), e pulverização com acaricida e inseticida (Tamaron e Vertimec). Outras aplicações de acaricida e inseticida ocorreram no 50º e 270º DAP. O controle de plantas invasoras foi feito continuamente por meio de arranquio manual.

3.7. Implementação das condições hídricas

Do plantio das mudas até 60 dias após o plantio (DAP), a irrigação foi feita com regador manual, aplicando uma lâmina de aproximadamente 2 L, porém sem a quantificação exata deste volume, mas buscando-se o estabelecimento visual de uma condição ótima de umidade (ou umidade de referência).

Durante esse período, houve tentativas de automatizar o sistema de irrigação por meio de gotejadores, os quais seriam removíveis e poderiam ser localizados em diferentes pontos próximos ao coqueiro. Não houve sucesso, pois os gotejadores, mesmo com várias regulagens, não mantinham a sua vazão constante devido, provavelmente, à perda de carga com o esvaziamento das caixas d'água utilizadas para a irrigação.

Uma vez estabelecida, esta condição hídrica foi assumida como correspondente ao nível 2, estabelecendo-se os demais níveis pela manutenção de uma umidade do solo $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ acima, $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ abaixo e $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ abaixo desta umidade de referência (correspondentes, respectivamente, aos níveis 1, 3 e 4).

Vale ressaltar que a condição de umidade ótima ou de referência não é a mesma quando se altera o solo ou o nível de compactação. Isso ocorre porque tais variações (tanto dos níveis de compactação quanto das diferenças no tamanho, forma e natureza das partículas de cada solo) impõem diferenças no volume e na geometria do espaço poroso do solo, pelas quais a fixação de um determinado fator não impede que outro sofra variação. Por exemplo, o estabelecimento de um valor de umidade do solo condiciona uma determinada porosidade de aeração para um determinado nível de compactação, mas leva à ocorrência de um valor de porosidade de aeração absolutamente distinto se o nível de compactação considerado for outro (ou mesmo se o nível de compactação for o mesmo, mas o solo considerado for outro).

A umidade volumétrica, a porosidade de aeração e o potencial mátrico encontrados nos níveis de compactação, após a implementação das lâminas de irrigação nos solos em estudo, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Umidade, porosidade de aeração e potencial mátrico após implementação das quatro condições hídricas (Irrigação 1, 2, 3 e 4) ao Argissolo (PAdx) e ao Cambissolo (CXbd), nos quatro níveis de compactação (Cp1, Cp2, Cp3 e Cp4)

Solo	Umidade do solo				Porosidade de aeração				Potencial mátrico			
	----- (m ³ m ⁻³) -----				----- (m ³ m ⁻³) -----				----- (kPa) -----			
	Cp.1	Cp.2	Cp.3	Cp.4	Cp.1	Cp.2	Cp.3	Cp.4	Cp.1	Cp.2	Cp.3	Cp.4
Irrigação 1												
PAdx	0,34	0,36	0,37	0,39	0,28	0,19	0,14	0,04	-2,39	-2,59	-2,53	-2,40
CXbd	0,41	0,42	0,43	0,44	0,18	0,14	0,07	0,03	-0,26	-1,14	-1,00	-1,30
Irrigação 2												
PAdx	0,30	0,32	0,33	0,35	0,32	0,23	0,18	0,08	-3,54	-4,26	-4,40	-6,92
CXbd	0,37	0,38	0,39	0,40	0,24	0,18	0,11	0,07	-0,61	-1,65	-1,88	-2,18
Irrigação 3												
PAdx	0,26	0,28	0,29	0,31	0,36	0,27	0,22	0,12	-5,55	-8,13	-8,70	-23,63
CXbd	0,33	0,34	0,35	0,36	0,26	0,22	0,15	0,11	-0,95	-2,64	-4,13	-4,27
Irrigação 4												
Padx	0,22	0,24	0,25	0,27	0,40	0,31	0,26	0,16	-9,85	-21,37	-23,14	-199,28
Cxbd	0,29	0,30	0,31	0,32	0,30	0,26	0,19	0,15	-2,34	-5,00	-11,88	-11,06

3.8. Condições de cultivo

O experimento foi realizado entre os meses de março de 2006 e janeiro de 2007, tendo sido estabelecidos dezesseis períodos (de 10 a 15 dias) para o monitoramento do consumo de água pelos coqueiros. Os dados climatológicos foram medidos pela Estação Evapotranspirométrica da Universidade Estadual do Norte Fluminense, na PESAGRO, em Campos dos Goytacazes. Na Figura 4, os pontos das curvas representam a média de cada período para a temperatura e umidade relativa máxima, média e mínima, o déficit de pressão de vapor (DPV) e o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF). Nesse período (290 dias), a temperatura média ficou em torno de 22 °C, e a umidade relativa média foi de aproximadamente 80%.

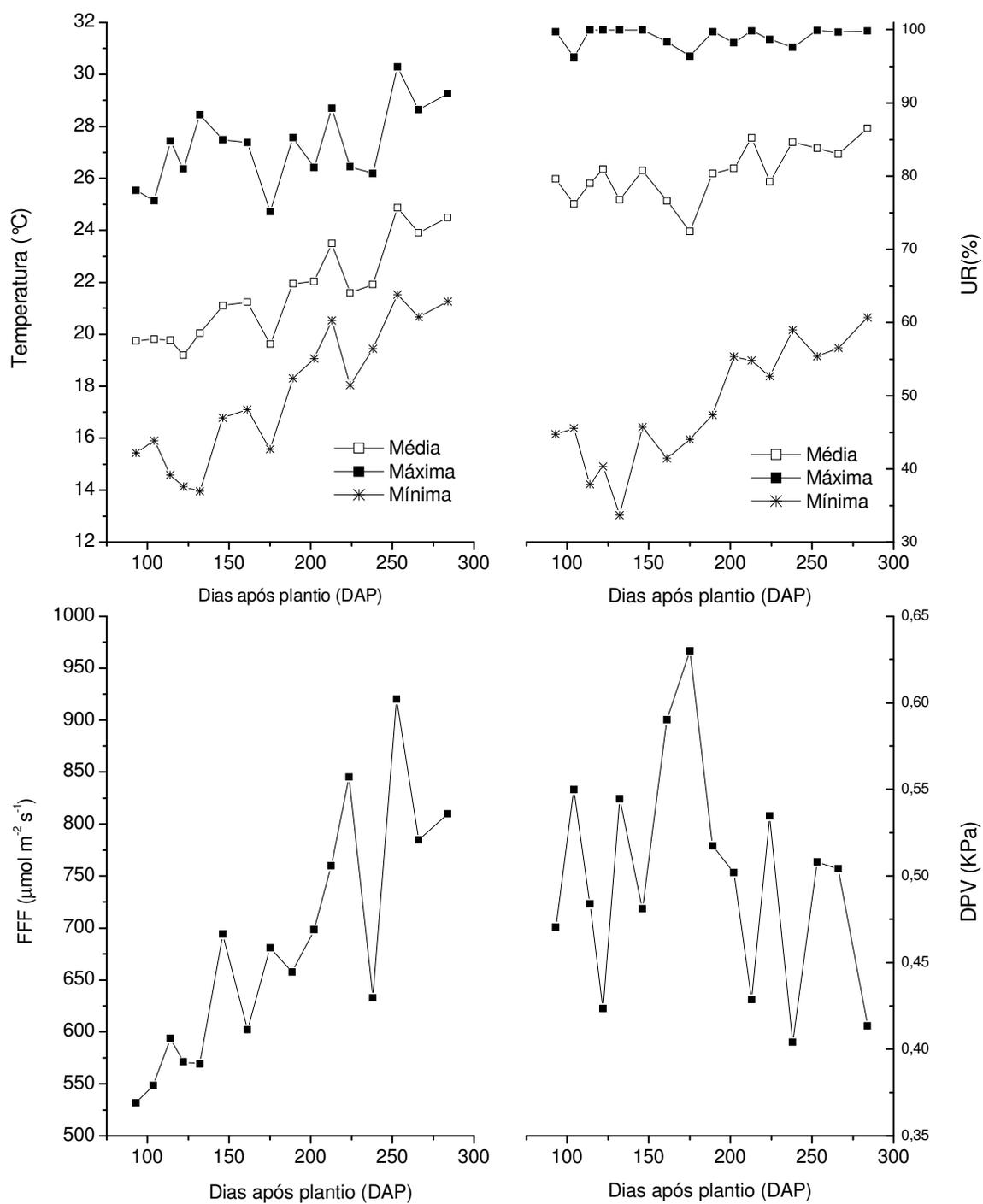


Figura 4. Temperatura, umidade relativa, fluxo de fótons fotossintéticos e déficit de pressão de vapor do ar, ao longo do tempo.

Os valores de fluxo de fótons fotossintéticos, dentro da casa de vegetação, foram obtidos pela seguinte equação:

$$FFF = 0,7975 \times R_s + 8,7363 \quad (8)$$

onde: FFF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) é o fluxo de fótons fotossintéticos dentro da casa de vegetação e R_s é a radiação solar medida na estação (W m^{-2}).

O déficit de pressão de vapor do ar (DPV, kPa) foi calculado segundo a equação proposta por Jones (1992):

$$DPV = 0,61137 \times \exp\left(\left(\frac{17,502 \times T}{240,97 + T}\right) \times \left(1 - \frac{UR}{100}\right)\right) \quad (9)$$

onde: T é a temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) e UR é a umidade relativa média (%), valores obtidos pela estação evapotranspirométrica.

3.9. Características avaliadas

3.9.1. Análises biométricas (ou morfológicas)

3.9.1.1. Altura do coqueiro

A altura do coqueiro (AC) foi determinada, a partir do coleto até a ponta da maior folha, por meio de uma trena.

3.9.1.2. Circunferência da estipe

A circunferência da estipe (CE) foi determinada próximo à região do coleto por meio de uma trena.

3.9.1.3. Número de folhas

O número de folhas (NF) foi determinado pela contagem desses órgãos.

3.9.1.4. Massa total do coqueiro, área foliar e razão de área foliar

No final do experimento, as plantas foram cortadas e pesadas em balança digital portátil. Depois, os folíolos foram destacados da ráquis e pesados separadamente. Valores de área foliar de 30 coqueiros foram determinados no final do experimento utilizando o medidor de área foliar de bancada, modelo LI-3100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Permitiu-se assim, por meio de regressão (Equação 10), estimar a área foliar dos coqueiros a partir da massa foliar.

$$AF = 23,077 \times MF \quad (10)$$

onde: AF é a área foliar (m²) e MF é a massa foliar (kg).

Com esses dados, foi possível obter a relação entre área foliar e massa total do coqueiro, chamada de razão de área foliar (RAF). A RAF é uma característica morfológica e, comparativamente, pode representar a área foliar disponível para o processo fotossintético (Torres Netto, 2005).

3.9.2. Consumo de água

O consumo de água (evapotranspiração) do sistema solo-planta foi medido a partir de pesagens e da quantificação dos volumes aplicados em cada vaso, dos 90 até 284 dias, após o plantio. As irrigações foram feitas com beakers, três vezes por semana, e as pesagens foram feitas com um conjunto balança-talha (Figura 5B) preso a uma estrutura de ferro móvel (Figura 5A), a cada intervalo de 10 a 15 dias.

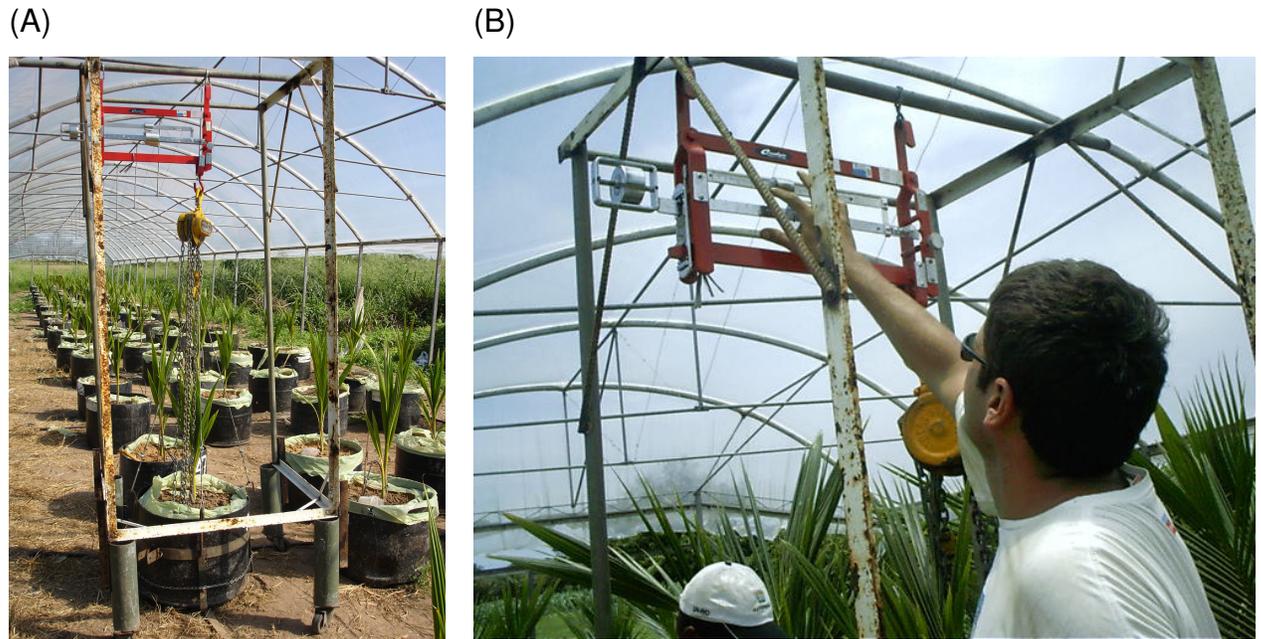


Figura 5. Estrutura de ferro móvel para pesagem e conjunto balança-talha.

3.9.3. Análises fisiológicas

3.9.3.1. Potencial hídrico ante-manhã

O potencial hídrico ante-manhã foi determinado com uma câmara de pressão de Scholander, entre às 4 e 6 horas da manhã, nos folíolos da região mediana de folhas desenvolvidas (folha 3 ou 4), na 40^a semana ou aproximadamente 280 dias após o plantio.

3.9.3.2. Taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar

A taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e o déficit de pressão de vapor, entre a folha e o ar, foram determinados nos folíolos da região mediana de folhas desenvolvidas (folha 3 ou 4), entre às 8 e 10 horas da manhã (luz artificial em torno de $1.000 \mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$), na 40^a semana após o plantio, por

meio de sistema portátil de medição de trocas gasosas por infravermelho (IRGA), modelo LI-6200 (LI-COR, Lincon, NE, USA).

3.9.3.3. Fluorescência da clorofila *a*

A variável da fluorescência emitida pela clorofila *a* foi determinada nos mesmos folíolos, logo após as medidas da taxa fotossintética líquida, por meio de um fluorímetro de luz não modulada, modelo PEA (Plant Efficiency Analyser – Hansatech Ltd., King’s Lynn, Norfolk, UK). As folhas dos coqueiros foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio de pinças; após este período, foi determinado o rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m).

3.9.3.4. Medição da clorofila – Leituras do MPC

O teor de clorofila foi determinado pelo medidor portátil de clorofilas, modelo SPAD-502 (Minolta, Japão), nos mesmos folíolos e logo após a medição da fluorescência.

3.10. Análise de resultados

Os efeitos dos tratamentos sobre o consumo de água ao longo do tempo, biometria e sobre a fisiologia dos coqueiros aos 284 DAP foram analisados estatisticamente por meio do programa SAS. Diferenças entre solos foram identificadas pelo teste F na análise de variância, mas o teste de Tukey foi empregado para a obtenção da diferença mínima significativa (dms) a 5% de probabilidade. Diferenças entre os níveis de compactação ou entre os níveis de água foram avaliadas através de modelos de regressão polinomial, linear ou quadrático ajustados, utilizando a função de matriz “PROJ. X LIN” da planilha eletrônica Excel. Para a análise de variância do consumo diário de água das plantas, avaliado em 16 períodos, a idade foi considerada como um quarto fator no esquema fatorial, que foi $16 \times 2 \times 4 \times 4$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise biométrica (ou morfológica)

A compactação do solo afetou a morfologia do coqueiro, sendo que as maiores densidades promoveram algum grau de comprometimento no seu crescimento. A biometria do coqueiro foi alterada em função de efeitos isolados impostos pelos tratamentos. Neste caso, diferente do observado para o consumo de água, não houve interação entre os fatores - compactação, nível de umidade e o tipo de solo.

Efeitos significativos da classe de solo, da compactação e da irrigação foram observados em todas as variáveis morfológicas avaliadas - altura do coqueiro (AC), circunferência da estipe (CE), número de folhas (NF), massa total (MT) e área foliar (AF) -, mas não sobre a razão de área foliar (RAF). Na Tabela 6 são apresentados os valores de F obtidos na análise de variância dos atributos morfológicos dos coqueiros, bem como a indicação do nível de significância e o coeficiente de variação. A compactação influenciou mais fortemente a MT e a AF dos coqueiros ($P < 0,01$) do que o NF, CE e a AC ($P < 0,05$). Já para as duas classes de solo, foi observado o comportamento inverso, cujos efeitos foram mais intensos sobre o NF, a CE e a AC ($P < 0,01$) do que sobre a MT e a AF ($P < 0,05$). O efeito da irrigação foi significativo para a AC ($P < 0,05$) e altamente significativo ($P < 0,01$) para as demais.

Para o número de folhas dos coqueiros, houve, ainda, efeito da interação solo x irrigação, o que indica que o efeito da irrigação é diferente entre os solos e, por outro lado, a diferença entre os solos depende do nível de irrigação considerado.

A característica morfológica razão de área foliar (RAF) pode representar a área foliar disponível para o processo fotossintético (Torres Netto, 2005). Neste experimento, não houve efeito dos tratamentos para a RAF dos coqueiros, o que pode sugerir que os tratamentos não influenciaram essa característica, que, de maneira geral, representa um determinado vigor de crescimento.

Tabela 6 - Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação (CV) para as variáveis biométricas avaliadas: número de folhas (NF), circunferência da estipe (CE), altura do coqueiro (AC), massa total (MT), área foliar (AF) e razão de área foliar (RAF)

Fonte de variação	NF	CE	AC	MT	AF	RAF
Bloco	1,36 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,17 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Solo	25,30 ^{**}	7,92 ^{**}	9,78 ^{**}	5,56 [*]	4,77 [*]	0,50 ^{ns}
Compactação	3,10 [*]	3,88 [*]	2,79 [*]	4,76 ^{**}	4,74 ^{**}	0,71 ^{ns}
Umidade	4,43 ^{**}	6,02 ^{**}	4,16 [*]	6,21 ^{**}	5,14 ^{**}	0,64 ^{ns}
Solo*compactação	0,50 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Solo*umidade	2,87 [*]	2,06 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,86 ^{ns}
Compactação*umidade	0,71 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,70 ^{ns}
Solo*compactação*umidade	0,75 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,34 ^{ns}
CV (%)	21,12	26,95	20,04	56,81	54,76	17,57

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = P < 0,05; ** = P < 0,01; e ns = não significativo.

A Figura 6 apresenta a relação entre as classes de solo e as diversas variáveis morfológicas avaliadas, exceto para o NF. Observa-se que os coqueiros do Cambissolo apresentam-se estatisticamente superiores aos do Argissolo em todas as variáveis. A CE obtida pelo Cambissolo foi de 0,21 m e pelo Argissolo, de 0,18 m. A AC encontrada foi de 1,43 e 1,24 m para o Cambissolo e Argissolo, respectivamente. O Cambissolo apresentou maior valor de MT para os coqueiros, com 1,8 kg contra 1,3 kg dos coqueiros crescidos no Argissolo. A AF no Cambissolo foi em torno de 1,10 m², superior a dos coqueiros que se desenvolveram no Argissolo, com cerca de 0,85 m².

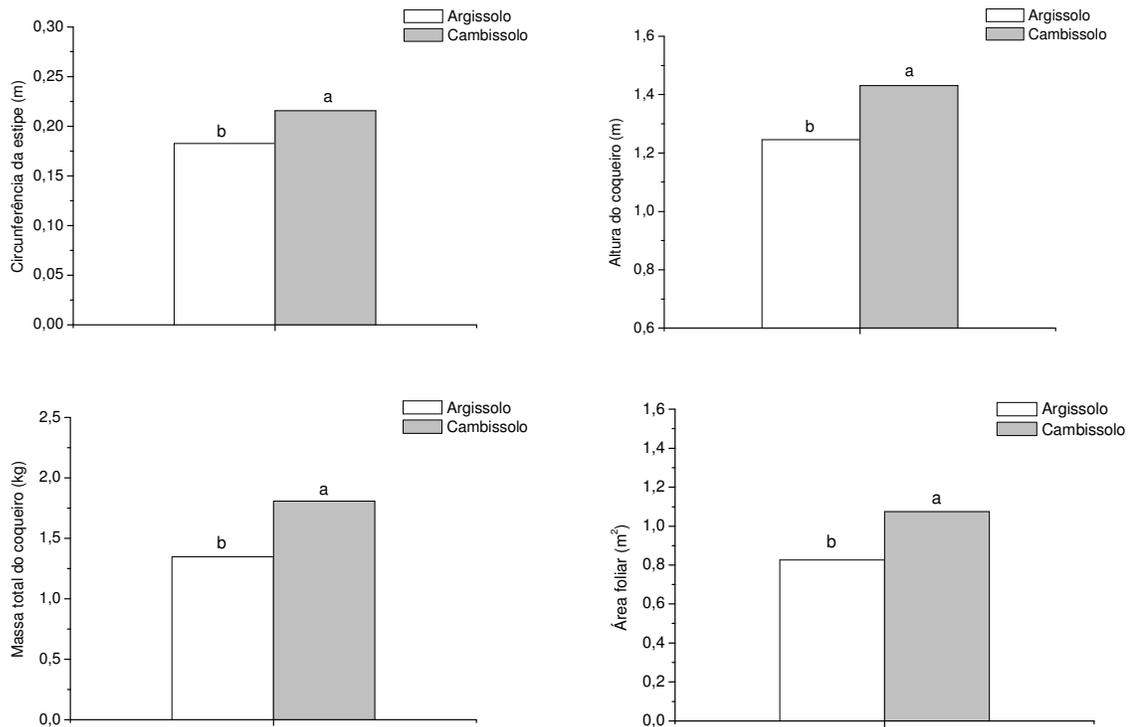


Figura 6. Comparação entre os solos quanto às variáveis morfológicas que não apresentaram interação. Cada barra representa a média dos coqueiros sob todas as compactações e lâminas de irrigação. Quando sob mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto ao NF, o desdobramento da interação solo x umidade revelou que para a lâmina 2 os solos não diferiram entre si, apresentando aproximadamente 8,5 folhas para ambas as classes de solo, mas a superioridade do Cambissolo foi observada para as demais lâminas de irrigação (Figura 7). As plantas tratadas com as lâminas 1 e 3 apresentaram duas folhas a mais no Cambissolo que no Argissolo (respectivamente 10,2 contra 8,2 para a lâmina 1, e 9,8 contra 7,8 para a lâmina 3). Para as plantas tratadas com a lâmina 4 (aquela com a menor umidade no solo), a superioridade do Cambissolo sobre o Argissolo foi de 3,5 folhas (9,0 contra 5,5).

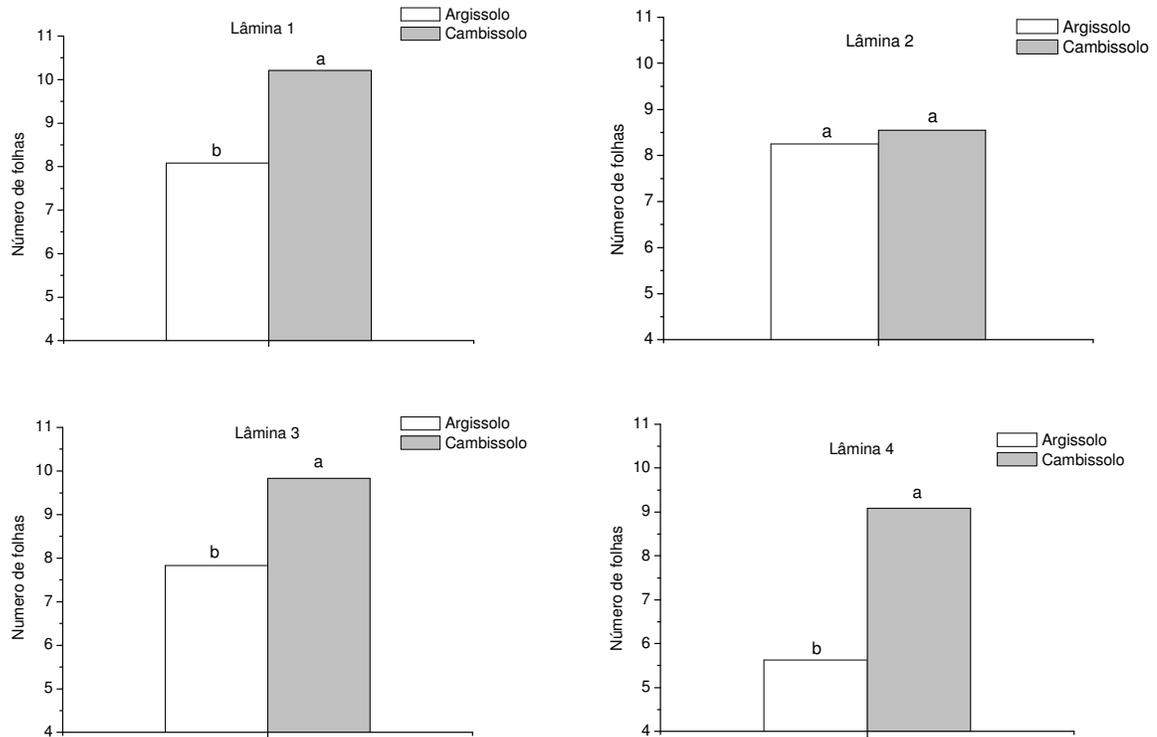


Figura 7. Comparação entre solos quanto ao número de folhas para as 4 lâminas de irrigação. Cada barra representa a média dos coqueiros sob todos os níveis de compactação. Quando sob mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Obs.: lâmina 1 > lâmina 2 > lâmina 3 > lâmina 4.

Estes resultados revelaram que o Cambissolo tem um conjunto de atributos que minimizam os efeitos danosos das condições hídricas 3 e 4 (mais extremas de umidade), provavelmente relacionado ao maior conteúdo de matéria orgânica, à expansibilidade e à maior atividade de suas frações argila e silte. Essa superioridade na morfologia dos coqueiros do Cambissolo pode, de modo geral, ser atribuída a melhores atributos químicos (conteúdo de matéria orgânica e fertilidade) e físicos (argila expansiva permite fendilhamento e autogranulação facilita a infiltração de água e o crescimento radicular). Por outro lado, a autogranulação e o fendilhamento na superfície do solo podem trazer algumas desvantagens, como a ruptura de raízes

e a entrada de fitopatógenos, com conseqüências negativas na absorção de nutrientes.

Todas as variáveis biométricas puderam ser estimadas em função dos níveis de compactação por modelos de regressão quadráticos altamente significativos (Figura 8). Em relação à densidade mínima, um incremento de aproximadamente 0,38 de Δds foi o que apresentou os melhores resultados para as características morfológicas. Para a CE, esse nível de compactação promoveu maior média, em torno de 0,22 m, contra os menores valores obtidos para o nível 4, em torno de 0,16 m. As AC encontradas nos níveis de compactação intermediários e mais densos foram, respectivamente, 1,44 m e 1,22 m. O NF máximo estimado foi de aproximadamente 9 folhas para o incremento da densidade de 0,38 $Mg\ m^{-3}$, enquanto o mínimo de 7,5 folhas pôde ser obtido para o 0,90 Δds .

Os níveis intermediários de compactação (0,37 Δds) promoveram maior MT para os coqueiros (em torno de 1,96 kg), contrastando com as MT obtidas no nível mínimo e máximo (1,5 e 1,0 kg, respectivamente). A AF máxima, estimada pelo modelo de regressão, foi de 1,17 m^2 , encontrada entre os níveis 2 e 3 de compactação (0,37 Δds), contra 0,90 m^2 e 0,61 m^2 obtidas nas compactações máxima e mínima, respectivamente.

Os efeitos de compactação do solo podem ser observados tanto no solo quanto na planta. Dentre os efeitos observados nos solos compactados, Dias Júnior e Pierce (1996) destacam: presença de crosta, aparecimento de trincas nos sulcos de rodagem do trator, zonas endurecidas, empoçamento de água, erosão excessiva, presença de resíduos vegetais parcialmente decompostos muito meses após sua incorporação, necessidade de maior potência das máquinas de cultivo, etc. Já na planta, podem-se destacar as seguintes ocorrências: baixa emergência, variação no tamanho, folhas amareladas, sistema radicular raso e horizontal, raízes mal formadas e, ou, tortas, etc. Alguns desses aspectos foram observados durante o presente experimento, como a presença de crosta superficial e rachaduras, principalmente no Cambissolo. Na finalização do experimento, puderam-se observar, ainda, raízes rasas e mal formadas nos tratamentos com baixa umidade e alta densidade do solo, sem falar na grande variedade de tamanhos da parte aérea dos coqueiros.

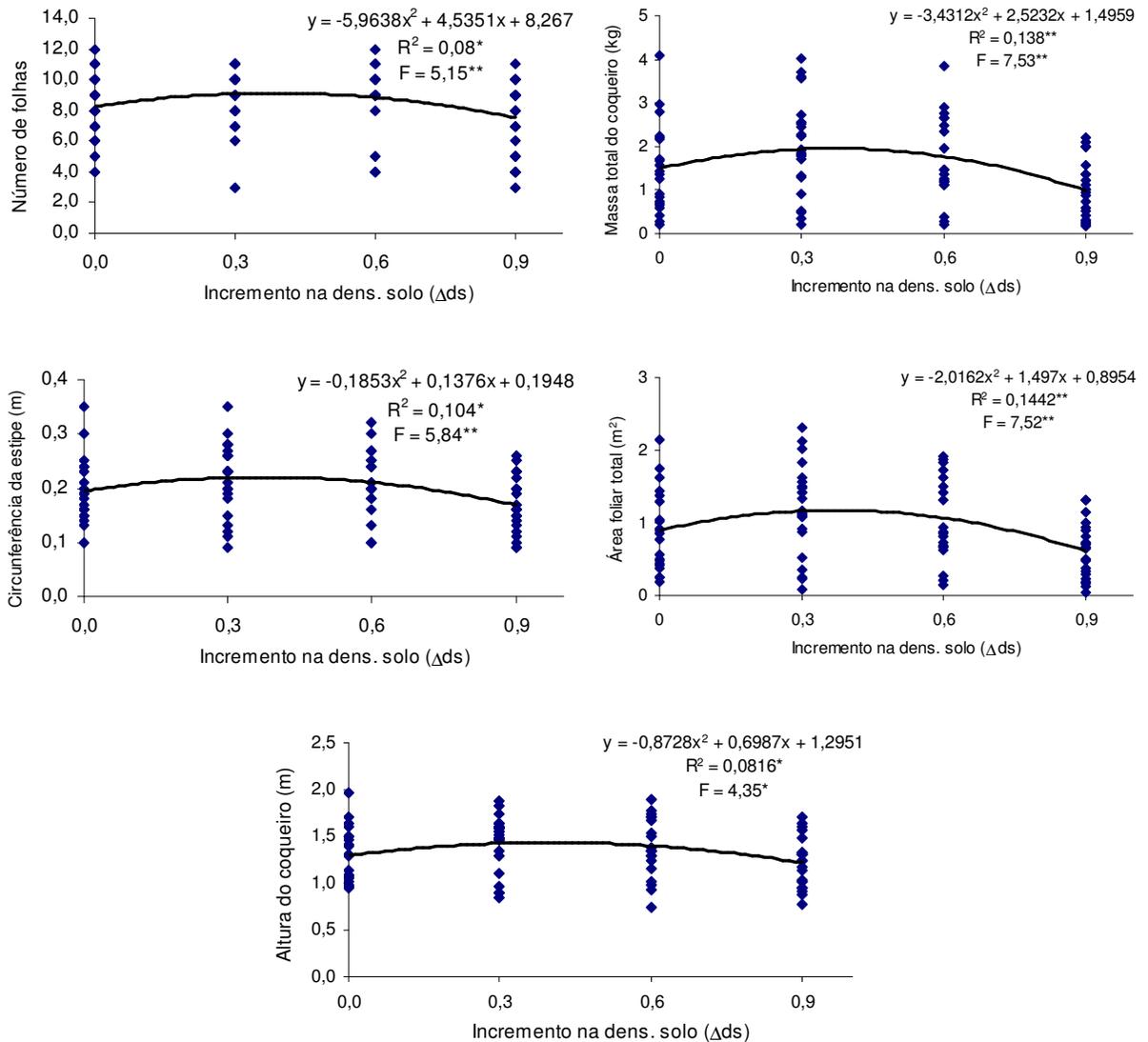


Figura 8. Variáveis biométricas dos coqueiros avaliadas no último período do experimento (284 DAP), em função dos níveis de compactação. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os solos e lâminas de irrigação.

O tamanho do coqueiro variou em função da compactação do solo, de maneira que as maiores plantas foram encontradas nas densidades intermediárias (níveis de compactação 2 e 3). Os resultados são semelhantes aos obtidos por Stirzaker et al. (1996), em que plantas de cevada responderam às variações na densidade do solo, crescendo mais rápido em densidades intermediárias.

Em solos mais leves ou menos densos, o crescimento radicular não é afetado, porém o contato entre a raiz e o solo pode ser menor, e o transporte de água e nutrientes ficar restrito. Em altas densidades, o consumo de água e nutrientes pode se tornar limitado, devido ao aumento na resistência à penetração das raízes no solo. Uma mudança na densidade do solo altera a umidade volumétrica do solo, o movimento de água em resposta a um gradiente de potencial hídrico, o contato solo-raiz e a resistência mecânica do solo para o crescimento das raízes (Stirzaker et al., 1996).

Pesquisadores têm encontrado efeitos benéficos ou maléficos da compactação do solo. Os efeitos benéficos têm sido atribuídos à melhoria do contato solo-semente e/ou solo-raiz e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos. Entretanto, a compactação excessiva pode limitar a adsorção e, ou, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção e aumento da erosão e da energia necessária para o preparo do solo (Dias Junior, 2000). No campo, os efeitos prejudiciais são muito mais comuns (Kozlowski, 1999).

A Figura 9, a seguir, apresenta, para cada solo, a relação entre o número de folhas e o incremento (ou redução) na umidade do solo, enquanto a Figura 10 apresenta a relação entre as demais variáveis biométricas e as lâminas de irrigação.

O modelo de regressão quadrático para o NF, no Argissolo, foi altamente significativo, sendo que um incremento de apenas $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na umidade de referência (lâmina 2) foi o que forneceu o maior NF (8,5 folhas) neste solo. Para o Cambissolo, não houve efeito das lâminas de irrigação no NF, de modo que a média geral, em torno de 9,0 folhas por planta, permite reiterar que as características deste solo lhe conferem superioridade em relação ao Argissolo. O modelo linear crescente foi o que melhor se ajustou para relacionar as variáveis CE, AC, MT e AF com a umidade do solo, sendo a lâmina 1 a que proporcionou os valores máximos dessas características nos coqueiros. Os valores máximos e mínimos observados nas lâminas de irrigação 1 e 4 foram, respectivamente, 0,17 m e 0,22 m para CE, 1,48 m e 1,22 m para AC, 2,2 kg e 1,1 kg para MT e $1,2 \text{ m}^2$ e $0,6 \text{ m}^2$ para AF.

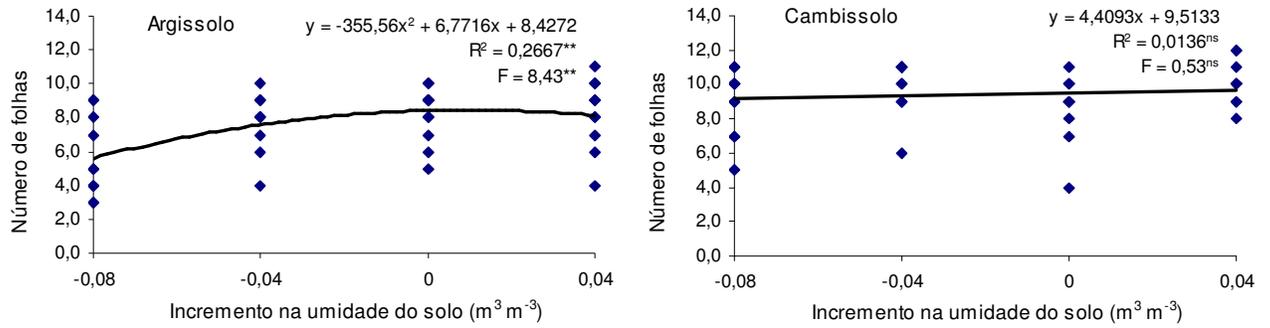


Figura 9. Número de folhas dos coqueiros cultivados em cada solo, obtido no último período do experimento (284 DAP), em função do incremento ou redução na umidade do solo. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os níveis de compactação.

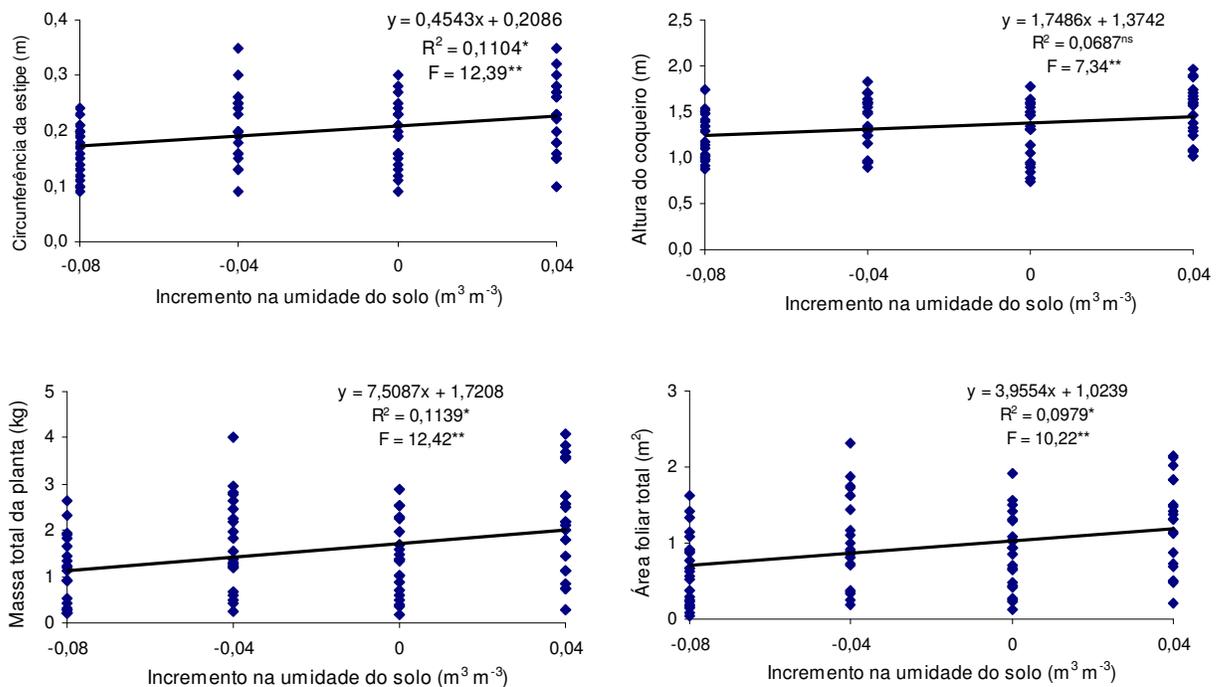


Figura 10. Circunferência da estipe (CE), altura do coqueiro (AC), massa total (MT) e área foliar (AF) dos coqueiros obtidos ao final do experimento (284 DAP), em função das lâminas de irrigação (incremento ou redução na umidade do solo). Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os solos e níveis de compactação.

4.2. Consumo de água

A Tabela 7 apresenta os valores de F, significâncias e o coeficiente de variação obtidos na análise de variância do consumo de água, pelo sistema solo-planta. A idade dos coqueiros, representada pelo fator “período”, não apresentou interação com os demais fatores de tratamento, mas apresentou efeito simples altamente significativo sobre o consumo de água, traduzido na equação linear crescente apresentada na Figura 11. Desta equação depreende-se que a média diária passou de menos de 0,5 L por planta nos 90 DAP para mais de 1,0 L por planta, por dia, aos 284 DAP.

Para os demais fatores, verifica-se que não houve efeito simples para o solo, mas houve para bloco, compactação e irrigação. Tais efeitos simples, ou a ausência deles, não foram levados em consideração, uma vez que houve efeito altamente significativo da interação “solo x compactação x umidade”, tendo este sido priorizado na interpretação dos dados (em detrimento, inclusive, das significativas interações duplas “solo x umidade”, “solo x compactação” e “umidade x compactação”).

Tabela 7 - Valores de F, níveis de significância e coeficiente de variação, para o consumo diário de água pelos coqueiros

Fonte de variação	Valor de F
Bloco	9,43**
Período	54,61**
Solo	3,59 ^{ns}
Compactação	69,29**
Umidade	88,59**
Período*solo	1,51 ^{ns}
Período*compactação	0,83 ^{ns}
Período*umidade	1,35 ^{ns}
Solo*compactação	8,53**
Solo*umidade	15,90**
Compactação*umidade	6,23**
Período*solo*compactação	0,21 ^{ns}
Período*solo*umidade	0,12 ^{ns}
Período*compactação*umidade	0,15 ^{ns}
Solo*compactação*umidade	9,36**
Período*solo*compactação *umidade	0,32 ^{ns}
Coeficiente de variação	41,54 %

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = P < 0,05; ** = P < 0,01; e ns = não significativo.

O consumo de água pelo coqueiro foi influenciado pela interação dos fatores – compactação, nível de umidade e classe de solo. O Cambissolo, por apresentar melhores características físicas e químicas (maior conteúdo de água e nutrientes), proporcionou um maior consumo de água, que refletiu no melhor crescimento e desenvolvimento dos coqueiros deste experimento.

O desdobramento dessa interação tripla permitiu verificar efeito quadrático da densidade para todas as lâminas no Cambissolo e para as lâminas de irrigação 1, 3 e 4 no Argissolo (Figura 12). Neste último, a lâmina 2 contribuiu para minimizar os efeitos restritivos do menor e/ou maior nível de densidade do solo, não sendo significativa a relação matemática entre densidade do solo e consumo de água (nesta combinação solo-umidade, o consumo médio diário por vaso foi de 0,80 L). Um maior consumo de água pelos coqueiros foi verificado nas densidades intermediárias encontradas entre os níveis de compactação 2 e 3 do experimento.

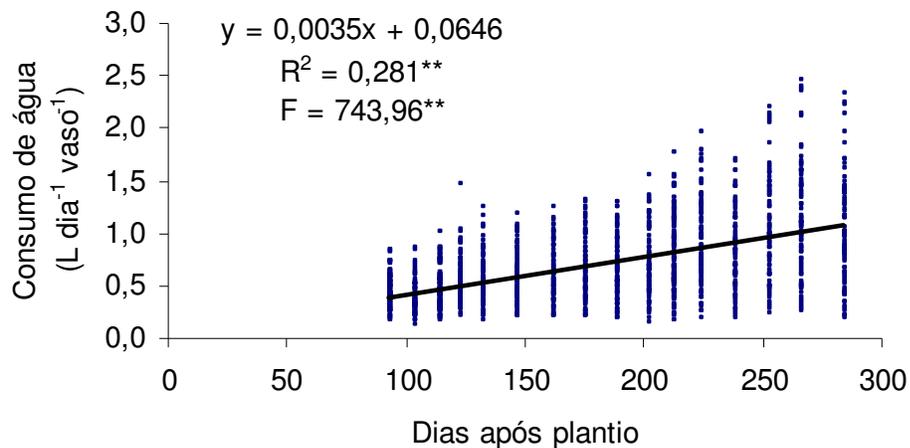


Figura 11. Consumo diário de água por vaso em função do tempo (dias após o plantio). O modelo fornece o valor esperado para a média entre todos os tratamentos (solos, níveis de compactação e lâminas de irrigação).

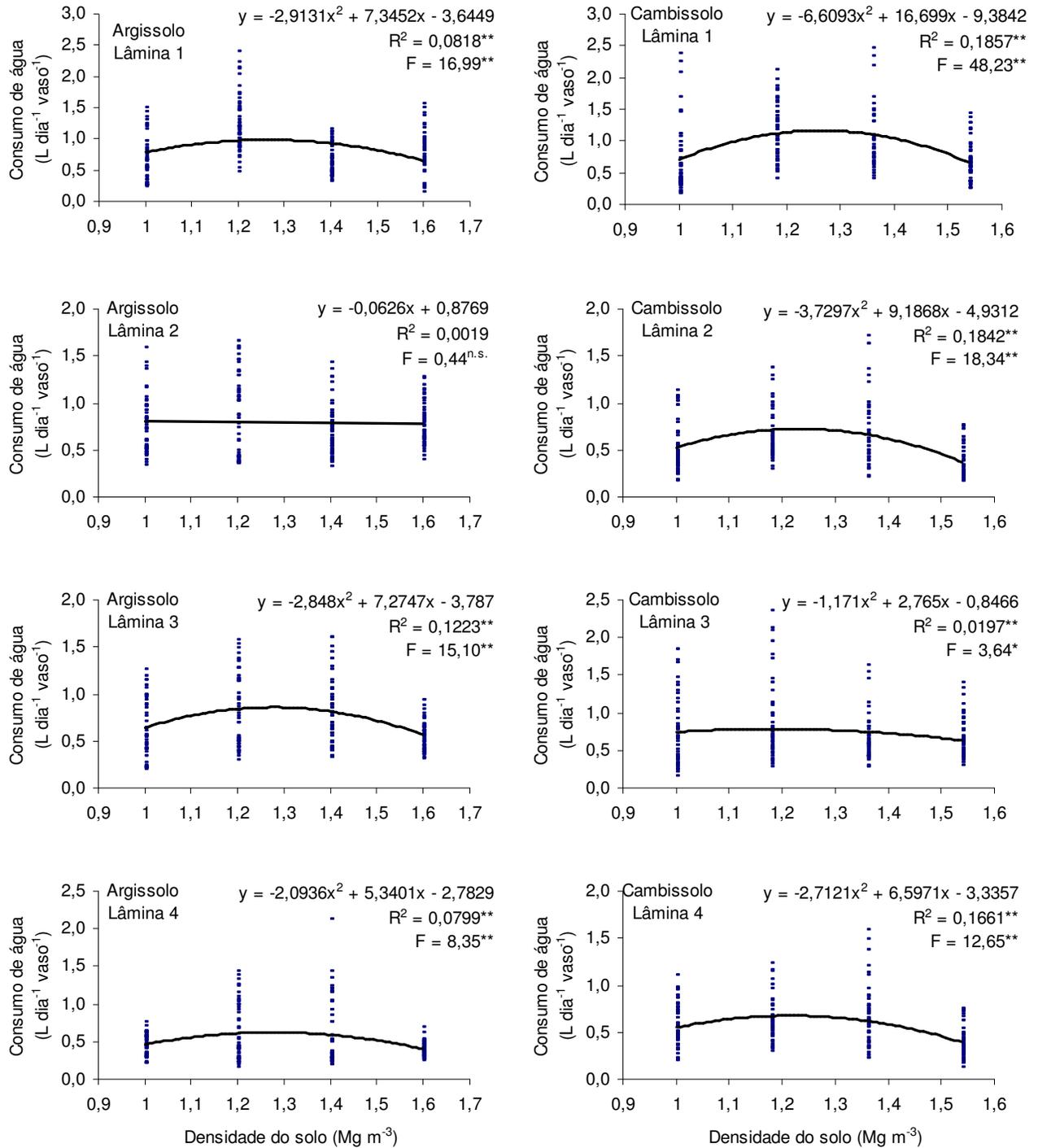


Figura 12. Consumo diário de água por vaso, para cada combinação solo-lâmina de irrigação, em função da densidade do solo (Mg m^{-3}). Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os 16 períodos avaliados. Obs.: lâmina 1 > lâmina 2 > lâmina 3 > lâmina 4.

Para o Argissolo, os consumos máximos diários e densidades correspondentes foram, respectivamente: 1,41 L e $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 1; 0,80 L e $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 2; 1,20 L e $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 3; e 0,80 L e $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 4. A média das densidades ótimas para as lâminas de irrigação do Argissolo foi de $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$. Para o Cambissolo, os consumos máximos e as densidades correspondentes foram, respectivamente: 1,75 L e $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 1; 1,10 L e $1,24 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 2; 1,24 L e $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 3; e 0,98 L e $1,22 \text{ Mg m}^{-3}$ para a lâmina 4. A média das densidades ótimas para o Cambissolo foi de $1,22 \text{ Mg m}^{-3}$.

Na Figura 13, são apresentadas as relações funcionais entre a umidade do solo e o consumo de água médio, do período experimental, para cada combinação solo-compactação. Para as compactações 1, 3 e 4 do Argissolo, pôde-se observar o efeito quadrático da umidade no consumo de água. A umidade que permitiu o máximo consumo diário de água foi $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o nível de compactação 1 (0,746 L por planta), $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o nível de compactação 3 (0,786 L por planta) e $0,376 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o nível de compactação 4 (0,773 L por planta). No nível de compactação 2 o efeito da umidade do solo foi linear crescente, isto é, o maior consumo diário máximo (1,20 L) foi observado na lâmina 1 (aquela com maior umidade de solo, $0,36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Para o nível de compactação 1, do Cambissolo, não houve efeito significativo das lâminas de irrigação no consumo de água das plantas. Para os níveis de compactação 2 e 4, foram encontrados efeitos lineares da umidade, sendo os consumos máximos de, respectivamente, 1,05 e 0,60 L por planta por dia, ambos encontrados na lâmina de irrigação 1 (solo mais úmido, com $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a compactação 2, e $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a compactação 4). Já para o nível de compactação 3, o efeito quadrático definido para a relação entre a umidade do solo e o consumo de água permitiu encontrar um valor mínimo de 0,624 L por planta, por dia, para a umidade $0,334 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e um consumo máximo diário de 1,10 L por planta na umidade máxima (lâmina 1, com $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

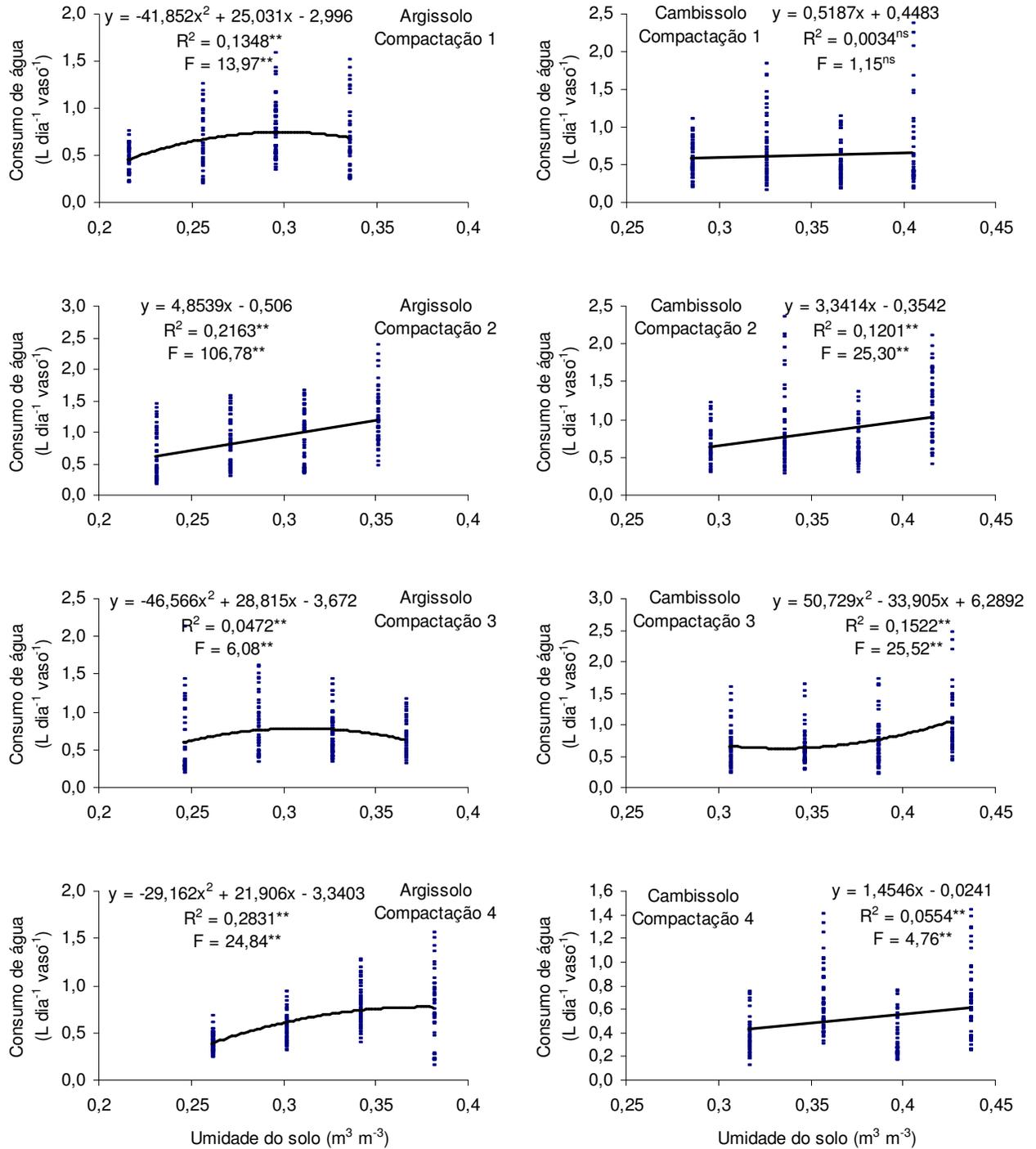


Figura 13. Consumo diário de água por vaso, para cada combinação solo-nível de compactação, em função da umidade do solo ($m^3 m^{-3}$). Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os dezesseis períodos avaliados.

A obtenção do modelo completo para cada um dos solos, em que o consumo diário de água por planta possa ser previsto a partir de uma única equação em função da densidade, da umidade do solo e da idade das plantas, permite estimar a melhor combinação densidade-umidade desses (Tabela 8). Para o último período de avaliação (284 DAP), o máximo consumo diário de água pelo coqueiro, verificado no Argissolo (1,250 L), foi proporcionado pela umidade do solo de $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e pela densidade de $1,22 \text{ Mg m}^{-3}$ (próxima ao nível de compactação 2). Já para o Cambissolo, o consumo diário máximo por planta, no último período de avaliação (1,72 L), foi observado para a densidade de $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ e umidade do solo de $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Tabela 8 - Modelo completo, para cada solo, que relaciona o consumo diário de água, por vaso, aos tratamentos no último período de avaliação (DAP = 284)

Solo	Modelo, parâmetros estatísticos e ponto de máximo
Argissolo (PA _{dx})	$\text{Consumo} = 0,0030 \text{ DAP} - 64,3962 \rho - 324,3326 \theta + 23,5182 \rho^2 + 592,5592 \theta^2 + 520,2311 \theta\rho - 192,8779 \theta\rho^2 - 943,5705 \theta^2\rho + 351,4134 \theta^2\rho^2 + 40,1439$ <p>Parâmetros estatísticos: $R^2 = 0,3883^{**}$; $F = 53,84^{**}$</p> <p>Ponto de máximo: Consumo = $1,25 \text{ L vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, obtido por: $\theta = 0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $\rho = 1,22 \text{ Mg m}^{-3}$</p>
Cambissolo (CX _{bd})	$\text{Consumo} = 0,0041 \text{ DAP} + 169,4206 \rho + 597,0602 \theta - 67,3443 \rho^2 - 899,6181 \theta^2 - 993,8969 \theta\rho + 394,0611 \theta\rho^2 + 1498,4739 \theta^2\rho - 593,4593 \theta^2\rho^2 - 101,8783$ <p>Parâmetros estatísticos: $R^2 = 0,5333^{**}$; $F = 82,66^{**}$</p> <p>Ponto de máximo: Consumo = $1,72 \text{ L vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, obtido por: $\theta = 0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $\rho = 1,25 \text{ Mg m}^{-3}$</p>

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; e ns = não significativo.

Recalculando o consumo de água em relação à área foliar, verifica-se que os valores do consumo de água pelos coqueiros equivalem aos obtidos por outros autores que trabalharam na Região Norte Fluminense. Araújo (2003), medindo a transpiração por fluxo de seiva xilemático em plantas com 3,5 anos de idade, obteve $0,95 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$ para o fluxo de seiva médio, valor mínimo de $0,09 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e valor máximo de $1,52 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de área foliar. Posse (2005), trabalhando com coqueiros de 6 anos de idade, obteve $0,76 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de área foliar para o fluxo de seiva médio, com valores mínimos e máximos de 0,02 e $2,29 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de área foliar, respectivamente. Ambos os trabalhos foram realizados com coqueiro anão verde, em Neossolo Quartzarênico.

Na Tabela 9, são apresentados os parâmetros de ajuste dos modelos de regressão para a estimativa do consumo diário dos coqueiros em função da densidade e da idade das plantas para cada combinação solo-lâmina de irrigação. Na tabela 10, os modelos apresentados referem-se à relação entre o consumo diário de água pelas plantas e os valores de umidade do solo e idade das plantas para a combinação solo-compactação. Tanto para as combinações solo-umidade quanto para as solo-compactação, a inclusão do fator “idade das plantas” no modelo levam a uma sensível melhora de sua qualidade preditiva, uma vez que todos os valores de F e os coeficientes de determinação aumentaram significativamente em relação aos modelos apresentados nas Figuras 12 e 13.

Tabela 9 - Parâmetros de ajuste - a , b , c e d - da equação de regressão para o consumo de água ($ET_0 = ap^2 + bp + cDAP + d$) e parâmetros estatísticos do ajuste - R^2 , F e significâncias -, em função da combinação solo-lâmina

Combinação solo-lâmina	-----Parâmetros de ajuste-----				-----Estatística-----	
	a	b	C	d	R^2 (%)	F
S1 – L1	-2,430**	6,090**	0,0042**	-3,603**	38,60**	53,445**
S1 – L2	-0,062 ^{ns}	-	0,0030**	0,315*	31,47**	37,481**
S1 – L3	-2,838**	7,220**	0,0031**	-4,297**	41,23**	33,941**
S1 – L4	-2,182**	5,579**	0,0016**	-3,238**	17,89**	12,462**
S2 – L1	-6,565**	16,531**	0,0055**	-10,228**	60,53**	104,835**
S2 – L2	-3,713**	9,211**	0,0033**	-5,576**	57,12**	37,913**
S2 – L3	-1,171 ^{ns}	2,765 ^{ns}	0,0045**	-1,668 ^{ns}	45,07**	55,506**
S2 – L4	-2,712**	6,597**	0,0029**	-3,877**	62,00**	31,499**

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; e ns = não significativo.

Tabela 10 - Parâmetros de ajuste - a , b , c , e d - da equação de regressão para o consumo de água ($ET_0 = a\theta^2 + b\theta + cDAP + d$) e parâmetros estatísticos do ajuste - R^2 , F e significâncias -, em função da combinação solo-compactação

Combinação solo- compactação	-----Parâmetros de ajuste-----				-----Estatística-----	
	a	b	c	d	R^2 (%)	F
S1 – C1	-41,661**	25,040**	0,0025**	-3,459**	35,07**	24,22**
S1 – C2	4,853**	-	0,0039**	-1,228**	46,62**	115,07**
S1 – C3	-46,322**	28,372**	0,0032**	-4,129**	32,93**	28,34**
S1 – C4	-25,844**	19,936**	0,0023**	-3,477**	51,56**	30,15**
S2 – C1	0,780 ^{ns}	-	0,0039**	-0,358 ^{ns}	35,15**	59,75**
S2 – C2	3,341**	-	0,0048**	-1,240**	56,03**	118,01**
S2 – C3	51,475**	-33,989**	0,0049**	5,343**	66,26**	74,07**
S2 – C4	1,508**	-	0,0026**	-0,512**	34,98**	30,06**

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; e ns = não significativo.

4.3. Análise fisiológica

Na Tabela 11, são apresentados os valores de F obtidos na análise de variância dos atributos fisiológicos dos coqueiros, assim como a indicação do nível de significância e o coeficiente de variação. Enquanto não foi observado efeito simples da compactação do solo em qualquer variável fisiológica, o fator qualitativo solo exerceu efeito significativo em todas as variáveis avaliadas - potencial hídrico foliar ante-manhã do coqueiro (Ψ_w), leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC), taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV_{fa}) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m). Para o conteúdo de água no solo, houve efeito simples apenas no Ψ_w . A interação dos fatores foi observada na LMPC (solo x umidade) e no F_v/F_m . (solo x umidade e compactação x umidade). Em função dessas interações, os efeitos simples do solo, para a LMPC, e do solo e umidade, para F_v/F_m , não foram levados em consideração.

Tabela 11 - Valores de F, níveis de significância e coeficientes de variação para as variáveis fisiológicas avaliadas: potencial hídrico ante-manhã (Ψ_w), leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), déficit de pressão de vapor folha-ar (DPV_{fa}) e rendimento quântico máximo (F_v/F_m)

Fonte de variação	Ψ_w	LMPC	A	g_s	E	DPV_{fa}	F_v/F_m
Bloco	0,65 ^{ns}	5,04 ^{**}	11,09 ^{**}	8,74 ^{**}	0,81 ^{ns}	103,07 ^{**}	5,53 ^{**}
Solo	7,37 ^{**}	5,37 [*]	8,63 ^{**}	5,85 [*]	7,30 ^{**}	4,28 [*]	10,12 ^{**}
Compactação	1,11 ^{ns}	2,34 ^{ns}	1,09 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,99 ^{ns}
Umidade	3,58 [*]	1,75 ^{ns}	2,37 ^{ns}	2,40 ^{ns}	1,90 ^{ns}	2,14 ^{ns}	4,82 ^{**}
Solo*com	1,04 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,76 ^{ns}	2,28 ^{ns}
Solo*umi	0,86 ^{ns}	2,93 [*]	0,96 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,25 ^{ns}	5,89 ^{**}
Com*umi	0,60 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,88 ^{ns}	1,12 ^{ns}	2,20 [*]
Solo*com*umi	1,00 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,62 ^{ns}	2,04 ^{ns}
CV (%)	73,58	14,63	54,61	63,12	48,51	16,43	2,90

Obs.: Os níveis de significância são indicados por: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; e ns = não significativo.

Os potenciais hídricos ante-manhã dos coqueiros, observados no último período do experimento, foram: -0,30, -0,37, -0,45 e -0,53 MPa, para as plantas crescidas respectivamente nas lâminas de irrigação 1, 2, 3 e 4, decrescendo linearmente com a redução da umidade do solo (Figura 13). O potencial hídrico foliar ante-manhã (Ψ_w) corresponde ao potencial hídrico do equilíbrio solo-planta-atmosfera, já que é determinado antes da influência da energia solar, na ausência de transpiração. Entretanto, o Ψ_w pode também não refletir o potencial hídrico do solo, devido à altas concentrações de solutos no apoplasto (Donovan et al., 2001) e na seiva do xilema (DaMatta e Rena, 2001). O valor do potencial hídrico ante-manhã é dependente do estado hídrico do solo e da densidade e profundidade do sistema radicular.

Em solo compactado, Hartung et al. (1994) verificaram que a taxa de crescimento foliar do milho foi inibida e mostrou boa correlação com a concentração de ácido abscísico (ABA) na seiva xilemática. O rápido aumento na concentração de ABA no xilema coincidiu com a redução do potencial hídrico foliar e da pressão de turgor. O potencial hídrico foliar dos coqueiros, avaliado no último período do presente experimento, não foi alterado significativamente pelas diferentes

densidades dos solos aplicadas, sendo diferente, porém, quando em função da umidade e classe de solo.

Passos et al. (2006) avaliaram o curso diurno e sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas foliares do coqueiro anão sob condições de campo. As variedades estudadas reduziram drasticamente a condutância estomática (g_s) no período seco. Sob estiagem, os valores de transpiração (E) e fotossíntese líquida (A) foram reduzidos principalmente na variedade Anão Verde de Jiqui (AveJ), a qual controlou eficientemente a transpiração e apresentou aumento significativo nos valores de eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s). Na estação chuvosa, as trocas gasosas foram condicionadas pelo fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) e pela g_s . No entanto, durante a estação seca, as trocas gasosas foram condicionadas somente pelos valores de g_s , sendo os valores de FFF não-limitantes desde as primeiras horas do dia.

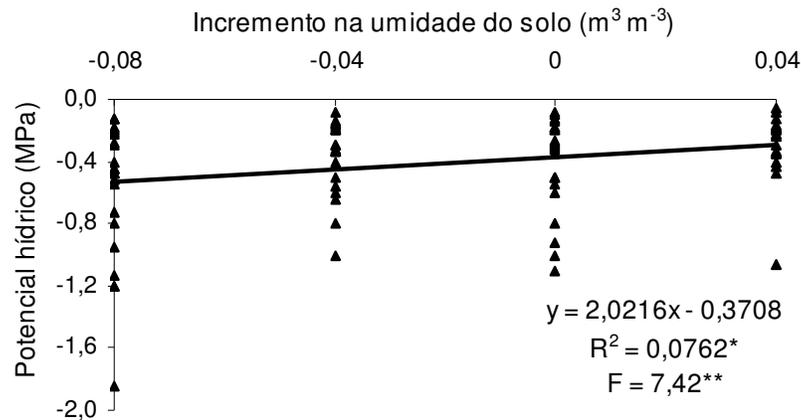


Figura 13. Potencial hídrico foliar ante-manhã dos coqueiros (MPa), nas lâminas de irrigação (incremento ou redução na umidade do solo). O modelo fornece o valor esperado para a média entre todos os solos e níveis de compactação.

Passos et al. (1999), estudando genótipos de coqueiro, verificaram que no Anão Verde de Jequi os valores de condutância estomática (g_s) decresceram rapidamente (de 1,15 a 0,24 cm s^{-1}) em resposta a um mínimo decréscimo nos valores do potencial hídrico foliar (Ψ_w) de -1,18 a -1,22 MPa; não havendo mudanças nos valores de g_s em função de valores de Ψ_w menores que -1,2 MPa. No Anão Amarelo da Malásia, os valores de g_s decresceram mais lentamente (de 1,61 a 0,28 cm.s^{-1}) em função de uma ampla faixa de valores decrescentes do Ψ_w de -1,0 a -1,6 MPa. No Anão Vermelho da Malásia, o decréscimo dos valores de g_s foi menos acentuado (de 0,78 a 0,43 cm s^{-1}) em função de um decréscimo do Ψ_w de -1,3 a -1,4 MPa.

Os resultados encontrados por Posse (2005), com coqueiro anão verde, são contraditórios em relação aos obtidos por Passos et al. (1999) e Passos et al. (2006), pois o primeiro destes observou que elevadas reduções do potencial hídrico das folhas do coqueiro (-0,25 a -1,36 MPa) não afetou de forma expressiva a condutância estomática, sendo observada redução de 0,1 a 0,3 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que demonstra a baixa eficiência do controle estomático às oscilações do potencial. Estas diferenças possivelmente são devido às contrastantes condições dos solos onde foram realizados estes estudos, uma vez que o potencial hídrico das plantas está diretamente relacionado com a disponibilidade de água no solo e com a profundidade e densidade do sistema radicular. Além disso, onde foi realizado o estudo de Posse (2005), o solo se encontrava sempre acima da capacidade de campo.

Na Figura 14, são comparadas as médias obtidas para cada solo referentes às variáveis fisiológicas em que este fator não interagiu com a umidade e/ou a compactação. Verifica-se que ocorreu uma diferença significativa entre os potenciais hídricos foliares (Ψ_w) médios dos coqueiros crescidos no solo 1 (-0,51 MPa) e no solo 2 (-0,32 MPa), ou seja, o Cambissolo apresentou maiores Ψ_w em relação ao Argissolo.

Os coqueiros do Cambissolo apresentaram maior taxa fotossintética líquida, 6,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, quando comparados com os do Argissolo, que proporcionaram uma menor assimilação de carbono, de aproximadamente 4,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Essa maior assimilação fotossintética do CO_2 deve-se provavelmente a maiores valores de potencial hídrico foliar e condutância estomática dos coqueiros no Cambissolo.

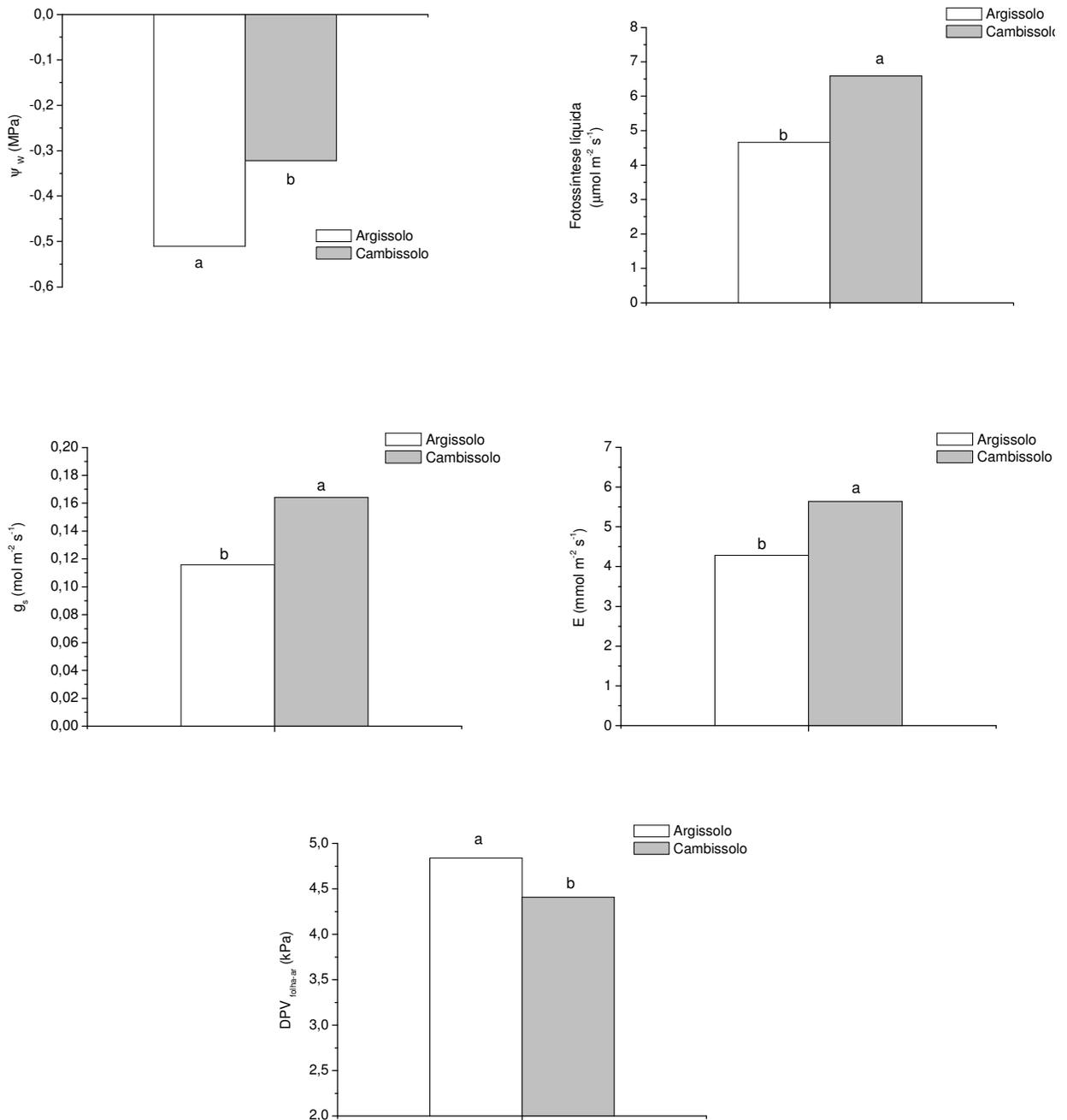


Figura 14. Comparação entre os solos quanto às variáveis fisiológicas que não apresentaram interação: potencial hídrico foliar ante-manhã (Ψ_w), taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática g_s , transpiração (E) e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV_{fa}). Cada barra representa a média dos coqueiros sob todas as compactações e lâminas de irrigação. Quando sob mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Um decréscimo na atividade fotossintética devido a uma queda na condutância estomática de plantas de trigo em solo compactado foi relatado por Masle (1990). Esse decréscimo foi atribuído a uma mensagem química, principalmente pelo ácido abscísico (ABA), produzido pelas raízes sob estresse e translocado para parte aérea via fluxo transpiratório (Davies e Zhang, 1991; Tardieu et al., 1994).

A condutância estomática (g_s) dos coqueiros do Cambissolo ($0,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi significativamente maior do que a encontrada nos coqueiros do Argissolo ($0,12 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Essa maior g_s observada nos coqueiros do Cambissolo levou a uma maior transpiração e, simultaneamente, à refrigeração da folha, diminuindo o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar. O Cambissolo promoveu maior transpiração para as plantas, com aproximadamente $5,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em relação à observada nos coqueiros do Argissolo, com $4,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Já o fechamento estomático, verificado nos coqueiros do Argissolo, levou a uma redução na transpiração foliar e, conseqüentemente, a um aumento na temperatura das folhas e no déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar. O Cambissolo proporcionou um menor déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, em torno de $4,4 \text{ kPa}$, em relação ao encontrado nos coqueiros do Argissolo, com $4,8 \text{ kPa}$ (Figura 14).

Em geral, a temperatura de folhas que transpiram ativamente é mais baixa do que a temperatura do ar, mas o déficit hídrico restringe a transpiração e causa superaquecimento e estresse pelo calor. O estresse pelo calor pode inibir a fotossíntese e prejudicar a função da membrana e a estabilidade protéica (Taiz e Zeiger, 2004).

Larcher (2000) esclarece que a maior diferença de potencial hídrico, no gradiente solo-planta-atmosfera, está entre a parte aérea da planta e o ar seco, devido ao déficit de pressão de vapor do ar, fazendo com que ocorra um fluxo de água do interior da planta para a atmosfera. Fatores externos, como a radiação, influenciam a transpiração à medida que se altera a diferença de pressão de vapor entre o ar e a superfície da planta. O aumento na transpiração e a não-reposição dessa água perdida, em uma taxa satisfatória, reduz o potencial hídrico e impede imediatamente o processo fotossintético, devido, principalmente, ao prejuízo causado ao transporte de elétrons e à fosforilação oxidativa.

Maiores valores de condutância estomática (g_s), nos coqueiros da classe do Cambissolo, aumentaram a possibilidade de intercâmbio gasoso, facilitando a difusão de CO_2 até o sítio de carboxilação. Essas maiores g_s exerceram conseqüência direta sobre o aumento das taxas fotossintéticas; além disso, aumentaram a capacidade de resfriamento das folhas e, conseqüentemente, a absorção e translocação de nutrientes, via corrente transpiratória.

Os teores de clorofila na folha podem ser afetados pela ação de fatores do ambiente (Hendry e Price, 1993). Esse fato mostra que a determinação dos pigmentos fotossintéticos pode ser uma importante ferramenta no diagnóstico de estresse, como a compactação do solo e o déficit hídrico em plantas, o que potencializa o uso do medidor portátil de clorofila. Os valores proporcionais de clorofila, observados no último período do experimento, foram influenciados pela interação da classe de solo com a lâmina de irrigação. Avaliando-se os efeitos das lâminas de irrigação sobre os valores de clorofila para cada solo, verifica-se que, enquanto para o Cambissolo não se observou efeito, para o Argissolo, o incremento da umidade levou a incrementos lineares na leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC), conforme apresentado na Figura 15. Esse aumento nos valores de clorofila pode estar associado à adubação nitrogenada (100 g de uréia por vaso), no início do experimento, para ambos os solos.

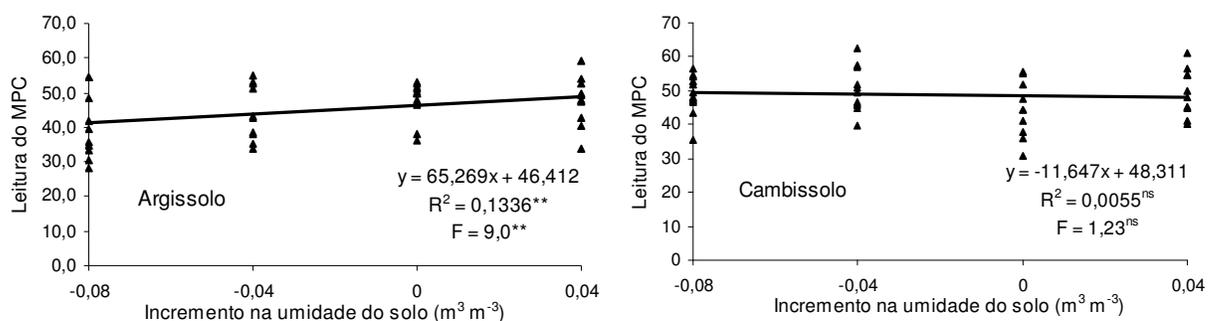


Figura 15. Leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC) no Argissolo e no Cambissolo, obtida no último período do experimento (284 DAP), em função do incremento ou redução na umidade do solo. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os níveis de compactação.

Na Figura 16, apresentam-se as diferenças entre os solos, que foram significativas nos níveis de umidade 3 e 4, mas não nos níveis de umidade 1 e 2. Isto sugere que o Cambissolo, provavelmente por possuir um maior conteúdo de água e nutrientes disponíveis para os coqueiros, atuou como um grande reservatório, principalmente nas condições de irrigação 3 e 4 (menores umidades volumétricas). O Cambissolo possivelmente promoveu maior absorção de nitrogênio, o que manteve maiores valores de clorofila em relação ao Argissolo.

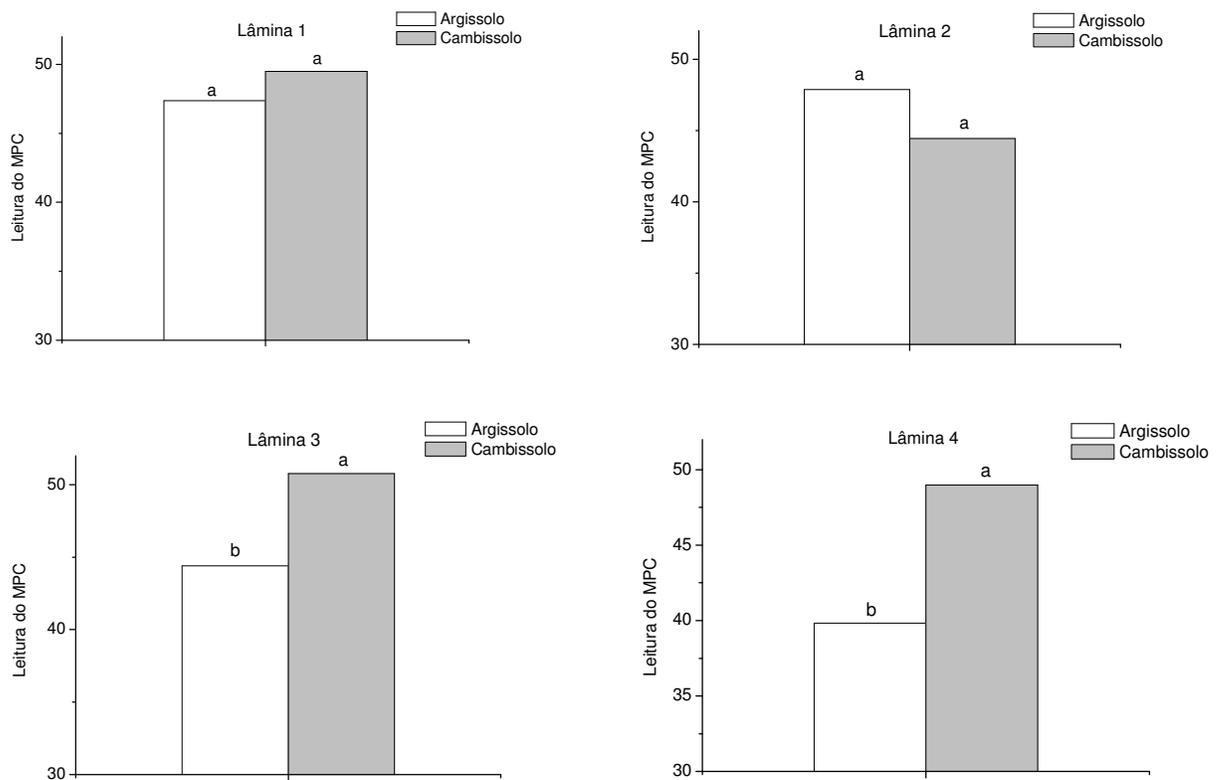


Figura 16. Comparação entre os solos quanto à estimativa do valor de clorofila dos coqueiros (leitura do medidor portátil de clorofila), para as quatro lâminas de irrigação. A altura de cada barra representa a média dos coqueiros sob todos os níveis de compactação. Quando sob mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Obs.: lâmina 1 > lâmina 2 > lâmina 3 > lâmina 4.

A eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) pode variar numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas a estresses (Bolhar-NordenKampf et al., 1989). Essa relação é altamente correlacionada com o rendimento fotossintético das folhas. A diminuição da relação F_v/F_m é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse (Yang et al., 1996). Essa redução em F_v/F_m pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível quanto uma inativação irreversível do fotossistema II (Long et al., 1994; Araus e Hogan, 1994).

Além dos efeitos simples de solo e de umidade sobre o F_v/F_m , esta variável foi afetada pelas interações solo x umidade e compactação x umidade. No desdobramento da interação solo x umidade (Figura 17), verifica-se que para o Cambissolo não houve efeito das lâminas de irrigação, enquanto para o Argissolo houve ajuste de uma função quadrática com F_v/F_m máximo de 0,81, obtido quando o incremento da umidade foi de $0,003 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, muito próximo ao nível 2, e F_v/F_m mínimo de 0,76 obtido na lâmina 4 (aquela com menor umidade do solo). Por outro lado, a comparação entre os solos, em cada nível de umidade, revela que o Cambissolo foi superior nos níveis 3 e 4 de umidade (Figura 18). Estes resultados reiteram, novamente, que o Cambissolo tem um conjunto de atributos químicos e físicos que o torna menos susceptível que o Argissolo, a sofrer estresse hídrico.

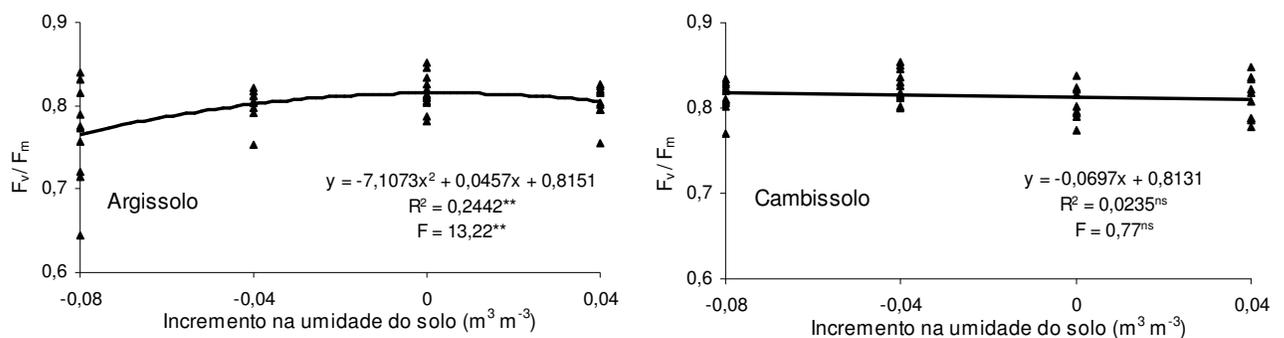


Figura 17. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) dos coqueiros cultivados em cada solo, obtido no último período do experimento (284 DAP), em função do incremento ou redução na umidade do solo. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre todos os níveis de compactação.

Na interação compactação x umidade, verifica-se que apenas no nível de compactação 1 houve diferença no F_v/F_m dos coqueiros entre as lâminas de irrigação, ajustando-se uma função quadrática com F_v/F_m máximo de 0,82, obtido na lâmina de irrigação 2 (Figura 19). O maior F_v/F_m observado se deve provavelmente à maior absorção de água e nutrientes nas densidades intermediárias, promovida pela lâmina 2 (umidade de referência). Por outro lado, o menor F_v/F_m promovido pela lâmina 4 (a de menor umidade volumétrica, com redução de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, em relação à umidade de referência) pode ser consequência da maior dificuldade em absorver água em solo com compactação muito baixa, onde há menor contato solo-raiz (Figura 20).

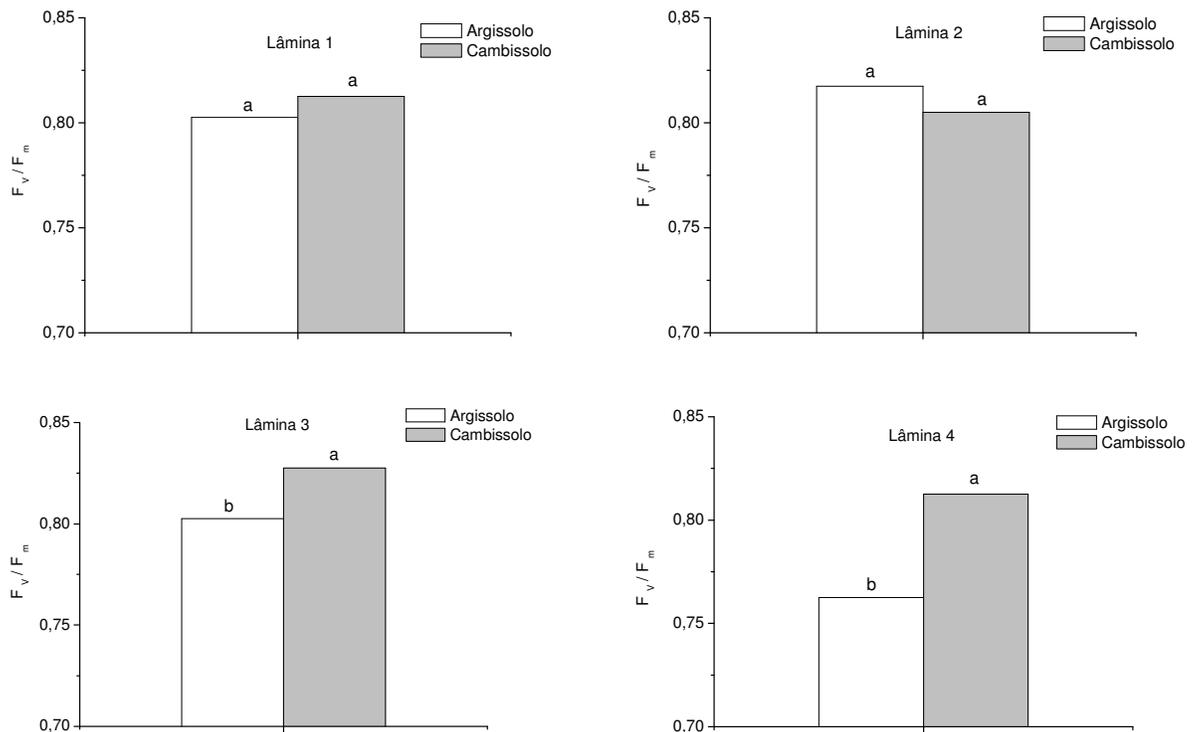


Figura 18. Comparação entre os solos quanto ao rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), para as quatro lâminas de irrigação. A altura de cada barra representa a média dos coqueiros sob todos os níveis de compactação. Quando sob mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Obs.: lâmina 1 > lâmina 2 > lâmina 3 > lâmina 4.

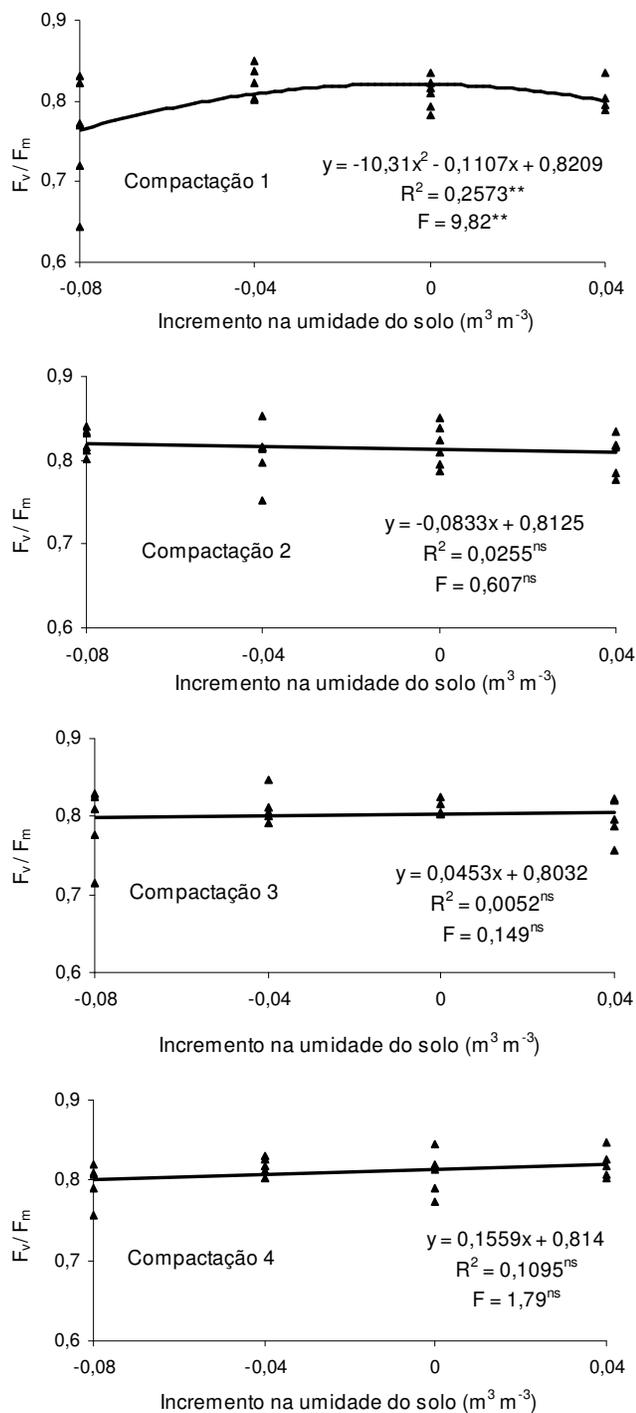


Figura 19. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) dos coqueiros cultivados em cada nível de compactação, obtido no último período do experimento (284 DAP), em função do incremento ou redução na umidade do solo. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre os dois solos.

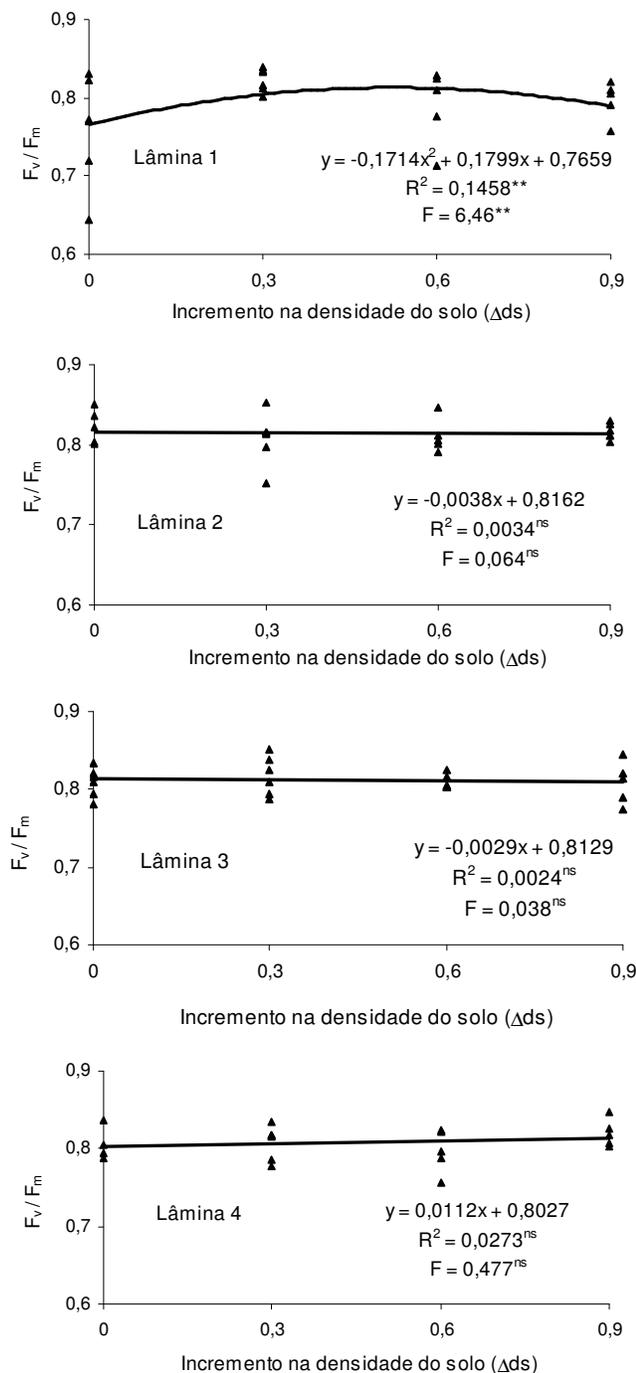


Figura 20. Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) dos coqueiros cultivados em cada lâmina de irrigação, no último período do experimento (284 DAP), em função da compactação do solo. Os modelos fornecem o valor esperado para a média entre os dois solos.

Acerca dos efeitos descritos, o valor médio do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) esteve dentro da faixa (entre 0,75 e 0,85) em que se considera que as plantas não estão submetidas a algum tipo de estresse. Isso sugere que os tratamentos não causaram danos ao aparelho fotossintético e que toda a variação na biometria e consumo de água deveu-se ao controle estomático dos coqueiros.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Exceção feita à razão de área foliar, todas as demais variáveis morfológicas avaliadas – altura do coqueiro, circunferência da estipe, número de folhas, massa total e área foliar – sofreram efeitos significativos da:

- Classe de solo: as plantas crescidas no Cambissolo foram superiores às crescidas no Argissolo.
- Compactação: funções quadráticas indicam maior desenvolvimento das plantas para incrementos na densidade do solo de 38% da Δds em relação à densidade mínima.
- Irrigação: regressões lineares significativas indicam que a maior lâmina (lâmina de irrigação 1) propiciou maior desenvolvimento dos coqueiros.

Para o consumo diário de água pelos coqueiros, houve crescimento linear ao longo do tempo e efeito altamente significativo da interação solo x compactação x umidade, como segue:

- Em relação à densidade, o comportamento geral pode ser descrito por uma função quadrática, sendo os maiores valores de consumo obtidos com incremento de 40% da Δds em relação à densidade mínima.

- Com relação à umidade, os maiores valores de consumo de água foram obtidos na lâmina 1 para o Cambissolo (função linear crescente) e lâmina 2 (função quadrática) para o Argissolo.

Quanto às variáveis fisiológicas, o Cambissolo apresentou em relação ao Argissolo valores menores para o déficit de pressão de vapor, entre a folha e o ar, e valores maiores para potencial hídrico foliar (Ψ_w), taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração, leitura do medidor portátil de clorofila (LMPC) e rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m) - exceto para as maiores lâminas. Para os demais fatores verificou-se que:

- Os mais elevados conteúdos de água no solo levaram a valores menos negativos do Ψ_w para ambos os solos, e a maiores valores da LMPC para o Argissolo.
- Para o Argissolo, a variável F_v/F_m apresentou relação quadrática com a umidade, sendo o valor máximo atingido próximo da lâmina 2.
- No nível de compactação 1, de ambos os solos, a variável F_v/F_m apresentou relação quadrática com a umidade (umidade ótima próxima ao nível 2).
- Não houve efeito da compactação do solo para as variáveis fisiológicas, exceção feita à F_v/F_m sob lâmina 1, em que houve relação quadrática com a compactação (compactação ótima com incremento de 50% da Δds , acima da densidade mínima).

Tais resultados permitem comprovar a hipótese formulada, ou seja, de que a submissão das plantas a estresses hídrico e mecânico influenciou a biometria, o consumo de água, o potencial hídrico foliar e as trocas gasosas do coqueiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alakukku, L., Weiskopf, P., Chamen, W.C.T., Tijink, F.G.J., Van Der Linden, J.P., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G. (2003) Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. *Soil and Tillage Research*, 73:145-160.

Amorim, J.R.A. (2002) Irrigação. *In*: Fontes, H.R., Ferreira, J.M.S., Siqueira, L.A. (eds.) *Sistema de produção para a cultura do coqueiro*. Aracaju: EMBRAPA, p. 22-25.

Anderson, J.M., Ingram, J.S.I. (1993) *Tropical soil Biology and Fertility*. 2. ed. Wallingford: Cob. Internacional, 221p.

Aragão, W.M. (2002) Cultivares de coqueiro. *In*: Fontes, H.R., Ferreira, J.M.S., Siqueira, L.A. (eds.) *Sistema de produção para a cultura do coqueiro*. Aracaju: EMBRAPA, p. 16-19.

Araújo, M.C. (2003) *Demanda hídrica e distribuição de raízes do coqueiro anão verde (Cocos nucifera L.) na Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 46p.

Araus, J.L., Amaro, T., Voltas, J., Natkoul, H., Nachit, M.M. (1998) Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 55:209-223.

Araus, J.L., Hogan, K.P. (1994) Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearings and forest understory during the dry season in Panama. *American Journal of Botany*, 81 (6):726-738.

Bernardes, R.S. (2005) *Condutividade hidráulica de três solos da Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual Norte Fluminense - UENF, 80p.

Bolhàr-Nordenkampf, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Oquist, G., Schreiber, U., Lechner, E.G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3:497-514.

Bolhàr-Nordenkampf, H.R., Oquist, G. (1993) In: Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. (eds.) Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. Chapman & Hall, London, 193p.

Campostrini, E., Yamanishi, O.K. (2001) Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13 (2):129-138.

Cintra, F.L.D. (2002) Solos. In: Fontes, H.R., Ferreira, J.M.S., Siqueira, L.A. (org.) *Sistema de produção para a cultura do coqueiro*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 10-11.

Costa, L.M., Abrahão, W.A.P. (1996) Compactação e adensamento de solos relacionados às propriedades químicas e físicas e sedimentológicas. *In: Alvarez, V.V.H., Fontes, L.E.F., Fontes, M.P.F., (eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, p. 429-443.

Cuenca, M.A.G. (2002) Importância econômica da cocoicultura no Brasil. *In: Fontes, H.R., Ferreira, J.M.S., Siqueira, L.A. (eds.) Sistema de produção para a cultura do coqueiro.* Aracaju: EMBRAPA, p. 7-8.

DaMatta, F.M., Rena, A.B. (2001) Tolerância do café à seca. *In: Zambolin, L. (ed.) Tecnologia de produção de café com qualidade.* Viçosa, Departamento de Fitopatologia: UFV, p. 65-100.

Da Ros, C.O., Secco, D., Fiorin, G.W. (1997) Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:241-247.

Davies, W.J., Zhang, J. (1991) Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 42:55-76.

Demmig, B., Adams, W.W. (1992) Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43:599-604.

Dias Júnior, M.S. (2000) Compactação do solo. *In: Novais, R.F., Alvarez, V.V.H., Schaefer, C.E.G.R. (eds.) Tópicos em ciência do solo.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 55-94.

Dias Júnior, M.S., Pierce, F.J.O. (1996) O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20:175-182.

Donovan, L.A., Linton, M.J., Richards, J.H. (2001) Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. *Ecologia*, 129:328-335.

Embrapa (1997a) *Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária, 370p.

Embrapa (1997b) *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos – Embrapa Solos, 412p.

Embrapa (2003) *Coco - Produção e Aspectos Técnicos*. Frutas do Brasil 27, Aracaju: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros, 106p.

Embrapa (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos – Embrapa Solos, 306p.

Flore, J.A., Lakso, A.N. (1988) Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, New York, 11:111-157.

Geisler G. (1967) Interactive effects of CO₂ and O₂ in soil on root and top growth of barley and peas. *Plant Physiology* 42: 305-307.

Gomes, F.P. (1990) *Curso de estatística experimental*. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 467p.

Hartung, W., Zhang, J., Davies, W.J. (1994) Does abscisic acid play a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil? *Journal of Experimental Botany*, 45 (271):221-226.

Hussain, A., Black, C.R., Taylor, I.B., Roberts, J.A. (1999) Soil compaction. A role for ethylene in regulating leaf expansion and shoot growth in tomato. *Plant Physiology*, 121:1227-1237.

Hendry, G.A.F., Price, A.H. (1993) Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. *In*: Hendry, G.A.F., Grime, J.P. (eds.) *Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman e Hall, p. 148-152.

IBGE (2005) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.ibge.gov.br> em 16 set 2006.

IRHO - Institut de Recherche sur les Huiles et les Oleagineux - (1992). Coconut Climatology. *Oleagineux* 47:(6):331-332.

Jacomine, P.K.T. (2001) Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. *In*: Cintra, F.L.D., Anjos, J.L., Mello Ivo, W.M.P. (eds.) *Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 19-46.

Jones, H.G. (1992) *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology*. 2 ed.: Cambridge University Press, 85p.

Kiehl, E.J. (1979) *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p.

Kozlowski, T.T. (1999) Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14:596-619.

Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. Tradução de Carlos Henrique Britto de Assis Prado. São Carlos: RiMa, 531p.

Lipiec, J., Hatano, R. (2003) Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, 116:107–136.

Lipiec, J., Simota, C. (1994) Role of soil and climate factors in influencing crop responses to compaction in Central and Eastern Europe. *In*: Soane, B.D., Van Ouwerkerk, C. (eds.) *Soil Compaction in Crop Production*. Amsterdam: Elsevier, p.365-390.

Long, S.P., Humphries, S., Falkowski, P.G. (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45:633-662.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 889p.

Masle, J. (1990) Growth and stomatal behavior: responses to soil resistance to root penetration. In: Davies W.J., Jeffcoat, B. (eds.) *Importance of root to shoot communication in responses to environmental stress*. v. 21, p. 95-113.

Masle, J. (1998) Growth and stomatal responses of wheat seedlings to spatial and temporal variations in soil strength of bi-layered soils. *Journal of Experimental Botany*, 49 (324):1245-1257.

Medeiros, R.D. (2004) *Efeitos da compactação do solo e da umidade sobre a absorção de N, P, K, os componentes de produção e a produtividade de grãos de arroz*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 162p.

Miranda, F.R., Oliveira, V.H., Santos, F.J.S. (1998) *Desenvolvimento de plantas jovens de coqueiro anão (Cocos nucifera L.) submetidas a diferentes regimes de irrigação*. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 4p.

Passos, E.E.M. (1998) Morfologia do coqueiro. In: Ferreira, J.M.S., Warwick, D.R.N., Siqueira, L.A. (eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. 2 ed. Brasília: EMBRAPA-CPATC. p. 57-64.

Passos, E.E.M., Prado, C.H.B.A., Leal, M.L.S. (1999) Condutância estomática, potencial hídrico foliar e emissão de folhas e inflorescências em três genótipos de coqueiro anão. *Agrotrópica*, 11 (3):147-152.

Passos, C.D., Passos, E.E.M., Prado, C.H.B.A. (2005) *Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro anão*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. n. 18, Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 21p.

Passos, E.E.M. (2002) Exigências climáticas do coqueiro. *In: Fontes, H.R., Ferreira, J.M.S., Siqueira, L.A. (eds.) Sistema de produção para a cultura do coqueiro*. Aracaju: EMBRAPA, p. 9-10.

Peterson, C.A. (1998) The exodermis and its interaction with the environment. *In: Flores, H.E., Lynch, J.P., Eissenstat, D. (eds.) Advances and perspectives on the function of plant roots*. Rockville: American Society of Plant Physiologists, p. 131-138.

Pezeshki, S.R. (1994) Plant response to flooding. *In: Wilkinson, R.E. (ed.) Plant environment interactions*. New York: Marcel Dekker, p. 289-321.

Posse, R.P. (2005) *Relações hídricas em plantas de coqueiro anão verde (Coco nucifera L.) na Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 104p.

Ravelli Neto, A. (1989) *Caracterização e classificação de uma seqüência de solos da Baixada dos Goytacazes, RJ*. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Rio de Janeiro - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, 180p.

Silva, A.P., Kay, B.D., Perfect, E. (1994) Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 58 (6):1775-1781.

Siqueira, L.A., Aragão, W.M., Tupinambá, E.A. (2002) A Introdução do coqueiro no Brasil, importância histórica e agrônômica, 24p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 47); <http://www.cpatc.embrapa.br> em 16 set 2006.

Soane, B.D., Van Ouwerkerk, C. (1994) Soil compaction in crop production. *In*: Soane, B.D., Van Ouwerkerk, C. (eds.) *Soil compaction problems in world agriculture*. Amsterdam: Elsevier, p. 1-21.

Sobral, L.F. (1998) Nutrição e adubação do coqueiro. *In*: Ferreira, J.M.S., Warwick, D.R.N., Siqueira, L.A. (eds.) *A cultura do coqueiro no Brasil*. 2 ed. Brasília: EMBRAPA-CPATC. p. 65-72.

Souza, L.S., Souza, L.D., Caldas, R.C. (2001) Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos tabuleiros costeiros. *Anais do Congresso Brasileiro sobre Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros*: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, p. 169-190.

Souza, M.S. (2004) *Caracterização do intervalo hídrico ótimo de três solos da região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 72p.

Stacanti, G., Nogueira, J.B., Vilar, O.M. (1981) *Compactação do solo*. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 81-93. (Ensaio de laboratório em mecânica do solo, 7).

Stasovski, E., Peterson, C.A. (1993) The effects of drought and subsequent rehydration on the structure vitality and permeability of *Allium cepa* L. adventitious roots. *Canadian Journal of Botany*, 71:700-707.

Stirzaker, R.J., Passioura, J.B., Wilms, Y. (1996) Soil structure and plant growth: Impact of bulk density and biopores. *Plant and Soil*, 185:151-162.

Taiz, L., Zeiger, E. (2004) *Plant physiology*. Tradução de Eliane Romanato Santarém. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 719p.

Tardieu, F., Zhang, J., Katerji, N., Bethonod, O., Davies, W.J. (1994) Xylem ABA controls the stomatal conductance of field-grown maize subjected to soil compaction or soil drying. *Plant Cell. Environ.* 15, 193-197.

Tormena, C.A., Barbosa, C.M., Costa, A.C.S., Gonçalves, A.C.A. (2002) Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, 59 (4):795-80.

Torres Netto, A. (2005) *Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) na fase juvenil*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 116p.

USDA - Natural Resources Conservation Service Soil Survey Staff (1990) *Keys to Soil Taxonomy*, 4th ed., Washington, DC.

Van Genuchten, M.T. (1980) A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44:892-898.

Yang, G., Rhodes, D., Joly, R.J. (1996) Effects of high temperature on membrane stability and chlorophyll fluorescence in glycinebetaine-deficient and -containing maize lines. *Australian Journal of Plant Physiology* 23: 437-443.

APÊNDICE

Quadro 1A. Descrição morfológica do solo 1

Descrição geral – Solo 1
<p>Data – 27/06/2003</p> <p>Classificação – Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico.</p> <p>Localização – Modelo de Fazenda, Escola Agrícola Antônio Sarlo, Campos dos Goytacazes/RJ.</p> <p>Situação e declividade – Trincheira na encosta do tabuleiro que contacta a baixada.</p> <p>Formação geológica e litologia – Formação Barreiras.</p> <p>Material originário – Sedimentos inconsolidados do Quaternário.</p> <p>Relevo local – Suave ondulado.</p> <p>Relevo regional – Plano a suave ondulado.</p> <p>Altitude – 10-15 metros.</p> <p>Drenagem - bem drenado.</p> <p>Pedregosidade - ausente.</p> <p>Erosão – laminar, pouco perceptível.</p> <p>Vegetação local - restinga com presença de cajueiros.</p> <p>Vegetação regional – restinga com presença de cajueiros.</p> <p>Uso atual - Cultivo com coqueiro, com 5 a 6 anos de idade.</p> <p>Descrito por – Cláudio Roberto Marciano</p>
Descrição morfológica do perfil
<p>A_p 0 - 10 cm, bruno (7.5YR 4/4, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); argila arenosa; blocos sub-angulares, pequeno a muito pequeno, forte; duro, ligeiramente plástico, pegajoso; transição clara e gradual.</p> <p>A_{3,1} 10 - 20 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/5, seco); argila arenosa; blocos sub-angulares, médio a pequeno, forte; ligeiramente duro, muito friável, plástico, pegajoso; transição clara e gradual.</p> <p>A_{3,2} 20 - 35 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido) e bruno (7.5YR 5/3, seco); argila arenosa; blocos sub-angulares, médio a pequeno, forte; ligeiramente duro, muito friável, plástico, pegajoso ; transição gradual e abrupta.</p> <p>B_{t1} 35 - 80 cm, bruno forte (7.5YR 4/6, úmido) e amarelo-avermelhado (7.5YR 6/6, seco); argila; blocos sub-angulares, médio, forte; duro, muito friável, plástico, pegajoso, transição gradual.</p> <p>B_{t2} 80 - 120 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); argila; blocos sub-angulares, grande, forte; ligeiramente duro, muito friável, plástico, pegajoso.</p> <p>B_w 120 - 150 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); argila; blocos sub-angulares, médios, fracos / maciça porosa.</p> <p>Raízes - A_p muitas, A_{3,1} muitas, A_{3,2} muitas, B_{t1} poucas/comuns, B_{t2} raras, B_w ausentes.</p>

Quadro 2A. Descrição morfológica do solo 2

Descrição geral – Solo 2	
Data	– 12/06/2002
Classificação	– Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico gleico.
Localização	– PESAGRO/Rio, área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ.
Situação e declividade	– Trincheira a 200 m da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, em relevo plano.
Formação geológica e litologia	– Quaternário. Deposição fluvial.
Material originário	– Sedimentos aluviais inconsolidados.
Relevo local	– Plano.
Relevo regional	– Plano.
Altitude	– 5 - 10 metros.
Drenagem	– Moderadamente drenado.
Pedregosidade	– ausente.
Erosão	– Não perceptível.
Vegetação local	– Mata Ciliar.
Vegetação regional	– Mata Atlântica.
Uso atual	– Cultivo com coqueiro, com 8 a 10 anos de idade.
Descrito por	– Cláudio Roberto Marciano
Descrição morfológica do perfil	
A_p	0 - 10 cm, bruno (10YR 4/3, úmido) e bruno (10YR 5/3, seco); argila; blocos sub-angulares médio a grande forte; dura, firme, plástico, pegajoso; transição clara e ondulada.
A/B_i	10 - 22 cm, bruno (10YR 5/3, úmido) e bruno claro-acinzentado (10YR 6/3, seco); franco argilo siltosa; prismática grande forte; dura, firme, plástico, pegajoso; transição clara e plana.
B_{1i}	22 - 70 cm, bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno amarelado (10YR 5/4, seco); franco siltosa; prismática grande forte; cerosidade comum e moderada; dura, firme, não plástico, não pegajoso; transição gradual e plana.
B_{2ig}	70 - 114 cm, bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido) e bruno amarelado (10YR 5/4, seco); argila siltosa; prismática grande; dura, firme, muito plástico, muito pegajoso; transição abrupta e plana. Mosqueado comum médio distinto bruno amarelado (9YR 5/7, úmido; 10YR 5/7, seco)
B_{3ig}	114 - 125 cm, bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido) e bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seco); franco argilosa; blocos sub-angulares médio a grande forte; dura, firme, muito plástico, muito pegajoso; transição gradual e plana. Mosqueado comum médio distinto bruno forte (7,5YR 4/6, úmido; 7,5YR 5/6, seco).
IIC_x	125 - 150 cm ⁺ , bruno acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmido) e bruno acinzentado (10YR 5/2, seco); franco arenoso; maciça coesa; muito friável, ligeiramente dura, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
Raízes	- A _p comuns (fasciculares), A/B _i e B _{1i} abundantes, B _{2ig} poucas, B _{3ig} a C _x raras.
Obs.	Presença de fendas desde a superfície até o horizonte B _{2ig} , porém insuficiente para caracterizar horizonte vértico.