

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**MÉTODOS DE ANÁLISE PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE
SUBSTRATOS PARA PLANTAS.**

Maria Helena Fermino
Engenheira Agrônoma (UFSC)

Tese apresentada como um dos requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Fitotecnia
Área de concentração Horticultura

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro de 2003

AGRADECIMENTOS

Ao longo dos anos de estudo percebi que não me tornava, necessariamente, uma pessoa melhor pelos títulos que ia conquistando. Mas, que aquilo que eu tinha de melhor, eu havia recebido em casa. Afinal, os títulos são como brincos, apenas emolduram um rosto. Por isto, agradeço aos meus pais, Helena e João, talvez nem sempre eu tenha expressado claramente a importância deles na minha vida; à minha irmã, Cristina, a quem muito amo e admiro e de quem eu, nem sempre, consegui me aproximar; ao meu irmão, Gean, tornou-se um homem tão perseverante - *“Hay que endurecer, pero sin perder la ternura, jamás”*; ao meu cunhado, Camilo, que sempre me inspira a pensar e agir com mais calma; a minha cunhada, Juliana, por completar uma família que busca a harmonia. À eles que me ensinaram a amar, tão intensamente, e a lutar, desesperadamente, pela vida, “dividindo-a comigo”.

À Dona Olinda, também pelas tantas horas em que segurou a minha mão, e à maravilhosa família que ela constituiu, a qual nos aconchegamos.

Ao meu amor, Sérgio. De nada valeria a vida se não fosse vivida com tanto amor.

*“E assim, quando mais tarde me procure
Quem sabe a morte, angústia de quem vive
Quem sabe a solidão, fim de quem ama*

*Eu possa me dizer do amor (que tive):
Que não seja imortal, posto que é chama
Mas que seja infinito enquanto dure.”*

Vinícios de Moraes

Às maravilhosas amigas, Marlove, Eunice e Lucianita, que já viram este filme antes e com as quais, infelizmente, tenho convivido menos do que gostaria.

À Elizete e Rosalda....

*“Devia ter amado mais
Ter chorado mais
Ter visto o sol nascer
Devia ter me arriscado mais
e até errado mais
Ter feito o que eu queria fazer
Queria ter aceitado
as pessoas como elas são
Cada um sabe a alegria
e a dor que traz no coração
Devia ter complicado menos
e trabalhado menos
Ter visto o sol se por...”*

*Devia ter me importado enos,
com problemas pequenos...
Ter morrido de amor!
Queria ter aceitado
a vida como ela é
A cada um cabe alegrias
e a tristeza que vier”
O acaso vai me proteger...
Enquanto eu andar distraído...
O acaso vai me proteger...
Enquanto eu andar...”*

Titãs

Quando publicamos nossos trabalhos fica-se com a impressão de que só os titulados fazem pesquisa. Na sombra ficam, muitas vezes, aqueles que realmente “suam a camisa”. Agradeço ao “meu exército”: Antônio, Zé e Idenir, funcionários do Laboratório, que formaram a “minha” equipe e realizaram muitas tarefas imprescindíveis para a conclusão deste trabalho. Ao Cirilo, meu companheiro de caminhada, tão cheio de idéias e motivações. Quantas maravilhosas discussões! Este trabalho também é fruto do seu trabalho. Ao César e Claudimar, que ouviram minhas muitas lamentações e me abasteceram de chimarrão.

Ao Prof. Paulo Vitor, solícito e presente na reta final.

À Atelene, minha mentora. Foram horas de conversas e sonhos, muitos realizados nos últimos dez anos.

À FEPAGRO, pela flexibilidade das tarefas e horários necessários para a conclusão deste trabalho. À Alice, Ricardo e Marta, por terem me oferecido sua amizade. À Ângela, ávida por fazer seu melhor, e através da qual revivo meus momentos de aprendiz.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

MÉTODOS DE ANÁLISE PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS¹

Autora: Maria Helena Fermino
Orientador: Paulo Vitor Dutra de Souza

RESUMO

A definição de um protocolo nacional com métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas é um fator determinante para o desenvolvimento da indústria de substratos para plantas no Brasil. Como forma de contribuir para a construção desse protocolo, o presente trabalho avaliou a influência dos níveis de umidade das amostras e comparou os resultados de métodos utilizados para obtenção da densidade e de curvas de retenção de água. A influência do teor de umidade nas amostras foi também avaliada em relação a variação da impedância mecânica mensurada através de micropenetrômetro. Foram utilizados seis materiais, três tipos de turfa e três substratos comerciais de casca de pinus e vermiculita, inicialmente caracterizados física (densidade de volume úmida e seca, densidade de partícula e curva de retenção de água) e quimicamente (pH e salinidade) segundo o protocolo do Laboratório de Biotecnologia em Horticultura, do Departamento de Horticultura e Silvicultura, da Faculdade de Agronomia / UFRGS. Verificou-se que: quanto maior a umidade inicial presente na amostra maior a densidade final do substrato; os métodos para determinação da densidade da Indústria e do Comitê Europeu de Normatização equivalem entre si e diferem significativamente do método da UFRGS; os equipamentos para obtenção da curva de retenção de água apresentam resultados divergentes, sendo que o Funil de Büchner succiona mais água do que a Mesa de Tensão e os Cilindros de Pressão; a impedância mecânica aumenta conforme aumenta a densidade e a tensão da água na amostra.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (81p.). Fevereiro, 2003.

PHYSICAL ANALYSIS METHODS FOR THE CHARACTERIZATION OF GROWING MEDIA SAMPLES¹

Author: Maria Helena Fermino
Adviser: Paulo Vitor Dutra de Souza

ABSTRACT

The definition of a standard Brazilian growing media physical analysis protocol is very important to the development of the national plant substrate industry. Looking forward this proposal, the present study evaluates the influence of different sample moisture levels and compared the results of laboratory methods to measure density and moisture release curves. The influence of moisture levels in the mechanical impedance, measured with a penetrometer, was also evaluated. Three different peat materials and three pine bark and vermiculite commercial substrates were used in the studies, all samples initially evaluated physically (bulk density, particle density, moisture release curves) and chemically (pH, salinity) using the UFRGS – Faculdade de Agronomia - Department of Horticulture and Forestry analysis protocol. The results showed that the European Normalization Committee methods and the Brazilian Industry method for bulk density give similar results, and differ from the UFRGS method; the equipments to obtain the moisture release curves showed significant different results, with the Büchner filter suctioning more water than the Tension Table and the Positive Press Cylinder; the mechanical impedance in the samples increases as the bulk density and water tension increases.

¹Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (81p.). February, 2003.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Cultivo em recipientes.....	5
2.2. Propriedades de substrato.....	6
2.2.1. Densidade de volume.....	6
2.2.2. Porosidade total.....	8
2.2.3. Espaço de aeração.....	11
2.2.4. Capacidade de recipiente.....	12
2.2.5. Disponibilidade de água.....	13
2.2.6. Razão de vazios.....	13
2.2.7. Distribuição do tamanho de partículas.....	14
2.3. Impedância mecânica.....	15
2.4. Umidade inicial no substrato.....	18
2.5. Análise de substratos.....	20
2.5.1. Métodos de análise.....	21
2.5.1.1. Determinação da densidade.....	21
2.5.1.2. Curva de retenção de água.....	22
2.6. Situação brasileira do insumo substrato para plantas.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1. Parte I. Caracterização dos materiais.....	27
3.1.1. Descrição dos materiais.....	27
3.1.2. Local das análises.....	27
3.1.3. Métodos para a caracterização física.....	28
3.1.3.1. Densidade de volume.....	28
3.1.3.2. Densidade de partícula.....	28
3.1.3.3. Porosidade total, espaço de aeração disponibilidade de água.....	29
3.1.3.4. Granulometria.....	31
3.1.4. Métodos para a caracterização química.....	32
3.1.4.1. Valor de pH.....	32
3.1.4.2. Teor total de sais solúveis.....	32
3.2. Parte II. Determinação da densidade.....	33
3.2.1. Estudo 1 – Avaliação de níveis de umidade na amostra na determinação da densidade seca e úmida	33
3.2.2. Estudo 2 – Comparação de métodos para determinação da densidade.....	34

3.2.2.1.	CEN	35
3.2.2.2.	INDÚSTRIA.....	35
3.2.2.3.	UFRGS.....	36
3.3.	Parte III. Determinação da curva de retenção de água.....	37
3.3.1.	Estudo 3 – Obtenção da curva de retenção de água em diferentes equipamentos.....	37
3.3.1.1.	Mesa de tensão.....	37
3.3.1.2.	Funil de Tensão (Büchner)	39
3.3.1.3.	Cilindros de pressão.....	
3.4.	Parte IV – Determinação da impedância mecânica.....	41
3.4.1.	Estudo 4 – Análise da impedância mecânica de substratos submetidos a diferentes tensões de umidade	41
3.4.2.	Estudo 5 – Análise da impedância mecânica no Estudo 2.....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1.	Parte I – Caracterização dos materiais e substratos.....	43
4.1.1.	Caracterização física dos materiais e substratos.....	43
4.1.1.1.	Densidade.....	43
4.1.1.2.	Curva de Retenção de Água.....	46
4.1.1.3.	Distribuição do tamanho de partículas....	48
4.1.2.	Caracterização química.....	50
4.2.	Parte II – Determinação da densidade dos materiais e substratos.....	52
4.2.1.	Estudo 1 – Efeito de níveis de umidade inicial na amostra na determinação da densidade seca e úmida.....	52
4.2.2.	Estudo 2 – Comparação dos métodos para determinação da densidade da Turfa Marrom.....	56
4.3.	Parte III – Determinação da curva de retenção de água dos materiais e substratos.....	59
4.3.1.	Estudo 3 – Obtenção da curva de retenção de água em diferentes equipamentos.....	59
4.3.1.1.	Razão de vazios.....	59
4.3.1.2.	Espaço de aeração.....	60
4.3.1.3.	Água disponível.....	61
4.3.1.4.	Água remanescente a 100 hPa.....	63
4.4.	Parte IV – Determinação da impedância mecânica.....	65
4.4.1.	Estudo 4 – Análise da impedância mecânica de materiais e substratos submetidos a diferentes tensões de umidade.....	65
4.4.2.	Estudo 5 – Análise da impedância mecânica no Estudo 2.....	66
5.	CONCLUSÕES.....	69
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
8.	APÊNDICES.....	79

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Diâmetro de malhas de peneira utilizadas por diversos autores para determinar a granulometria de substratos.....	15
2. Características físicas das Turfas <i>in natura</i> Preta (TP), Marrom (TM) e Vermelha (TV), e dos substratos comerciais C1, C2 e C3 (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.	44
3. Características químicas das Turfas <i>in natura</i> Preta (TP), Marrom (TM) e Vermelha (TV), e dos substratos comerciais C1, C2 e C3 (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	51
4. Efeito da interação tripla entre níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), sobre a razão de vazios (RV) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	60
5. Efeito da interação tripla entre níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), sobre o espaço de aeração ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	61
6. Efeito das interações duplas entre equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) e métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") sobre a água disponível ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média	

de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	62
7. Efeito das interações duplas entre equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) e métodos de determinação da densidade (utilizado na UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") sobre a água remanescente a 100 hPa ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	64

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Cilindros de Policloreto de Vinila – PVC – utilizados para determinação da densidade: a) "cap" + cilindro com volume interno de 750 ml; b) "luva" para conexão entre os cilindros; c) cilindros com volume interno de 750 ml para sobrepor ao primeiro; d) conjunto pronto para efetuar a determinação da densidade. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	35
2. Cilindros de Policloreto de Vinila - PVC - com volume interno de 750 ml, forrados com tecido de nylon preso por um atilho de borracha, utilizados para obtenção da curva de retenção de água na Mesa e no Funil de Tensão. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	38
3. Mesa de Tensão utilizada para obtenção da curva de retenção de água: a) vista da mesa, sem a tampa, ajustada para sucção a 10 hPa; b) vista superior da mesa com capacidade para dezoito cilindros de PVC de 750 ml cada. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	38
4. Conjunto de Funis de Tensão (com capacidade individual para três cilindros de PVC com 750 ml cada) utilizado para obtenção da curva de retenção de água, ajustado para sucção a 10 hPa. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	38
5. Cilindros de Policloreto de Vinila - PCV - com volume interno de 750 ml, utilizados para obtenção da curva de retenção no equipamento "Cilindros de Pressão": a) vista externa, com mangueiras de silicone para drenagem; b) vista interna, com furos para drenagem; c) discos de papel "kraft" e "filtro" para sobrepor no fundo dos cilindros. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	40
6. Equipamento experimental "Cilindros de Pressão", utilizado para obtenção da curva de retenção de água: a) vista geral do equipamento, com bombas e sistema de vasos comunicantes; b) vista superior dos cilindros de PVC, parcialmente fechados com "tampa de inspeção" e mangueiras para entrada do ar sob pressão;	

c) vista frontal do conjunto com todos os cilindros de PVC fechados, potes coletores de água drenada e sistema de abertura e fechamento da pressão. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	40
7. Micropenetrômetro Chatillon Greensboro, NC/USA, com sonda metálica de 6,5 mm de diâmetro e ápice cônico com semiângulo de 30°, utilizado para efetuar as medições da impedância mecânica. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	42
8. Leitura da impedância mecânica, da Turfa Marrom <i>in natura</i> , no cilindro de Policloreto de Vinila - PVC: a) sonda metálica acima da superfície, quando do início do processo; b) vista superior da superfície após efetuadas as cinco leituras. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	42
9. Distribuição do tamanho de partículas dos materiais <i>in natura</i> Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	48
10. Efeito da umidade volumétrica inicial (50, 60, 70, 80, 90 e 100% da Capacidade de Recipiente) nas amostras sobre a Densidade Úmida, obtida pelo método "UFRGS", da Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), <i>in natura</i> , Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	53
11. Efeito da umidade volumétrica inicial (50, 60, 70, 80, 90 e 100% da Capacidade de Recipiente) nas amostras sobre a Densidade Seca, obtida pelo método "UFRGS", da Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), <i>in natura</i> , Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	54
12. Influência dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e da umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) na amostra, e sobre a Densidade Úmida (DU) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	57
13. Influência dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela "IND") e da umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), na amostra, e sobre a Densidade Seca (DS) da Turfa Marrom <i>in natura</i> (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.....	58
14. Impedância mecânica (kPa) dos materiais <i>in natura</i> Turfa Preta (TP); Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos	

- comerciais Comercial 1 (C1); Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3), submetidos a tensões de 10, 30, 50, 80 e 100 cm de coluna d'água (10, 30, 50, 80 e 100 hPa) (média de cinco amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003..... 66
15. Influência da umidade inicial da amostra (62, 69 e 72% volume) e dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND"), sobre a impedância mecânica da turfa marrom *in natura* (kPa) (média de cinco amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003..... 67

1. INTRODUÇÃO

Os investimentos financeiros e técnicos na horticultura brasileira passaram a alavancar produções em grande escala, resultado da percepção do grande mercado consumidor que o país apresenta, além daquele representado pelos países vizinhos e de outros continentes.

A produção hortícola se apresenta como uma alternativa rentável para pequenas e médias propriedades. Algumas atividades, como a floricultura, têm tornado possível manter famílias inteiras trabalhando em pequenas áreas, com ganhos satisfatórios. Isto tem se verificado em todo o país. No Rio Grande do Sul, este incremento na atividade pode ser comprovado com os trabalhos de Kämpf & Daudt (1999).

O aumento da atividade hortícola acompanha outros acontecimentos, são eles:

* O uso do plástico, seja na forma de estufas, túneis altos ou baixos. Os cultivos passaram a ser mais intensos, com mais colheitas ao longo do ano. Para regiões como o Sul do Brasil, onde o clima apresenta quatro estações bem definidas, isto propicia aos produtores locais a possibilidade de manter a produção estável, atendendo ao mercado durante todo o ano.

* Recipientes para cultivo. O mercado oferece hoje, recipientes dos mais variados materiais, tamanhos e formas. Em recipientes, podem ser

cultivadas, desde estacas e sementes, até imensas palmeiras de vários metros de altura, para uso em paisagismo.

* Produção automatizada. Grandes áreas cultivadas com a mesma espécie, na mesma fase de desenvolvimento, tornam possível manejar, por automação, vários fatores de produção: irrigação, fertilização, luz, umidade relativa e temperatura do ar.

* Substituição do uso de solo em recipientes. O solo é um dos principais veículos de patógenos para as plantas. A proibição do uso do Brometo de Metila, principal substância usada para desinfestação, tem implicado na busca de outras formas de desinfestação ou de outros materiais substitutos para o solo.

* Oferta de substratos. A oferta de substratos no mercado nacional tem crescido, seja pelo comércio de produtos nacionais, seja de importados. O Brasil tem hoje aproximadamente trinta fábricas de substratos, sendo que nove (Müller, 2000) fazem parte de grandes grupos econômicos, que encontraram neste mercado uma alternativa para reaproveitamento dos resíduos de outras atividades industriais. Empresas de origem européia e/ou norte-americana começam a introduzir seus produtos em grandes feiras nacionais do setor (Fermino, 1999). Atualmente, a demanda em substratos tem atingido grandes volumes, a saber: o setor florestal gaúcho tem um consumo aproximado de 17 mil m³ (Calgaro, 2000) e a indústria fumageira estima uma demanda de 70 mil m³ (Silva, 2000).

O aumento da oferta de substratos é resultante da percepção da importância deste insumo na produção. A escolha certa de um substrato determina o melhor aproveitamento de outros fatores, como água e adubos, determinando uma melhor qualidade do produto final.

Por outro lado, a produção em recipientes requer controle preciso da água e fertilizantes para ser lucrativa. Assim, na hora de selecionar ingredientes

para compor um substrato, torna-se por demais importante a escolha de materiais com adequadas características físicas para um dado recipiente e um determinado manejo, e para aquela espécie em questão.

Todas as análises realizadas em laboratório são ferramentas auxiliares para a escolha do substrato mais adequado para a cultura de interesse, seu estágio de desenvolvimento e manejo. No entanto, embora, atualmente, trabalhe-se com modelos matemáticos buscando a previsão do comportamento de substratos, as análises laboratoriais ainda são imprescindíveis para se conhecer as características de um substrato.

Assim, buscando contribuir para a definição de um protocolo nacional, o presente trabalho tem como objetivo estudar métodos de análise para a caracterização física de substratos para plantas, mais adequados à realidade brasileira, que sejam rápidos, representativos, reprodutíveis e de baixo custo.

As hipóteses deste trabalho são:

1. O nível de umidade na amostra interfere na quantidade de sólidos empacotados.
2. O método de determinação da densidade interfere na quantidade de sólidos empacotados.
3. O equipamento de determinação da curva de retenção de água não interfere no resultado para o substrato com o mesmo nível de umidade inicial e a mesma densidade.
4. A impedância mecânica varia com a densidade e a tensão de umidade na amostra.

Os objetivos a serem atingidos neste trabalho são:

1. Caracterizar química e fisicamente três turfas *in natura* da empresa Florestal®, e três substratos comerciais da empresa Mec Prec®.

2. Avaliar os níveis de umidade na amostra na determinação da densidade seca e úmida.
3. Comparar os métodos para determinação da densidade.
4. Determinar a curva de retenção de água em diferentes equipamentos.
5. Avaliar a impedância mecânica dos substratos, em função da densidade de empacotamento e nível de umidade na amostra.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo em recipientes

O termo substrato se refere ao suporte físico para o crescimento de raízes de plantas cultivadas em recipientes, em substituição ao solo *in situ*. Portanto, faz-se necessário distinguir conceitualmente solo e substrato.

O solo apresenta gênese, perfil e densidade peculiares com processos de formação envolvendo milênios, estando intimamente relacionado com a paisagem e as condições ambientais circundantes (Kämpf, 2000). É fato a ser considerado, também, que as plantas quando cultivadas no solo *in situ* têm a sua disposição volumes de solo de dimensões praticamente ilimitadas para explorar.

No cultivo em recipientes, independente do substrato utilizado, observa-se uma limitação de espaço para a expansão das raízes. A limitação do volume exige que o substrato seja capaz de manter um volume de água facilmente disponível às plantas sem, no entanto, comprometer a concentração de oxigênio no meio (Bunt, 1961).

A produção em recipientes requer controle preciso da água e fertilizantes para ser lucrativa. Assim, na hora de selecionar ingredientes para compor um substrato, torna-se importante a escolha de materiais com adequadas características físicas para um dado recipiente e um determinado manejo e, para aquela espécie em questão.

Um substrato, geralmente, é o resultado da mistura de dois ou mais materiais formulados e manipulados para atingir propriedades físicas e químicas desejáveis. Não havendo um substrato ótimo para todas as plantas cultivadas em recipientes, as proporções de mistura são as mais diversas (Fonteno et al., 1981).

No entanto, o resultado da mistura não é a soma de seus componentes. Fonteno (1996) afirma que o mais importante na análise de um substrato não é saber do que ele é composto e sim que características este meio apresenta, embora seja necessário conhecer as propriedades dos componentes (Miner, 1994).

2.2. Propriedades de substrato

2.2.1. Densidade de volume

A *densidade de volume* ("bulk density"), também chamada densidade volumétrica, expressa a relação entre a massa e o volume de uma amostra de substrato. De maneira geral, considera-se como referência para substrato valores de densidade seca entre 400 e 500 kg m⁻³ (Bunt, 1973).

O substrato que é indicado para recipientes de 15 cm de altura não necessariamente apresenta uma boa performance em recipientes menores do que 5 cm (Milks et al., 1989c). Assim, quanto menor o recipiente menor deve ser a densidade do substrato nele utilizado. Kämpf (2000), recomenda utilizar substratos com densidade de 100 a 300 kg m⁻³ para bandejas multicelulares, de 250 a 400 kg m⁻³ para vasos de até 15 cm de altura, de 300 a 500 kg m⁻³ para vasos de 20 a 30 cm, e, de 500 a 800 kg m⁻³ para vasos maiores de 30 cm. Martínez (2002) sugere valores de densidade de substrato entre 500 e 750 kg m⁻³ para recipientes colocados ao ar livre e, menores de 150 kg m⁻³ para cultivos em estufa.

O valor da densidade é importante para a interpretação de outras características, como porosidade, espaço de aeração e disponibilidade de água, além da salinidade e teor de nutrientes.

Milks et al. (1989b) acrescentam que a mudança nas variáveis que caracterizam o estado hídrico do substrato (porosidade total, espaço de aeração, água disponível e indisponível e capacidade de recipiente) é correlacionada com práticas culturais, pela mudança de determinadas variáveis de “intensidade” como a densidade de volume e distribuição do tamanho de partículas. Segundo Fonteno (1993) a modificação da densidade de volume tem efeito leve sobre a porosidade total, moderado sobre a capacidade de recipiente e um grande efeito sobre a água facilmente disponível.

A densidade de um substrato, dentro do recipiente, depende da pressão aplicada no momento do preenchimento, ou quando do plantio, do peso das partículas do substrato ao caírem uma sobre as outras, da umidade presente nas partículas ou efeito da irrigação. Segundo Kämpf et al. (1999b) estes fatores podem resultar em diferentes *densidades de empacotamento* (“packing density”), definida por Burés et al. (1995) como uma modificação na relação massa do substrato/volume efetivamente observado no recipiente em um dado momento.

Assim, uma amostra de substrato pode ocupar maior ou menor volume segundo seu grau de compactação (Martínez, 2002). O resultado pode variar desde totalmente solto até um máximo de adensamento, de maneira que os valores de densidade da amostra e das demais características, encontram-se em pontos diferentes entre estes dois extremos da densidade.

Outra forma de apresentar a densidade de um substrato considera a *densidade de partícula* (“particle density”), definida por Rowel (1994) como a medida de um volume de uma massa conhecida de partículas. Para o cálculo, as

partículas de uma amostra de solo ou substrato, secas a 105°C, são separadas em água e todo o ar é expelido da suspensão por ação do calor. Considera-se que partículas minerais apresentam densidade de partícula de 2,65 g cm⁻³ e de matéria orgânica, 1,45 g cm⁻³.

2.2.2. Porosidade total

A *porosidade total* é definida como a diferença entre o volume total e o volume de sólidos de uma amostra. É uma característica que tende a sofrer modificações ao longo do cultivo pela acomodação das partículas. O valor de 85% (0,85 m³ m⁻³) para a porosidade total (De Boodt & Verdonck, 1972) tornou-se referência internacional.

Fonteno (1989) define porosidade total como o volume do meio não ocupado pela fração sólida e que pode ser quantificado pela medida da quantidade de água retida na saturação (0 hPa).

O ambiente físico ao redor das raízes em recipientes (volume relativo de ar, água e sólidos) está baseado na relação entre o estado energético da água e conteúdo de água do meio. Esta relação é um reflexo da distribuição do tamanho de poros do meio (Milks et al., 1989a; Fonteno, 1989).

Handreck & Black (1999) afirmam que o espaço poroso total é importante, mas a forma e o tamanho dos poros são ainda mais importantes. Mais importante do que o volume de poros totais é a relação entre o volume de água e de ar presente no substrato. Esta relação é determinada pelo tamanho dos poros e pela forma como estes se interligam. Martínez (2002) e Handreck & Black (1999) classificam de microporos ou poros capilares aqueles de diâmetro inferior a 30 µm e que permanecem com água, e de macroporos, aqueles de diâmetro superior a 30 µm, ocupados por ar, na capacidade de recipiente.

Hillel (apud Drzal et al., 1999) define macroporos como poros responsáveis pela infiltração e drenagem da água e pela aeração do meio e microporos como espaços responsáveis pela retenção de água.

No entanto, Drzal et al. (1999) sugerem uma outra classificação onde:

- *macroporos* são definidos como aqueles poros maiores do que 416 μm e que não retêm água após saturação e livre drenagem (sucção entre 0 e 0,715 kPa); equivalem ao volume ocupado por ar;
- *mesoporos* encontram-se entre 10 e 416 μm de diâmetro (sucção entre 0,715 e 30 kPa); equivalem ao conteúdo de água disponível;
- *microporos* entre 0,2 e 10 μm e equivalem ao volume de água retido entre 30 kPa e 1,5 MPa, ou água tamponante;
- *ultramicroporos* apresentam diâmetro menor do que 0,2 μm e retêm água a sucções acima de 1,5 MPa; equivalem ao volume de água indisponível às plantas.

Segundo Martínez (2002) e Burés (1997), a maioria dos materiais utilizados apresentam poros internos além daqueles externos, formados entre as partículas. Os poros internos podem estar fechados, sem contato com o meio externo, como geralmente ocorre nos materiais sintéticos como o isopor e, então, não interferirem na porosidade ou, estarem abertos, como nos materiais orgânicos como as turfas, formando uma rede de canais com o meio externo.

Os poros internos, geralmente de tamanho reduzido, são capazes de reter água a tensões mais elevadas que a tensão na amostra saturada, determinada pela altura do recipiente. Assim, um substrato com partículas grandes e com poros internos abertos assegura, por um lado, água disponível a tensões muito baixas e altos níveis de aeração (Burés, 1997).

Como as partículas dos meios de cultivo não são esféricas nem apresentam um tamanho único, a porosidade tende a aumentar à medida que se aumenta o tamanho médio da partícula. Por outro lado, a combinação de partículas de tamanhos diferentes pode levar a uma redução da porosidade em comparação com os valores apresentados pelo conjunto formado só com as partículas de mesmo tamanho. Isto se explica pelo efeito cimentante, quando as partículas menores se alojam entre os espaços livres formados pelo arranjo das partículas maiores.

Segundo Miner (1994), para substratos com partículas de dimensões compreendidas entre 1 e 10 mm, tanto a porosidade como a quantidade de água retida variam pouco com o tamanho da partícula. Partículas de tamanho menor de 1 mm causam um brusco decréscimo da porosidade e aumento da retenção de água. Handreck & Black (1999), demonstram que o aumento da proporção de partículas com tamanho entre 0,1 e 0,25 mm e menores, em substratos à base de cascas de *Pinus*, diminui a mobilização da água, aumentando o volume de água retida pelo substrato e reduzindo a disponibilidade de ar.

No entanto, para Burés (1997), a observação não é válida como regra geral para todos os substratos porque outras características das partículas, como rugosidade e estrutura interna, definem o comportamento físico do substrato. Assim, as múltiplas combinações possíveis de partículas distintas e sua disposição explicam a complexidade da caracterização física, e o tamanho das partículas é só um fator a mais.

Ainda, segundo Burés (1997), a porosidade também pode diminuir quando se aumenta a compactação de um dado material. Quando se pressiona uma amostra de turfa ou se coloca um peso sobre ela, observa-se um aumento da densidade e uma diminuição da porosidade. Outros materiais apresentam

elasticidade e voltam à sua forma original, quando cessada a força de compressão. Outros, ainda, apresentam deformações permanentes, como a vermiculita, ou se desagregam, como a perlita.

A compactação pode levar a uma diminuição da porosidade total e da capacidade de recipiente, mas observa-se um impacto muito maior na proporção entre macro e microporos. Na medida em que as partículas ficam muito mais próximas uma das outras, aumenta a proporção de microporos, diminuindo o espaço de aeração e aumentando a retenção de água.

2.2.3. Espaço de aeração

De Boodt & Verdonck (1972) definem *espaço de aeração* como o volume de ar presente no substrato drenado após sua saturação em condições equivalentes à sucção de uma coluna de água de 10 cm de altura (10 hPa), em laboratório. Os autores propuseram esta tensão quando trabalhavam com recipientes de 20 cm de altura e, embora os recipientes atualmente apresentem as alturas mais diversas, este conceito tornou-se internacionalmente aceito.

Caron & Nkongolo (1997) citam, ainda, que o espaço de aeração pode ser mensurado em vasos ou cilindros a potenciais de 10 ou 6 cm (10 ou 4 hPa) de coluna de água, dependendo do método usado, e que estes valores correspondem ao volume de ar, após saturação e livre drenagem, em vasos de 20 e 12 cm de altura, respectivamente.

Os valores referenciais sugeridos em literatura situam-se entre 20 e 40% (0,20 e 0,40 m³ m⁻³) do volume (De Boodt & Verdonck, 1972; Penningsfeld, 1983). A escolha de um substrato com um determinado valor de espaço de aeração deve ser feita considerando-se a espécie cultivada, a frequência e o tipo de irrigação, e as características do ambiente de cultivo, se natural ou protegido (Bunt, 1984).

Substratos com altos valores de espaço de aeração são recomendados para uso em recipientes pequenos como bandejas multicelulares, de maneira a aumentar a drenagem limitada pela pequena altura do recipiente (Puchalski & Kämpf, 2000).

2.2.4. Capacidade de recipiente

A *capacidade de recipiente* (“container capacity”), termo introduzido por White & Mastalerz (1966), se refere ao volume de água retido no substrato após saturação e livre drenagem, sem sofrer evaporação. Ou, ainda, segundo Martinez et al. (1991), a capacidade de recipiente é a máxima capacidade de retenção de água de um substrato em um determinado recipiente, sob as mesmas condições de saturação e drenagem.

Capacidade de recipiente é o termo similar à “capacidade de campo” para solo, embora, a capacidade de recipiente seja sempre maior do que a capacidade de campo para o mesmo material (Spomer, 1975 e Handreck & Black, 1999). Isto se explica porque a capacidade de recipiente é uma função da altura e forma do recipiente e do substrato (Klute apud Fonteno, 1989).

Em laboratório é o valor complementar à determinação do espaço de aeração, mensurado em condições equivalentes à sucção de uma coluna de água de 10 cm de altura (10 hPa). Ou, ainda, para Caron & Nkongolo (1997) em potenciais de 6 ou 10 cm de coluna (10 ou 6 hPa) e Baumgarten (2002) de 4 a 10 cm de coluna (4 a 10 hPa), se para vasos ou plugs (ou dependendo do método).

Para Spomer (1974) a pouca profundidade dos recipientes resulta em água demais, e logo pouco ar, enquanto o pequeno volume dos recipientes limita a quantidade de água disponível para o crescimento das plantas.

2.2.5. Disponibilidade de água

A *disponibilidade de água* de um substrato fornece informações sobre a habilidade para reter e liberar água e o volume de água disponível às plantas sob baixas tensões (Bunt, 1961).

A curva de disponibilidade ou de retenção de água de um meio é resultado da relação entre a umidade volumétrica e a tensão de umidade de meio (Childs apud Milks et al., 1989a).

Segundo De Boodt & Verdonck (1972) e Haynes & Goh (1978) *água facilmente disponível* é aquele volume de água liberado, em condições de laboratório, entre 10 e 50 cm de tensão (10 e 50 hPa). Aceita-se como valores ótimos entre 20 e 30% (0,20 e 0,30 m³ m⁻³).

Para os mesmos autores *água tamponante* é o volume de água liberado entre 50 e 100 cm de tensão (50 e 100 hPa). Estima-se que 4 a 10% (0,4 a 0,10 m³ m⁻³) seja um valor de referência. O volume liberado acima desta tensão é considerado *água dificilmente disponível, remanescente* ou *residual*.

A curva de retenção de água para substratos é análoga ao nível de umidade normalmente mantido em cultivos em recipientes, sob estufa, situando-se entre 10 e 100 cm de tensão (10 e 100 hPa) (Puustjarvi & Robertson apud Fonteno et al., 1981).

2.2.6. Razão de vazios

É um parâmetro utilizado na ciência do solo. Segundo Rowel (1994), em solos que sofrem uma mudança de volume por compactação, umedecimento ou secagem, a porosidade é alterada devido a mudanças tanto no espaço poroso quanto no volume do solo. Assim, há vantagens no uso de uma medida na qual a porosidade é relacionada ao volume ou massa da partícula que não sofre mudanças. Sugere-se, para o estudo de substratos, como a "razão entre o volume

de poros e o volume de sólidos de uma amostra", tornando-o útil na comparação entre diferentes substratos e no acompanhamento de possíveis compactações para o mesmo substrato.

2.2.7. Distribuição do tamanho de partículas

Segundo Curi et al. (1993) a distribuição do tamanho de partículas ou granulometria define a quantidade das várias frações do solo em uma amostra, geralmente, expressa em percentagens de peso.

Para Burés (1997) os substratos são constituídos por partículas com as mais diversas características, que se organizam de forma aleatória. A complexidade percebida no comportamento do substrato pode ser entendida pelas múltiplas combinações possíveis das diferentes partículas e suas distintas formas de organização.

Waller & Wilson (1984) demonstraram que o valor da análise da distribuição do tamanho de partículas encontra-se, primeiramente, no seu uso para descrever, em termos gerais, a qualidade física do produto e sua adequação para o cultivo de determinada espécie vegetal, tendo influência determinante sobre o volume de água e de ar do substrato.

O conhecimento da distribuição das frações granulométricas de um determinado substrato permite sua manipulação e, conseqüentemente, sua melhor adaptação a diversas situações de cultivo, porque possibilita diferentes proporções entre macro e microporosidade e, conseqüentemente, diferentes relações entre ar e água (Burés, 1997; Hillel apud Milks et al., 1989c).

Conforme Handreck (1983) altas proporções de partículas "grossas" tornam o meio "aberto" com alto espaço de aeração, enquanto partículas "finas" fecham os poros, aumentando a capacidade de retenção de água e diminuindo o espaço de aeração. Na literatura predominam formulações para substratos

baseadas nas proporções entre os componentes (p.ex. casca:turfa:areia, 2:1:1), que omitem a distribuição do tamanho de partículas. Ou, segundo Burés (1997), quando realizada, a distribuição do tamanho de partículas é apresentada sob diversos diâmetros de malha (Tabela 1).

Apesar da literatura trazer maior número de artigos referentes à disponibilidade de água e ar, as trocas gasosas necessárias entre o substrato e o meio externo, e a manutenção da temperatura no interior do substrato, são características impactadas pela porosidade e conseqüentemente pelo tamanho das partículas que compõem o substrato.

Tabela 1. Diâmetro de malhas de peneira utilizadas por diversos autores para determinar a granulometria de substratos.

Autor	Malha da peneira (mm)
Heiskanen (1995)	20; 10; 5; 1; 0,06
Gauland (1997)	4,75; 2,00; 1,4; 0,71; 0,42; 0,25 e 0,106.
Burés (1997) – ASTM*	4,7; 2,38; 2,00; 1,00; 0,84; 0,60; 0,42; 0,297; 0,149; 0,074
Burés (1997) e Martínez (2002)	16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125
Handreck & Black (1999)	5,0; 0,5; 0,25; 0,1; 0,05
Aendekerk et al. (2000)	64; 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 ; 0,125; 0,064
Oliveira (2000)	2,0; 1,4; 0,7; 0,5; 0,1
Gruszynski (2002)	30; 16; 9,5; 4,75

*ASTM - Sociedade Americana para Testes de Materiais

2.3. Impedância mecânica

Conforme Bengough & Mullins (1990) a impedância mecânica é uma das causas de variação do crescimento das raízes no solo ou substrato. O termo impedância mecânica corresponde à resistência do solo ou substrato à penetração da raiz.

Quando poros contínuos, maiores do que as pontas das raízes, estão presentes nos solos, as raízes crescem através destes poros como um resultado

da baixa impedância mecânica (Bennie, 1991). Se poros contínuos de diâmetro suficientemente grande já não existem, a extremidade da raiz deve exercer uma força para deformar o solo (Bengough & Mullins, 1990). Para a raiz alongar-se, a resistência da matriz do solo contra a penetração da ponta da raiz deve ser menor do que a pressão exercida pela própria raiz (Gill Bolt apud Bennie, 1991).

A impedância mecânica diminui consideravelmente a taxa de alongação radicular, aumenta o diâmetro da raiz e muda o modelo de iniciação lateral de raízes (Russel apud Bengough & Mullins, 1990). Bennie (1991) afirma que é basicamente aceito por todos os pesquisadores que a taxa de alongação ou comprimento da raiz é inversamente proporcional e o diâmetro médio da raiz diretamente proporcional à impedância mecânica.

Bennie (1991) afirma que mudanças na morfologia da raiz são normalmente tão evidentes para a mesma espécie vegetal e mesmas condições de cultivo, que elas podem ser usadas para identificar a presença de alta pressão. Raízes impedidas mecanicamente são mais curtas, mais grossas e com formas mais irregulares do que raízes fibrosas, mais finas e que se desenvolvem sob condições de baixa pressão. Com freqüência observa-se a presença de raízes laterais curtas e atrofiadas ou sua ausência total.

Bengough & Mullins (1990) justificam a existência de poucos estudos envolvendo a medição da força da raiz, devido a dificuldades experimentais, e Whiteley et al. (1981) ainda acrescentam que parte destes trabalhos têm sido inconclusivos.

Os resultados de experimentos envolvendo comparações diretas da resistência ao penetrômetro e à raiz indicam que os penetrômetros experimentam 2 a 8 vezes maior resistência do que raízes de plantas penetrando no solo (Bengough & Mullins, 1990). Conforme estes autores, raízes são órgãos flexíveis

que seguem caminhos tortuosos através do solo, aparentemente procurando pelo caminho de menor resistência. Elas extraem água do solo, excretam mucilagem ao redor das extremidades e dilatam quando impedidas fisicamente. Ao contrário, os penetrômetros são sondas de metal rígido confinadas a um caminho linear através do solo.

Penetrômetros variam de cerca de 0,1 mm em diâmetro até mais que 10 mm. Jamieson et al. apud Bengough & Mullins (1990) referem-se a obtenção de boas correlações entre densidade de enraizamento e penetrabilidade usando um penetrômetro maior (diâmetro de 13 mm) no solo.

A pressão da raiz ou do penetrômetro necessária para criar um caminho é principalmente função das forças de ligação interpartículas e do atrito entre as partículas em movimento. As forças de ligação interpartículas consistem da adesão água-solo e coesão água-água e da cimentação interpartícula. As forças de adesão e coesão são dependentes do conteúdo de água, área de contato e distância entre partículas individuais do solo, que são uma função da textura, porosidade total e densidade de volume, distribuição do tamanho de poros e conteúdo de matéria orgânica. A cimentação interpartículas é uma função do tipo e quantidade dos agentes cimentantes presentes. A fricção entre partículas depende do conteúdo de água, grau de compactação ou compressibilidade, orientação e rugosidade da superfície da partícula do solo e da massa de sobrepeso do próprio solo (Bennie, 1991).

Segundo Dexter (1987), quando a raiz cresce no solo, ela deforma o solo, principalmente, radialmente, por expansão cilíndrica. O volume ocupado pelas raízes é acomodado pela diminuição de um volume igual de espaço poroso do solo ao redor.

Grant et al. (1985) argumentam que a amplitude de valores de resistência à penetração e a magnitude do valor de resistência são importantes para indicar zonas de menor impedância mecânica e conseqüentemente preferenciais ao crescimento de raízes no solo.

As diferenças entre penetrômetros e raízes têm causado discussão sobre a utilidade dos penetrômetros (Russel apud Bengough & Mullins, 1990), mas apesar de suas limitações, eles permanecem o melhor método disponível para estimar a resistência para o crescimento da raiz no solo (Hartge et al., 1985; Bengough & Mullins, 1990) ou substrato.

Impedância mecânica tem sido estudada em relação à produção agrícola em solos compactados, entretanto há deficiência de dados sobre a capacidade de penetração das raízes em substratos dentro de recipientes (Kämpf et al., 1999b).

2.4. Umidade inicial no substrato

O teor de *umidade inicial* do substrato tem influência na acomodação das partículas e, conseqüentemente, no volume de substrato dentro dos recipientes. Isto é particularmente observado em materiais com altos teores de matéria orgânica, como aqueles a base de turfa e cascas de *Pinus* (Wever & Eymar, 1999) e com intenso uso na horticultura (Michel & Rivière, 1999).

Para Valat et al. (apud Michel & Rivière, 1999) substratos com caráter hidrofóbico podem, depois de secos, requererem um longo tempo de reumedecimento, comprometendo o seu caráter físico. Ciclos de secagem e umedecimento podem modificar as curvas de retenção/liberação de água, levando à mudanças na estereometria dos poros (Burés, 1997). Para evitar estes problemas, Fonteno & Bilderback (1993) salientam que, nestes materiais, é comum a adição de polímeros hidrofílicos (hidrogéis), que proporcionam

significativas modificações na capacidade de retenção de água, aeração e densidade de volume, além de manterem a sua integridade estrutural.

O nível de umidade inicial do substrato também tem impacto sobre a impedância mecânica. Kämpf et al. (1999a) analisando a influência do nível de umidade sobre a densidade de empacotamento de diferentes substratos, verificaram haver maior impedância mecânica nos substratos levemente compactados e com os mais baixos níveis de umidade e, naqueles altamente compactados e com menor conteúdo de umidade. A areia, no entanto, apresentou alta impedância mecânica em todos os níveis de compactação e de umidade.

Para Fonteno (1993), as medições de porosidade são afetadas pela densidade de volume e pelo conteúdo de umidade. Assim, medidas de porosidade podem ser obtidas apenas quando o conteúdo de umidade e a densidade são controlados.

Para determinação das propriedades físicas de substratos a Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha, VDLUFA (Röber & Schaller, 1985) recomenda a utilização de amostras com 50% (0,50 m³ m⁻³) de umidade ou corrigi-las, no momento da recepção, sem descaracterizá-las.

Para secagem de substratos e conseqüentemente cálculo da densidade seca e demais características de porosidade e retenção de água recomenda-se utilizar temperatura de 105°C. Porém, segundo Burés (1997), pode haver na matéria orgânica líquidos voláteis distintos da água, e podem ocorrer oxidações ou decomposições que modifiquem a medida. Verifica-se também eventuais perdas por queima de material orgânico. Assim, muitos laboratórios secam substratos orgânicos a temperaturas entre 50 e 60°C (Burés, 1997).

2.5. Análise de substratos

O substrato é um insumo geralmente resultante da misturas de vários materiais. Existem referências em literatura ao uso de diversos materiais componentes como esterco, cascas de árvores, fibras naturais, lixo urbano, solo, poliuretanos, entre outros.

Atualmente, a indústria brasileira utiliza para compor seus substratos, principalmente, turfa, vermiculita, casca de *Pinus*, casca de arroz carbonizada e perlita (Müller, 2000). Na busca de componentes com a melhor qualidade, a indústria nacional os adquire de diversas partes do país ou de outros países.

Para Fonteno (1993) e Baumgarten (2002), quando da compra da matéria-prima, caracterização de um substrato para comercialização, ou, ainda, quando da avaliação durante o cultivo, é comum existir dificuldade na interpretação dos laudos emitidos pelos laboratórios, nacionais e internacionais.

As divergências entre laudos se verifica, porque embora os laboratórios concordem, de uma maneira geral, com as propriedades a serem consideradas para caracterização de substratos, utilizam métodos diferentes ou variações de um mesmo método para análises físicas e químicas (Günther, 1984; Waller & Wilson, 1984; Miner, 1994).

Por ser o substrato um insumo que atrai grande interesse de pesquisadores no mundo inteiro, há décadas desenvolvem-se pesquisas de novos materiais paralelamente ao estudo de métodos de análises físicas e químicas. Centros de pesquisa na Alemanha, Austrália, Bélgica, Espanha, Holanda e EUA têm apresentado resultados expressivos nesta área.

Além da caracterização de uma grande variedade de materiais disponíveis para uso como componente de substratos, os pesquisadores buscam relacionar as diferenças e as semelhanças entre os diferentes métodos.

Conseqüência disto, na década de 90, principalmente na Europa, observa-se uma tendência à unificação também na legislação de substratos.

O Comitê Técnico 223 (CEN TC/223) é o grupo integrante do Comitê Europeu de Normatização que trata de substratos. O TC/223 é formado por quatro grupos, sendo que um deles refere-se exclusivamente aos métodos de análises físicas e químicas (Gabriëls, 1998; Schie, 1999). A publicação do protocolo europeu de análise, na forma de lei, é resultado do empenho de pesquisadores e laboratórios na busca do consenso para o mercado, quanto à caracterização dos componentes e misturas usadas como substrato para plantas.

2.5.1. Métodos de análise

2.5.1.1. Determinação da densidade

Para mensuração da *densidade de volume*, os principais métodos de laboratório citados na literatura são:

a) **Método da auto-compactação** – Método descrito por Hoffmann (1970) e recomendado pela Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas, VDLUFA (Alemanha) (Röber & Schaller, 1985) e ALVA (Áustria) (Baumgarten, 2002), para análise de substratos hortícolas.

A principal característica deste método é sofrer uma auto-compactação por ação do peso das próprias partículas umas sobre as outras. Segundo Baumgarten (2002), o método é rápido e prático para implantação em rotinas de laboratório, não requerendo nenhum equipamento sofisticado. Baumgarten (apud Baumgarten, 2002) mostra que há uma alta correlação entre este método e aquele apresentado pela Comitê Europeu de Normatização (CEN).

b) **Método do duplo anel** – Recomendado pela Comitê Europeu de Normatização (CEN) (Aendekerk, 2000).

Um peso externo é usado para comprimir um volume definido de substrato. O peso de 650 g equivale a uma pressão de $8,6 \text{ g.cm}^{-2}$. Segundo Miner (1994) esta compressão é semelhante a experimentada pelo substrato sob o seu próprio peso quando em recipiente. Baumgarten (2002) afirma que o método consome tempo e é limitado para uso em rotinas de laboratório. De Krej et al. (apud Baumgarten, 2002) mostram que pode haver problemas com partículas grossas ou fibras muito compridas.

c) **Método da indústria** – Utilizado pela indústria para determinação da densidade na “boca” do ensaque. O saco colocado sob a saída do misturador é substituído, a cada lote da mistura, por um recipiente de forma e volume definidos, que cheio serve de amostra da densidade daquele lote específico.

A característica principal deste método é o elevado tamanho da amostra, 20 ou 40 litros, e o fato das partículas sofrerem queda livre.

2.5.1.2. Curva de retenção de água

Para a obtenção da *curva de retenção de água*, segundo De Boodt & Verdonck (1972), que permite a mensuração da porosidade total, espaço de aeração, disponibilidade e retenção de água, os principais métodos de laboratório citados na literatura são:

a) **Método da caixa de areia** – Recomendado pela ISHS (Sociedade Internacional de Ciências Hortícolas) (Aendekerk, 2000).

Preenchidos os cilindros, conforme a densidade determinada por quaisquer dos métodos, estes são colocados para drenar sobre uma caixa preenchida com areia fina. A tensão é determinada pela altura da coluna (sistema de vasos comunicantes). É um método demorado, podendo levar até quinze dias para completar a curva (10, 50 e 100 cm equivalentes a 10, 50 e 100 hPa).

b) **Método do funil de tensão** – Método descrito por Vomicil (apud Gauland, 1997).

Preenchidos os cilindros, conforme a densidade determinada por quaisquer dos métodos, estes são colocados para drenar dentro de funis de tensão com placa porosa, individuais ou em conjunto. A tensão é determinada pela altura da coluna (sistema de vasos comunicantes). É um método demorado, podendo levar até quinze dias para completar a curva (10, 50 e 100 cm equivalentes a 10, 50 e 100 hPa).

c) **Método da mesa de tensão** – Método descrito por Kiehl (1979).

Preenchidos os cilindros, conforme a densidade determinada por quaisquer dos métodos, estes são colocados, em conjunto, para drenar sobre uma mesa com tampo de vidro coberto com papel. A tensão é determinada pela altura da coluna (sistema de vasos comunicantes). É um método demorado, podendo levar até quinze dias para completar a curva (10, 50 e 100 cm equivalentes a 10, 50 e 100 hPa).

d) **Método do vaso** – Método descrito por De Boodt et al. (1974).

O método pressupõe a utilização de vasos preenchidos com substrato, saturados e postos para drenar, evitando-se a evaporação. Após cessada a drenagem, e de posse de todos os valores da pesagem de todas as etapas procede-se ao cálculo para obtenção da porosidade, espaço de aeração e capacidade de recipiente. Cada diferente recipiente e substrato, em particular, apresentarão valores diferenciados da capacidade de recipiente.

As diferenças entre estes métodos se encontram, no volume e umidade inicial da amostra, e na forma de preenchimento dos recipientes utilizados para análise. Os resultados são as distintas formas de acomodação da massa do substrato no mesmo volume, ou distintos volumes com a mesma massa.

2.6. Situação brasileira do insumo substrato para plantas

Apesar de poder determinar o sucesso ou fracasso de um cultivo, o produto “substrato para plantas” não é contemplado pela legislação brasileira. Este fato tem feito com que as fábricas comercializem substrato como “condicionador de solo”, o item mais próximo, presente na legislação (Lei n. 6.894, de 16 de dezembro de 1980, Ministério da Agricultura, 1982).

Entretanto, os parâmetros específicos, legalmente exigidos para caracterização de “condicionador de solo”, diferem grandemente daqueles indicados para substrato, sendo alguns incompatíveis. Este conflito leva o fabricante a produzir substrato sob condições não ideais para uso como substrato.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), consciente da necessidade e sob pressão da indústria de substrato decidiu propor uma legislação específica, que possibilite o registro do produto e, por conseqüência, modifique os parâmetros exigidos para a sua comercialização.

Por conta disto, formou-se um grupo de trabalho com representatividade nacional, composto por fabricantes de substratos, consumidores (produtores de plantas ornamentais, frutíferas, olerícolas, florestais e fumageiras), técnicos do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e pesquisadores de universidades e de instituições nacionais envolvidos na pesquisa com substratos. Esta Comissão Nacional de Normatização sobre Substrato para Plantas, em atividade desde julho de 1999, realizou, até dezembro de 2002, cinco encontros para debater, organizar e redigir, de forma participativa, a normatização necessária para a indústria e o comércio de substratos para plantas (Comissão Nacional de Normatização Sobre Substrato Para Plantas, Relatórios I, II, III, IV e V).

A assinatura do Decreto que normatiza “substrato para plantas” como produto é uma resposta à crescente demanda da cadeia (fabricantes e produtores de plantas), um subsídio ao trabalho de fiscalização do MAPA, uma adequação às necessidades da política internacional no Brasil e a recuperação de anos de atraso em relação à América do Norte e à Europa.

Até o presente momento, a Comissão Nacional de Normatização já definiu os parâmetros que deverão nortear o registro do produto e a futura fiscalização pelo MAPA, itens que constarão das devidas Portarias que regulamentarão o Decreto. Atualmente, discute-se a definição junto ao MAPA e ao INMETRO dos métodos para determinação dos parâmetros selecionados.

A regulamentação do Decreto oficializará as normas para fabricação de substratos e influenciará na criação de um novo mercado de trabalho. Para registrar substratos, haverá a necessidade de caracterização dos mesmos. Assim, a demanda por laboratórios para análise de substrato deverá crescer.

Atualmente, no país, existem poucos laboratórios especializados na análise de substrato. O Laboratório de Biotecnologia em Horticultura, pertencente ao Departamento de Horticultura e Silvicultura, da Faculdade de Agronomia-UFRGS tem realizado análises para produtores de plantas e fabricantes de substrato, em nível nacional.

A experiência de trabalho local na pesquisa de novos materiais componentes de substratos resultou na publicação de dissertações e teses, como Jung & Kämpf (1986), Backes (1990), Bellé (1990 e 1998), Grolli (1991), Brandão (1991), Fermino (1996), Barbosa (1996), Oliveira (2000) e Gruszynski (2002) além de inúmeros artigos.

Os métodos de análise utilizados desde 1985, pelo Laboratório de Biotecnologia em Horticultura (UFRGS), seguem as recomendações gerais da

VDLUFA (Röber & Schaller, 1985). Acompanhando as tendências internacionais para padronização e atendendo a demanda da Comissão Nacional de Normatização de Substrato para Plantas, intensifica-se a pesquisa em métodos para caracterização física de substratos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Parte I. Caracterização dos materiais

3.1.1. Descrição dos materiais

Os substratos submetidos aos estudos são:

- Turfas *in natura* - Preta TP-, Marrom -TM- e Vermelha -TV- oriundas da empresa Florestal®, localizada na cidade de Araranguá-SC.
- Substratos comerciais da empresa MecPrec®, localizada em Telêmaco Borba-PR, a base de cascas de Pinus e vermiculita em diferentes proporções: para espécies hortícolas (Horta) - Comercial 1 (C1), para cultivos de mudas florestais (Florestal) - Comercial 2 (C2) e para cultivo de mudas de fumo (Tabaco) - Comercial 3 (C3).

3.1.2. Local das análises

As análises físicas e químicas e os estudos foram realizados no Laboratório de Biotecnologia em Horticultura do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.1.3. Métodos para a caracterização física

3.1.3.1. Densidade de volume

Para a determinação das densidades úmida e seca foi empregado o método descrito por Hoffmann (1970) e utilizado pela Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha (VDLUFA), para análise de substratos hortícolas (Röber & Schaller, 1985).

Este método consiste em preencher uma proveta plástica transparente e graduada, de 250 ml, com o substrato, com umidade próxima a 50 % (quando a amostra ao ser comprimida entre os dedos mantém-se aglutinada, sem formar torrão). Após, esta proveta é deixada cair sob a ação do seu próprio peso, de uma altura de 10 cm, por dez vezes consecutivas. Com auxílio de uma espátula nivela-se a superfície levemente, e lê-se o volume obtido. Em seguida, pesa-se o material úmido e leva-se à estufa para secagem a 105°C, quando mineral, ou 65°C, quando orgânico, por 48 horas ou até peso constante.

Os valores das densidades de volume (média de duas amostras) foram obtidos aplicando-se as seguintes fórmulas:

$$D. \text{ úmida } (\text{kg m}^{-3}) = \frac{\text{Peso úmido (g)}}{\text{Volume (cm}^3)} \times 1000$$

$$D. \text{ seca } (\text{kg m}^{-3}) = \frac{D. \text{ úmida } (\text{kg m}^{-3}) \times \text{Matéria seca (\%)}}{100}$$

3.1.3.2. Densidade de partícula

Para a determinação das densidades de partícula foi empregado o método descrito por Rowel (1994):

1. Pesa-se um becker de 25 ml (P1);
2. Coloca-se nele cerca de 25 cm³ da amostra seca a 105°C. Pesa-se (P2);

3. Adiciona-se 50 ml de água e ferve-se, para retirar o ar (+/- 30 minutos);
4. Resfria-se a suspensão;
5. Pesa-se um balão volumétrico de 250 ml (P3);
6. Coloca-se nele a suspensão resfriada. Usa-se funil na transferência da suspensão, cuidando para não perder partículas da amostra;
7. Completa-se o volume do balão. Pesa-se (P4);
8. Calcula-se:
 9. Massa da amostra seca: $P2 - P1 = a$
 10. Massa da suspensão: $P4 - P3 = b$
 11. Massa (volume) da água no balão: $b - a = c$ ($g = cm^3$)
 12. Volume da amostra: 250 (volume do balão) $- c = d$
 13. *Densidade de partícula: a / d*

3.1.3.3. Porosidade total, espaço de aeração e disponibilidade de água

A determinação da porosidade total, espaço de aeração e água disponível foi realizada através de curvas de retenção de água nas tensões de 0, 10, 50, e 100 cm de altura de coluna de água, correspondendo às tensões de 0, 10, 50 e 100 hPa, conforme De Boodt & Verdonck (1972).

Os valores de retenção de água foram obtidos pelo método do funil proposto por Vomicil (apud Gauland, 1997) e adaptado no Laboratório de Biotecnologia em Horticultura do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia, UFRGS. Utilizou-se o seguinte procedimento:

- a) vedação do fundo dos anéis (cilindros metálicos) com tecido de nylon preso por um atilho de borracha e pesagem destes anéis;

b) preenchimento dos anéis metálicos, de 66,19 ml de capacidade (5,3 cm de diâmetro e 3,0 cm de altura), com os substratos; a quantidade foi calculada através da densidade úmida dos mesmos, para garantir a uniformidade de volume;

c) colocação dos anéis em bandejas plásticas com água até 1/3 de sua altura, para saturação, por 24 horas;

d) retirada dos anéis da água;

e) pesagem dos anéis. O volume de água contida na amostra neste momento corresponde ao ponto zero de tensão, equivalendo à porosidade total;

f) transferência dos anéis para os funis de vidro (25 cm de diâmetro superior interno), com uma base de placa porosa (pressão de 1 bar e alta condutância) de mesmo diâmetro;

g) ressaturação dos cilindros, por 24 horas, com uma lâmina de 0,5 cm abaixo da borda destes;

h) ajuste da tensão para 10 cm de coluna de água (10 hPa);

i) permanência nos funis até atingir equilíbrio (cerca de 48 horas);

j) pesagem;

k) retorno dos anéis aos funis; repetição dos itens **g**, **h** e **i**, para as tensões 50 e 100 cm de coluna de água (50 e 100 hPa);

l) pesagem;

m) secagem das amostras em estufa a 105°C, para materiais minerais, ou 65°C para materiais orgânicos, por 48 horas ou até peso constante, para determinação dos teores de umidade e peso da matéria seca.

A construção das curvas de retenção de água foi efetuada com os valores de umidade volumétrica obtidos através dos percentuais de água retida para cada tensão (média de duas amostras).

De posse destes dados, foram obtidas as seguintes características:

a) **Porosidade Total** (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa).

b) **Espaço de Aeração** (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão de 10 cm de coluna d'água (10 hPa).

c) **Água Facilmente Disponível** (AFD): volume de água encontrado entre os pontos 10 e 50 cm de coluna d'água (10 e 50 hPa).

d) **Água Tamponante** (AT): é a água volumétrica liberada entre 50 e 100 cm de coluna d'água (50 e 100 hPa).

e) **Água Disponível** (AD): volume de água liberado entre 10 e 100 cm de coluna d'água (10 e 100 hPa).

f) **Água Remanescente 100 cm** (AR₁₀₀): volume de água que permanece na amostra após ser submetida a pressão de sucção de 100 hPa, equivalente à "água de microporos", termo descrito por Haynes & Goh (1978).

g) **Capacidade de Retenção de Água** (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão.

h) **Capacidade de Recipiente** (CR): máxima quantidade de água retida por um substrato, num determinado recipiente, após saturação e cessada a drenagem (capacidade de retenção a 10 cm de coluna de água ou 10 hPa).

3.1.3.4. Granulometria

Para a realização desta análise foi utilizada uma amostra 100 g de substrato, seco ao ar, e colocada sobre um jogo de peneiras, acoplado a um agitador mecânico, por três minutos. As malhas das peneiras empregadas apresentavam 3,35 - 2,00 - 1,00 - 0,60 - 0,106 mm. Após a agitação, o material retido em cada peneira foi pesado sendo o valor determinado utilizado para cálculo da percentagem sobre o peso da amostra (média de duas amostras).

3.1.4. Métodos para a caracterização química

3.1.4.1. Valor de pH

As leituras do valor de pH foram feitas em suspensões de substrato:água deionizada na proporção de 1:2,5 (v:v), através de potenciômetro (média de duas amostras).

O método consiste em:

- a) colocar, em becker de 100 ml, 20 ml da amostra (calculado segundo a densidade úmida) e 50 ml de água deionizada;
- b) homogeneizar as suspensões com bastão de vidro logo após a colocação da água, e depois de 30 minutos e uma hora;
- c) fazer a leitura com potenciômetro previamente calibrado;
- d) lavar o eletrodo após cada leitura com água deionizada e secar em papel toalha.

3.1.4.2. Teor total de sais solúveis

Para a determinação do Teor Total de Sais Solúveis (TTSS) o método utilizado foi o proposto pela VDLUFA (Röber & Schaller, 1985). A condutividade do extrato, expressa como teor de KCl, determina o Teor Total de Sais Solúveis de uma suspensão de substrato:água deionizada, na proporção 1:10 (peso : volume), através dos seguintes passos (média de duas amostras):

- a) colocar em frasco "snap-cap", 20 g de substrato e 200 ml de água deionizada;
- b) agitar por 3 horas em agitador mecânico;
- c) deixar em repouso até decantação das partículas;
- d) havendo necessidade, proceder a filtração das suspensões com papel de filtro ou centrifugação;

e) fazer leitura em condutímetro, da condutividade elétrica do material filtrado;

f) realizar uma prova em branco para ajustes devido ao uso do papel filtro para a filtragem;

g) expressar os resultados em gramas de KCl por litro de substrato, através dos seguintes cálculos:

$$\text{TTSS (g L}^{-1}\text{)} = \frac{(Y \times 56,312) (\text{g}/100\text{g}) \times [\text{D.úvida (kg m}^{-3}\text{)} / 1000]}{100.000}$$

onde:

Y = leitura do condutímetro em Siemens x 10⁻⁴

56,312 = fator de correção para expressar a condutividade em mg de KCl/100 g de substrato à 25°C.

100.000 = valor para a compensação das diferentes unidades em g L⁻¹.

3.2. Parte II. Determinação da densidade

Os estudos apresentados a seguir foram baseados nas seguintes hipóteses:

- * O nível de umidade na amostra interfere na quantidade de sólidos empacotados.

- * O método de determinação da densidade interfere na quantidade de sólidos empacotados.

3.2.1. Estudo 1 – Avaliação de níveis de umidade na amostra na determinação da densidade seca e úmida.

Amostras de TP, TM,TV, C1, C2 e C3, foram umedecidas com umidade equivalentes à 50, 60, 70, 80, 90 e 100% da capacidade de recipiente (CR).

Após, as amostras foram submetidas à determinação da densidade seca (DS) e úmida (DU) e matéria seca (MS) conforme item 3.1.3.1. da Parte I.

Os resultados da DS, MS e DU foram submetidos à análise de variância (fatorial 6 x 6, com duas repetições). Para analisar o efeito dos níveis de umidade procedeu-se à análise de regressão. As análises estatísticas foram feitas utilizando-se o Programa SAS.

3.2.2. Estudo 2 - Comparação de métodos para determinação da densidade

Amostras de TM foram umedecidas com controle visual:

- **nível 1:** correspondia à amostra úmida, que, ao ser comprimida entre os dedos, manteve-se aglutinada, porém **não formava torrão;**
- **nível 2:** correspondia à amostra úmida, que, ao ser comprimida entre os dedos, **formava torrão sem desprender água;**
- **nível 3:** correspondia à amostra úmida, que, ao ser comprimida entre os dedos, **formava torrão e escorriam gotas de água.**

Após, retirou-se duas sub-amostras de 100 g que foram secas em estufa a 65°C até peso constante, para determinação dos valores percentuais de umidade, os quais foram **62, 69 e 72%** do volume (62, 69 e 72 m³ m⁻³) para o nível 1, 2 e 3 respectivamente.

Os recipientes para acomodar o substrato, adaptados de Handreck & Black (1999) e propostos pela autora e por Cirilo Gruszynski, constaram de cilindros de Policloreto de Vinila (PVC) de 100 mm de diâmetro (97,8 mm de diâmetro interno) e 100 mm de comprimento (Marca TIGRE NBR 5688), perfazendo um volume interno de 750 ml. A base constava de cilindros de PVC de 100 mm de diâmetro (97,8 mm de diâmetro interno) e 100 mm de comprimento (Marca TIGRE NBR 5688) com um "cap" (Marca TIGRE DN 100 EB 608), descrição feita conforme utilizada em hidráulica. Uma "luva" (marca FORTILIT DN 100 EB 608) fazia a conexão móvel entre os cilindros (Figura 1).

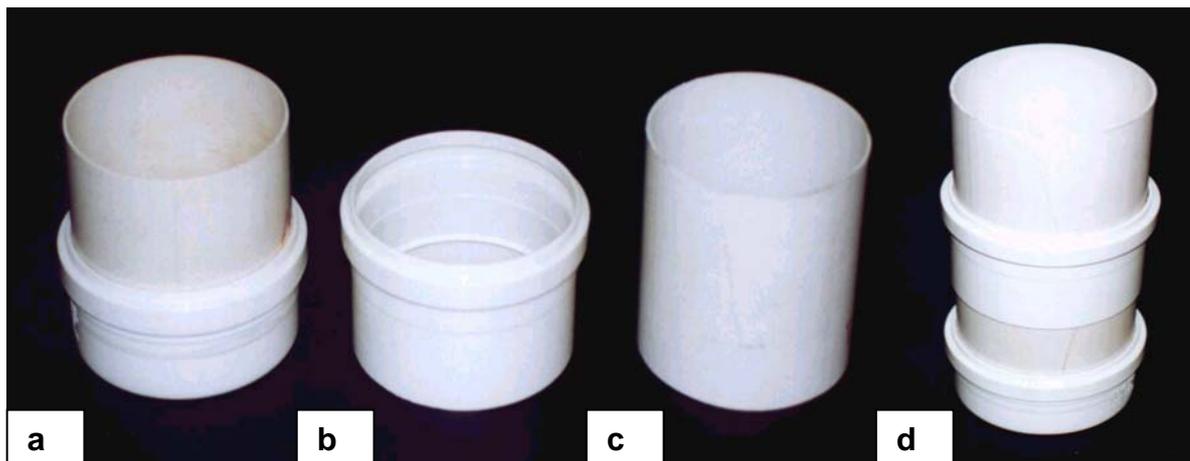


Figura 1. Cilindros de Policloreto de Vinila – PVC – utilizados para determinação da densidade: a) "cap" + cilindro com volume interno de 750 ml; b) "luva" para conexão entre os cilindros; c) cilindros com volume interno de 750 ml para sobrepor ao primeiro; d) conjunto pronto para efetuar a determinação da densidade. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Para a determinação da densidade úmida utilizou-se três métodos:

3.2.2.1. CEN - modificado do Comitê Europeu de Normatização:

Os cilindros (cilindro com "cap" + "luva" + cilindro) foram preenchidos com substrato até a metade do cilindro superior. Sobre a superfície do substrato foi colocado um peso de 687,50 g, por um período de três minutos. Após este período, retirou-se a "luva" e o cilindro superior e nivelou-se o substrato, dentro do cilindro inferior, com uma espátula sem comprimir o material. Procedeu-se a pesagem descontando o peso dos recipientes.

3.2.2.2. INDÚSTRIA - baseado no método utilizado pela indústria

Os cilindros (cilindro com "cap" + "luva" + cilindro) foram preenchidos com substrato até a metade do cilindro superior. Após retirou-se a "luva" e o cilindro superior e nivelou-se o substrato com uma espátula sem comprimir o material (dentro do cilindro + "cap"). Procedeu-se a pesagem descontando o peso dos recipientes.

3.2.2.3. UFRGS - baseado nas Normas da Federação dos Institutos para Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha (VDLUFA).

Os cilindros (cilindro com "cap" + "luva" + cilindro) foram preenchidos com substrato até a metade do cilindro superior e deixados cair dez vezes de uma altura de 10cm. Após retirou-se a "luva" e o cilindro superior e nivelou-se o substrato com uma espátula sem comprimir o material (dentro do cilindro + "cap"). Procedeu-se a pesagem descontando o peso dos recipientes.

Os valores das densidades úmidas foram obtidos aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\mathbf{D. \acute{u}mida} \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso úmido (g)} \times 1000}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Para a determinação da matéria seca, acondicionou-se o conteúdo dos cilindros em bandeja de alumínio levando-se à estufa (65°C) por 48 horas ou peso constante.

Os valores das densidades secas foram obtidos aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\mathbf{D. seca} \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = \frac{\mathbf{D. úmida} \text{ (kg m}^{-3}\text{)} \times \mathbf{Matéria seca (\%)}}{100}$$

Os resultados da DS, MS e DU foram submetidos à análise de variância (fatorial 3 x 3, com três repetições). A significância da diferença entre as médias foi verificada através do Teste de Tukey (1%). Para as análises estatísticas utilizou-se o Programa SAS.

3.3. Parte III. Determinação da curva de retenção de água.

3.3.1. Estudo 3 - Obtenção da curva de retenção de água em diferentes equipamentos.

A hipótese aqui estudada pressupõe que diferentes equipamentos de determinação da curva de retenção de água apresentam o mesmo resultado para o substrato com o mesmo nível de umidade inicial e a mesma densidade.

Amostras da TM preparadas conforme Estudo 2 (item 3.2.2 da Parte II) foram submetidas a diferentes equipamentos para obtenção da curva de retenção de água nas tensões de 0, 10, 50, e 100 cm de altura de coluna de água, correspondendo a 0, 10, 50 e 100 hPa, conforme De Boodt & Verdonck (1974).

O substrato foi acondicionado em cilindros de PVC de 100 mm de diâmetro (97,8 mm de diâmetro interno) e 100 mm de comprimento, perfazendo um volume interno de 750 ml (adaptado de Handreck & Black, 1999 e propostos pela autora e por Cirilo Gruszynski). Para a obtenção da curva de retenção na Mesa e no Funil, os cilindros tiveram a base "forrada" com tecido de nylon preso por um atilho de borracha (Figura 2).

Equipamentos utilizados para obtenção da curva de retenção:

3.3.1.1. Mesa de tensão:

Os valores de retenção de água obtidos pelo método da mesa de tensão (Figura 3) seguiram o processo descrito por Kiehl (1979). Uma mesa comporta 18 cilindros de PVC. Assim, cada bateria de análises continha dezoito amostras.

3.3.1.2. Funil de tensão (Büchner):

Os valores de retenção de água obtidos pelo método do funil de tensão (Figura 4) seguiram o processo descrito por Vomcil (apud Gauland, 1997). Um funil comporta 3 cilindros de PVC. Assim, cada bateria continha 9 amostras.



Figura 2. Cilindros de Policloreto de Vinila - PVC - com volume interno de 750 ml, forrados com tecido de nylon preso por um atilho de borracha, utilizados para obtenção da curva de retenção de água na Mesa e no Funil de Tensão. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

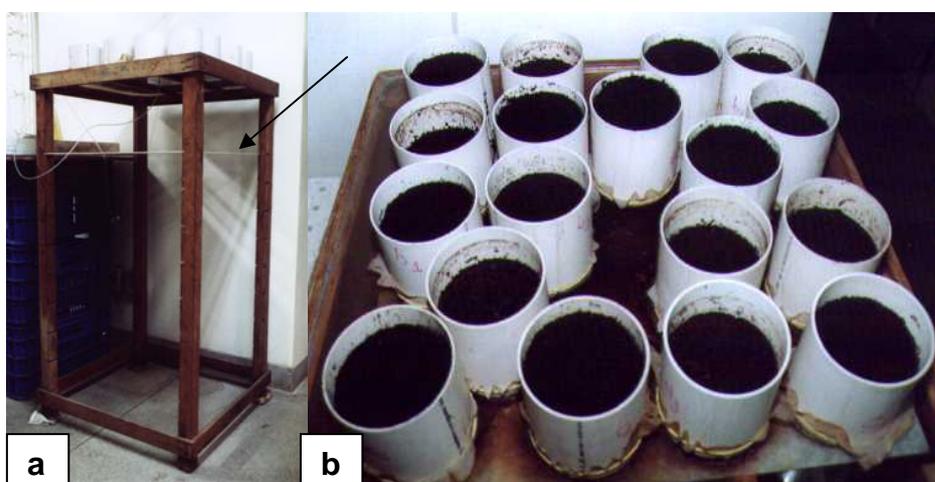


Figura 3. Mesa de Tensão utilizada para obtenção da curva de retenção de água: a) vista da mesa, sem a tampa, ajustada para sucção a 10 hPa; b) vista superior da mesa com capacidade para dezoito cilindros de PVC de 750 ml cada. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.



Figura 4. Conjunto de Funis de Tensão (com capacidade individual para três cilindros de PVC com 750 ml cada) utilizado para obtenção da curva de retenção de água, ajustado para sucção a 10 hPa. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

3.3.1.3. Cilindros de pressão (proposto pela autora e por Cirilo Gruszynski)

Os cilindros descritos inicialmente, foram fechados na parte inferior por um "cap" com quatro furos equidistantes de 2,5 mm na superfície inferior (nos quais foram colocados pedaços de 25 mm de mangueira de silicone de 2 mm de diâmetro interno). Internamente, o "cap" foi forrado com um disco de papel "pardo" (Kraft) de 180 g sob um disco de papel filtro. Também, na parte superior, receberam uma "tampa de inspeção" - denominação técnica de equipamento hidráulico - (marca TIGRE DN 100 EB 608) de 100 mm. Esta tampa possui uma perfuração na parte superior onde é introduzida uma mangueira transparente com 5 mm de diâmetro interno. A outra extremidade da mangueira está ligada à dois compressores bombas de ar (utilizados para aquários), marca Big Air A320 (potência 5 wats, capacidade 3,5 litros/minuto) e marca Tropical (Figura 6). A pressão exercida pela bomba de ar é transmitida pela mangueira até o interior do cilindro fechado e paralelamente é medida por um sistema de vasos comunicantes (10 cm equivalem a 10 hPa, 50 cm a 50 hPa e 100 cm a 100 hPa). Todo o sistema é vedado para evitar a saída de ar. O conjunto construído para fins experimentais comporta 6 cilindros de PVC com volume interno de 750 ml. Assim, cada bateria continha 6 amostras. O tempo transcorrido entre o ponto zero e o de 100 cm não superou 8 (oito) horas, para cada bateria.

Após, as amostras foram secas em estufa à 65°C por 48 horas.

De posse destes dados, foram obtidos: Porosidade Total (PT), Espaço de Aeração (EA), Água Facilmente Disponível (AFD), Água Tamponante (AT), Água Disponível (AD), Água Remanescente a 100 cm (AR₁₀₀), Razão de Vazios (RV), Capacidade de Retenção de Água (CRA) e Capacidade de Recipiente (CR), conforme item 3.1.3.3. da Parte I.

Através do programa SAS, os resultados foram submetidos à análise de variância (fatorial 3 x 3 x 3, com duas repetições). A significância da diferença entre as médias foi verificada pelo Teste de Tukey (1%).

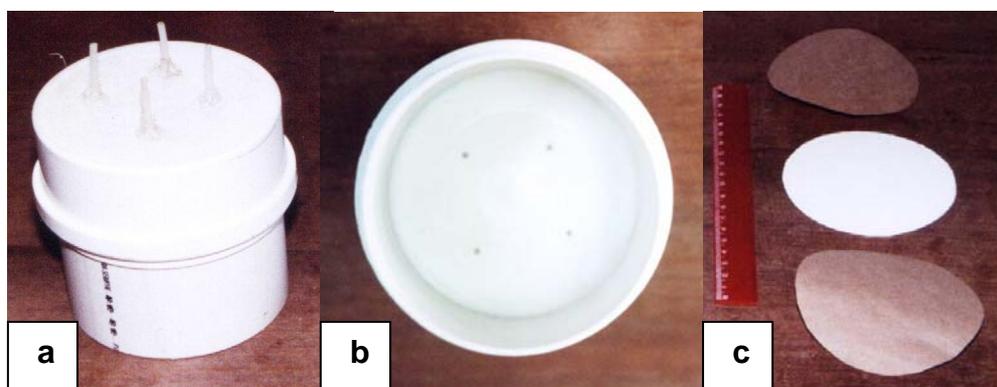


Figura 5. Cilindros de Policloreto de Vinila - PCV - com volume interno de 750 ml, utilizados para obtenção da curva de retenção no equipamento "Cilindros de Pressão": a) vista externa, com mangueiras de silicone para drenagem; b) vista interna, com furos para drenagem; c) discos de papel "kraft" e "filtro" para sobrepor no fundo dos cilindros. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

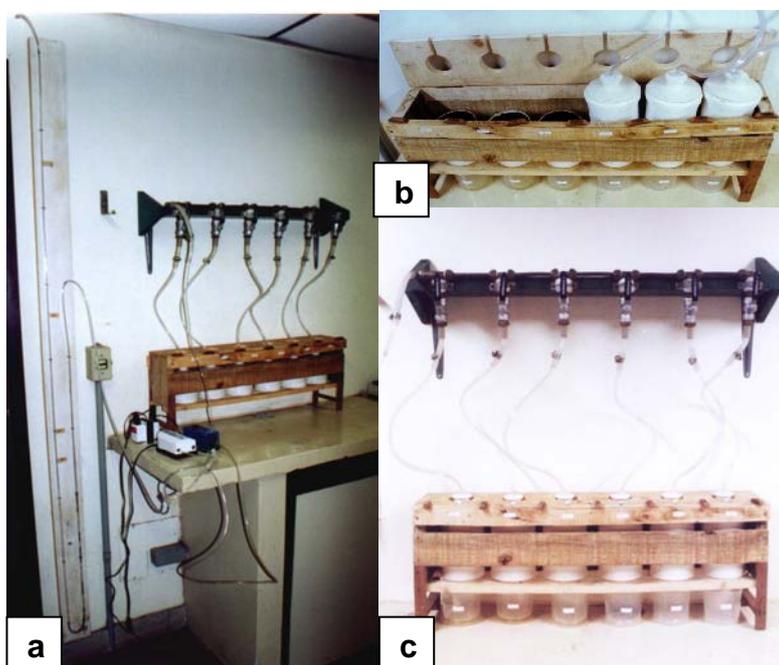


Figura 6. Equipamento experimental "Cilindros de Pressão", utilizado para obtenção da curva de retenção de água: a) vista geral, com bombas e sistema de vasos comunicantes; b) vista superior dos cilindros de PVC, parcialmente fechados com "tampa de inspeção" e mangueiras para entrada do ar; c) vista frontal com todos os cilindros de PVC fechados, potes coletores de água drenada e sistema de controle da pressão. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

3.4. Parte IV. Determinação da impedância mecânica

A impedância mecânica (IM) foi medida com um micropenetrômetro Chatillon, Greensboro, NC/USA (Figura 7). A sonda possui 6,5 mm de diâmetro e ápice cônico com semiângulo de 30°. As leituras foram realizadas 5 vezes/cilindro: 4 perfurações equidistantes, na distância média entre o centro e a borda do cilindro, e uma perfuração central.

Segundo Kämpf et al. (1999a/b), a equação $Q = F / A$ descreve a pressão (Q) necessária para introduzir verticalmente uma sonda metálica na amostra, sendo F a força requerida para penetrar a sonda e A a área do ápice da sonda. O valor F é fornecido pelo equipamento como Pico C (Compressão) e representa o valor máximo entre 600 leituras individuais realizadas pelo instrumento em 120 milissegundos.

3.4.1. Estudo 4 - Análise da impedância mecânica de substratos submetidos a diferentes tensões de umidade

As amostras dos materiais e substratos foram preparadas conforme item 3.1.3.3 (Parte I), em cilindro de metal de 150 ml (3 cm de altura).

Após serem submetidas à tensões de 10, 30, 50, 80 e 100 hPa, em funil de tensão, retirou-se um cilindro de cada amostra de material/substrato e realizou-se a leitura da IM a 2,0 cm de profundidade (altura do cilindro = 3 cm).

Cada substrato foi representado inicialmente por 5 amostras. A cada tensão reduziu-se o número de amostras, da menor (5 amostras) para a maior tensão (1 amostra).

Os resultados da IM foram submetidos à análise de variância (fatorial 6 x 5 com cinco repetições). Para analisar o efeito das tensões procedeu-se à análise de regressão. Para a análise estatística utilizou-se o Programa SAS.

3.4.2. Estudo 5 -Análise da impedância mecânica no Estudo 2

Após a pesagem, um cilindro de cada tratamento foi submetido à leitura da IM (Figura 8) a 4,0 cm de profundidade (altura do cilindro = 10 cm).

Os resultados da IM foram submetidos à análise de variância (fatorial 3 x 3 com cinco repetições). A significância da diferença entre as médias foi verificada pelo Teste de Tukey (1%). Para a análise estatística utilizou-se o Programa SAS.

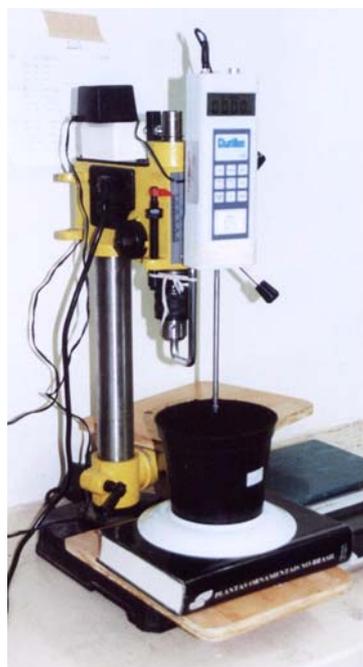


Figura 7. Micropenetrômetro Chatillon Greensboro, NC/USA, com sonda metálica de 6,5 mm de diâmetro e ápice cônico com semiângulo de 30°, utilizado para efetuar as medições da impedância mecânica. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

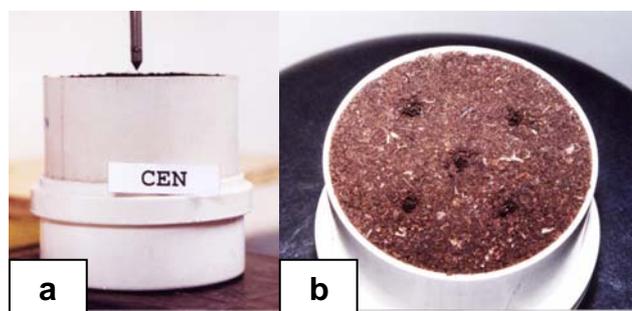


Figura 8. Leitura da impedância mecânica, da Turfa Marrom *in natura*, no cilindro de Policloreto de Vinila - PVC: a) sonda metálica acima da superfície, quando do início do processo; b) vista superior da superfície após efetuadas as cinco leituras. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parte I – Caracterização dos materiais e substratos

4.1.1. Caracterização física dos materiais e substratos

4.1.1.1. Densidade

Os resultados da determinação da densidade úmida (DU) (Tabela 2) apresentam TP como o material de maior DU (695 kg m^{-3}), seguido de C1, C2, C3, TV e TM (entre 574 e 476 kg m^{-3}), embora estas diferenças tenham menor amplitude que aquelas encontradas na análise da densidade seca (DS). Entre os materiais analisados, TM, TV, C1, C2 e C3, apresentam baixa densidade seca (DS), com valores entre 147 (TM) e 216 kg m^{-3} (C3), sendo indicados para uso em bandejas, conforme Kämpf (2000). TP, no entanto, apresenta densidade superior aos demais materiais (402 Kg m^{-3}), tendo seu uso condicionado à mistura com materiais com densidade mais baixa e/ou em recipientes altos.

A análise dos resultados da matéria seca (MS) (Tabela 2) corrobora as afirmações anteriores referentes a DS e DU, demonstrando o alto teor de MS da TP ($58 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). C3, C2, C1, TV e TM apresentam valores de MS próximos, entre si, e inferiores ao de TP (de 31 a $39 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$).

Segundo Andriessse (1988), turfa é um tecido vegetal carbonizado, formado em condições úmidas pela decomposição de várias plantas e musgos. Para Farnham & Finney (apud Bellé, 1990), as variações morfológicas das turfas decorrem do grau de decomposição das plantas, que é afetado pelas condições geológicas, químicas, topográficas e microclimatológicas locais. Bellé (1990), apresenta uma classificação de turfas segundo diferentes autores, sendo a mais comum a de Von Post. De acordo com esta classificação, “turfas pretas” são aquelas fortemente decompostas e “turfas brancas”, correspondem ao material menos humificado, com cor variando entre branca e marrom.

A classificação apresentada neste trabalho é a utilizada pela empresa extratora e corresponde à classificação de Von Post, sendo TP a turfa mais decomposta, com alta densidade, maior conteúdo de colóides e menor porosidade. Ao contrário, TV e TM são menos decompostas, com baixa densidade, maior conteúdo de fibras e maior porosidade.

Os substratos comerciais têm justificada a característica de baixa densidade devido ao uso da casca de *Pinus* e da vermiculita como componentes.

Na análise da densidade de partícula (DP) (Tabela 2), TP, por ser um material mais humificado, apresenta o maior valor de DP ($1,27 \text{ g cm}^{-3}$). As demais turfas (TM e TV) por serem materiais fibrosos que sofreram menor decomposição, apresentam os menores valores de DP ($1,04$ e $1,07 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente). Os Comerciais (C1, C2 e C3) apresentam valores intermediários de DP ($1,12$ e $1,14 \text{ g cm}^{-3}$).

Os materiais e substratos estudados apresentam valores de DP (Tabela 2) inferiores ao considerado para solos e substratos orgânicos, segundo Martinez (2002) e Rowell (1994), para os quais solos e substratos orgânicos apresentam DP de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ e solos minerais, de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.

4.1.1.2. Curva de retenção de água

TM, TV, C1, C2 e C3 apresentam alta porosidade total (PT entre 0,85 e 0,93 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Tabela 2), com valores acima da referência (0,85 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) para substratos, segundo De Boodt et al. (1974). TP apresenta baixa porosidade total (0,74 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), conseqüência da sua alta densidade.

TP tem baixo espaço de aeração (EA) (0,14 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), enquanto que TM, TV e C1 têm valores de EA entre 0,23 e 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e C2 e C3, entre 0,33 e 0,34 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, estes últimos considerados altos (Tabela 2). A referência internacional para o valor de espaço de aeração (EA) é de 0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, sugerido por De Boodt et al. (1974), embora Bunt (1973) e Verdonck & Gabriels (1988), sugeriram valores entre 0,10 e 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. A escolha de um material com um determinado valor de espaço de aeração está condicionada à espécie vegetal a ser cultivada, estágio de desenvolvimento e manejo da irrigação.

Quanto às características de disponibilidade de água (Tabela 2), os materiais, TP, TM, TV e C1 têm valores de água facilmente disponível (AFD) entre 0,22 e 0,26 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, próximos aos valores de referência (0,25 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ de AFD) segundo De Boodt et al. (1974). No entanto, os substratos C2 e C3 têm baixos valores (AFD de 0,18 e 0,19 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente).

Todos os materiais apresentam valores de água tamponante (AT de 0,03 a 0,05 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Tabela 2) dentro da faixa de referência (0,04 a 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) sugerida por De Boodt et al. (1974).

Todos os materiais analisados têm valores de água disponível abaixo daquele de referência (0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) sugerido por De Boodt et al. (1974). Segundo os resultados (Tabela 02) C2, C3, TP e TV apresentam os valores mais baixos (AD de 0,22 a 0,27 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), enquanto TM e C1 têm valores mais elevados,

embora ainda muito abaixo daquele referencial (AD de 0,30 e 0,31 m⁻³ m⁻³, respectivamente).

Quanto à característica de capacidade de retenção de água (CRA), todos os materiais apresentam altos valores de água retida em todos as tensões (Tabela 2). No entanto, na análise de CRA₁₀, CRA₅₀ e CRA₁₀₀ o valor mais alto é encontrado na TM (0,68; 0,42 e 0,38 m⁻³ m⁻³, respectivamente). Os altos valores de retenção de água das turfas encontram respaldo na literatura, onde há referência de retenção de até 20 vezes a sua massa, segundo Andriessse (1988), sendo maior nas turfas fibrosas (TM e TV), menos decompostas, do que naquelas mais humificadas (TP). Também as cascas, como as de *Pinus*, (Handreck & Black, 1999) e a vermiculita (Burés, 1997), têm alta capacidade de retenção de água.

Embora a retenção de água, nas tensões de 10 e 50 hPa, seja uma característica positiva do ponto de vista do armazenamento, é necessário considerar que mais importante é a liberação de volumes de água suficientes às necessidades das plantas em cultivo. Sob este prisma, os volumes disponíveis a 100 hPa são baixos e inferiores àqueles retidos na mesma tensão. Desta forma, a utilização destes materiais/substratos exige um regime de irrigação mais freqüente.

No entanto, na avaliação do conjunto de características, TM apresentou menor valor de densidade seca e de partícula, maior porosidade total, maiores valores de água facilmente disponível, água disponível e capacidade de retenção de água em todas as tensões analisadas, e mesmo valor de espaço de aeração daquele sugerido como referência. Estes resultados justificam sua escolha para fazer parte dos demais estudos realizados e que serão tratados a seguir.

4.1.1.3. Distribuição do tamanho de partículas.

Há interação significativa entre os materiais e substratos estudados e as malhas das peneiras (Apêndice 1). Os substratos comerciais, C1, C2 e C3, e as turfas TV e TM, têm distribuição semelhante do tamanho de partículas nas classes intermediárias (entre 0,60 - 1,0 mm e 2,00 - 3,35 mm) (Figura 9). Estes materiais e substratos apresentam predomínio de partículas na classe entre 1,00 e 2,00 mm de diâmetro (30-50%) (Apêndice 2)). No entanto, as partículas pequenas (< 0,60 mm) têm maior expressão nas turfas, enquanto, as partículas grandes (entre 3,35 e 5,00 mm) nos comerciais (Apêndice 2). Esta predominância de partículas maiores, nos substratos comerciais, evidencia uma tendência de mercado devido a sua melhor adequação às condições de cultivo em recipientes pequenos, nos quais a presença de partículas pequenas ou colóides proporciona maior retenção de água e pouca disponibilidade de oxigênio às raízes.

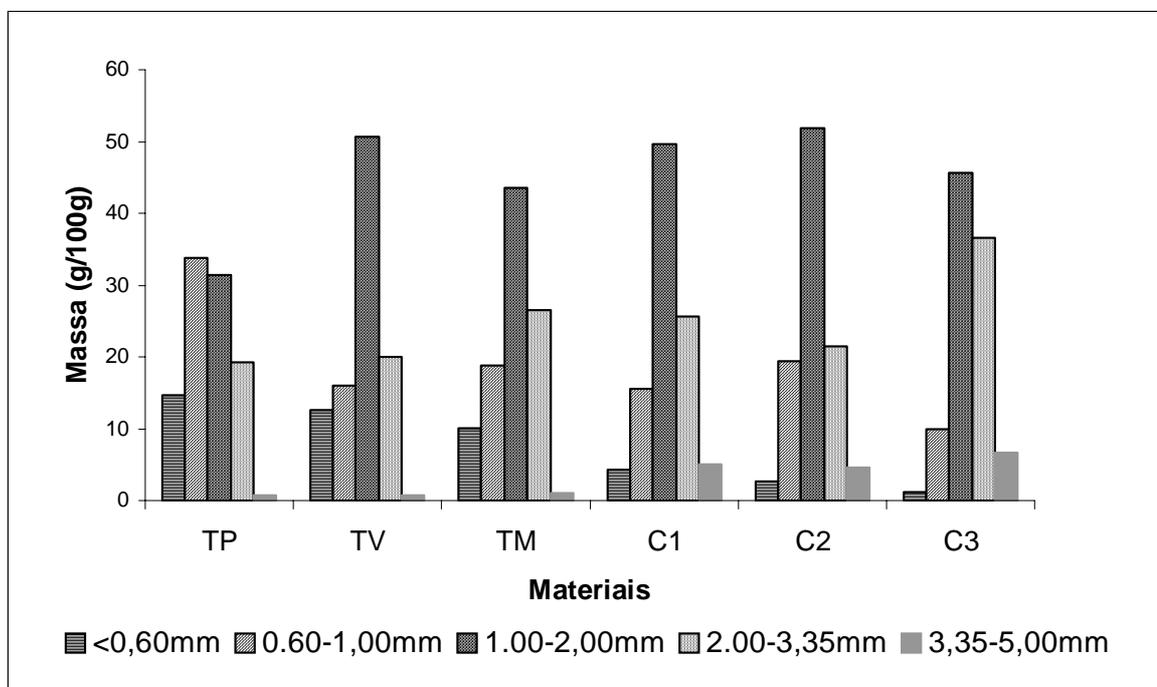


Figura 9. Distribuição do tamanho de partículas dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Os substratos comerciais C2 e C3 têm os mesmos valores para densidade, porosidade e espaço de aeração (Tabela 2), entre si, apesar de diferirem na distribuição do tamanho de partículas nas classes intermediárias (Figura 9). Enquanto, C2 apresenta 19 % de partículas entre 0,6 e 1,0 mm, C3 tem 10 %; e, enquanto, C2 tem 21,5 % de partículas entre 2,0 e 3,35 mm, C3 tem 36,5 % (Apêndice 2).

Contrariamente, C1 e C2, apesar de apresentarem uma distribuição do tamanho de partículas com menor amplitude entre os valores das classes intermediárias (Figura 9), diferem nos valores de espaço de aeração, água facilmente disponível e água disponível (Tabela 2). Enquanto, C1 tem 15,5 % na classe entre 0,6 e 1,0 mm, C2 tem 19 %, e enquanto, C1 tem 25,6 % na classe entre 2,0 e 3,35 e C2 tem 21,5 % (Apêndice 2). Isto se deve, provavelmente, a outras características das partículas dos materiais componentes como forma, compressibilidade, rugosidade, estrutura interna e características superficiais (Burés, 1997), e/ou a diferentes proporções de mistura entre os mesmos componentes.

Na análise do tamanho de partículas, em solos, as malhas se referem ao diâmetro da partícula. Entretanto, em substratos predominam materiais orgânicos de origem vegetal pouco decompostos (Burés, 1997). Nestes casos, fibras e outras partículas de formas variadas dificultam o uso do termo diâmetro. Neste contexto, é necessário ressaltar que as Turfas Marrom e Vermelha, por apresentarem fibras podem ter passado pelas malhas no sentido da menor dimensão. Assim, a análise de dados de distribuição do tamanho de partículas destes materiais necessita de maior atenção e uma observação mais detalhada considerando também sua forma.

TP é preponderantemente o material com distribuição de partículas mais eqüitativa, apresentando maior percentual de partículas pequenas e o menor percentual de partículas grandes, entre os materiais estudados. Esse fato, aliado a alta densidade (Tabela 2), explica sua baixa porosidade e seu baixo espaço de aeração.

4.1.2. Caracterização química

As turfas apresentam baixos valores de pH (entre 3,4 e 3,7) (Tabela 3), fato característico deste tipo de material segundo Andriessse (1988). O autor se refere ao valor de pH, em água, de turfas tropicais entre 3,0 e 4,5. As turfas estudadas apresentam menor valor de pH quanto mais decompostas, evidenciando a necessidade de correção para adequada utilização.

Por outro lado, os materiais comerciais apresentam valores de pH bastante variáveis (4,3; 5,2 e 6,8 para C2, C1 e C3, respectivamente) o que caracteriza, em primeiro lugar, uma provável aplicação diferenciada de corretivos e, segundo, uma indicação de uso também diferenciada.

Gruszynski (2002) reuniu em uma tabela resultado de pesquisa do valor de pH recomendado por diversos autores para substratos. Nela encontram-se referências de valor de pH, em água, entre 5,4 e 6,8 para culturas diversas, à exceção de samambaias, bromélias, azaléias e coníferas que requerem pH entre 4,5 e 5,0.

Os valores das características químicas dos materiais e substratos estudados não impedem, mas podem limitar sua utilização. É imprescindível observar a necessidade de correção das turfas e a observação da indicação do fabricante dos substratos comerciais quanto a sua utilização.

Tabela 3. Características químicas das Turfas *in natura* Preta (TP), Marrom (TM) e Vermelha (TV), e dos substratos comerciais C1, C2 e C3 (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Amostra	pH (H ₂ O)	Salinidade	
		TTSS (kg m ⁻³)	CE (1:10) (dS m ⁻¹)
TP	3,4	2,66	0,71
TM	3,6	0,28	0,10
TV	3,7	0,35	0,11
C1	5,2	2,76	0,88
C2	4,3	2,00	0,69
C3	6,8	2,52	0,84

pH – valor de pH

TTSS – teor total de sais solúveis (como KCl)

CE – condutividade elétrica

A salinidade, em solos, é expressa como condutividade elétrica (CE) que expressa a capacidade do meio de conduzir eletricidade. Em substratos, a salinidade é expressa como teor total de sais solúveis (TTSS), que expressa a concentração de sais em determinado volume de substrato, calculada como KCl.

Assim, em substratos, não basta observar o valor da CE, mas considerar a densidade do material. Para o mesmo valor de CE, maior será a salinidade, quanto maior for a densidade do substrato.

No presente estudo (Tabela 3), todos os materiais apresentam baixos valores de condutividade elétrica (CE em extrato 1:10) (entre 0,10 e 0,88 dS m⁻¹). No entanto, quando mensurados como teor total de sais solúveis (TTSS), mostram grande amplitude (entre 0,28 e 2,76 kg m⁻³) e excesso de salinidade, à exceção de TM e TV. Segundo Kämpf (2000), a salinidade dos substratos pode ser classificada, em baixa (< 1,0 kg m⁻³), média ou normal (1,0 – 2,0 kg m⁻³), alta (2,0 – 4,0 kg m⁻³), muito alta (4,0 – 5,0 kg m⁻³), extremamente alta (5,0 – 7,0 kg m⁻³) e tóxica (>7,0 kg m⁻³).

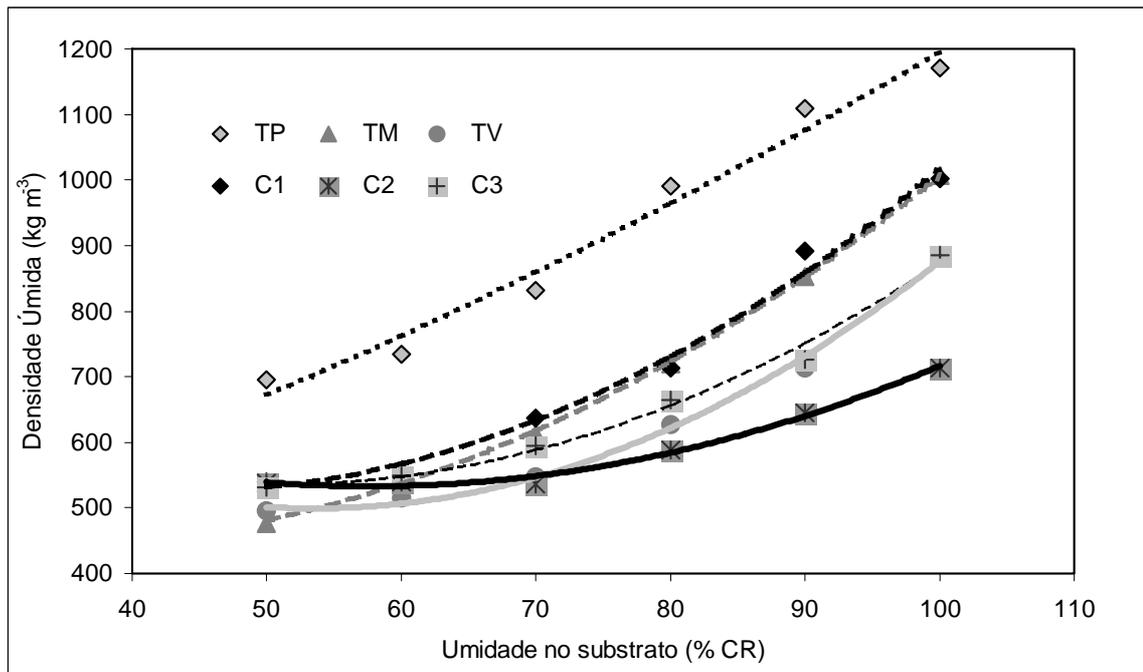
TM e TV têm baixos valores de salinidade, avaliada pelo TTSS (0,28 e 0,35 kg m⁻³, respectivamente), enquanto TP tem alta salinidade (2,66 kg m⁻³) (Tabela 3). Turfas apresentam maior salinidade, em consequência, do grau de mineralização. Assim, as turfas pretas são naturalmente mais salinas do que as demais (Andriessse, 1988). No entanto, a salinidade pode ser agravada pela sucessão vertical das espécies vegetais em seus ambientes característicos. Em áreas costeiras é comum, em primeiro lugar, espécies de mangue seguidas pela transição para comunidades de água salobra, pântano de água fresca e finalmente substituídas por uma pobre vegetação ombrógena (Andriessse, 1988). Desta forma, as turfas mais decompostas, pretas, que estão nas camadas inferiores do perfil estão mais sujeitas ao acúmulo de sais provenientes da água do mar.

C1, C2 e C3 apresentam altos valores de salinidade (TTSS entre 2,00 e 2,6 kg m⁻³). Estes substratos receberam adubação de “base”, e sua utilização deve seguir a recomendação estrita do fabricante.

4.2. Parte II – Determinação da densidade dos materiais e substratos

4.2.1. Estudo 1 – Efeito de níveis de umidade na amostra na determinação da densidade seca e úmida.

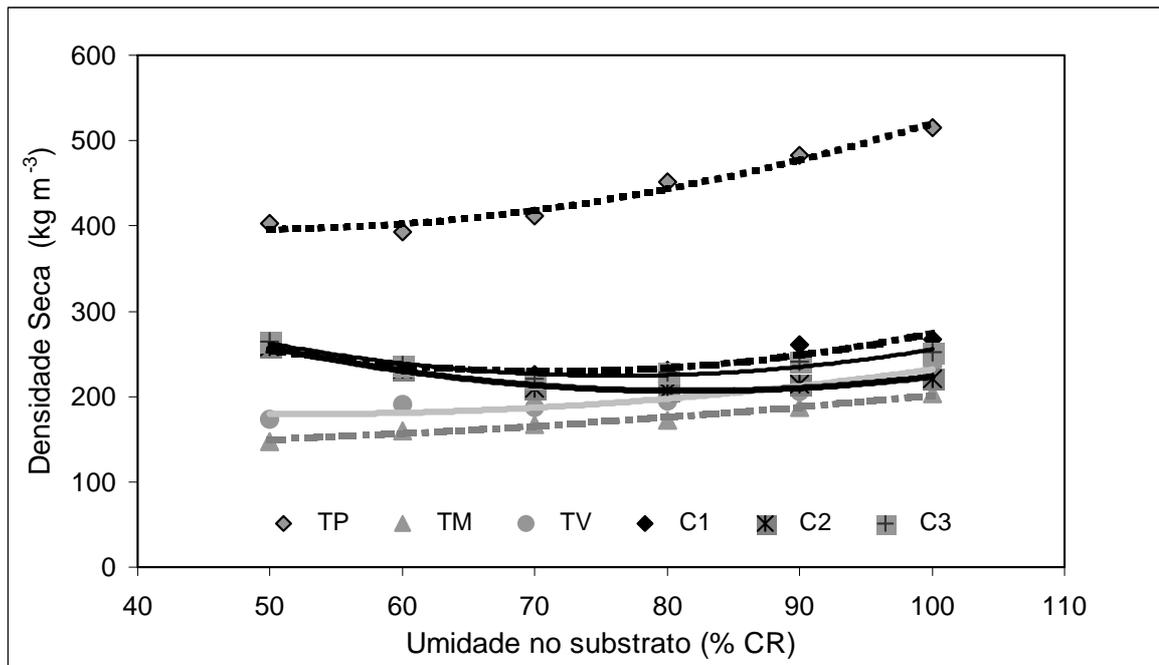
Os resultados experimentais correspondem às expectativas, ou seja, a medida que aumenta a quantidade de água na amostra aumenta, significativamente, a densidade úmida (DU) (Apêndice 3). Em todos os materiais e substratos avaliados este aumento tem uma tendência quadrática (Figura 10).



Substrato	Equação de Regressão	R ²	P < 1%
TP	$Y = 0,0358x^2 + 5,0848x + 328,08$	0,9771	0,0035
TM	$Y = 0,1223x^2 - 7,8468x + 567,91$	0,999	<0,0001
TV	$Y = 0,1739x^2 - 18,589x + 996,01$	0,9951	0,0003
C1	$Y = 0,1536x^2 - 13,329x + 813,71$	0,9892	0,0011
C2	$Y = 0,1022x^2 - 11,773x + 871,98$	0,9895	0,0011
C3	$Y = 0,1365x^2 - 13,696x + 878,38$	0,9903	0,0010

Figura 10. Efeito da umidade volumétrica inicial (50, 60, 70, 80, 90 e 100% da Capacidade de Recipiente) nas amostras sobre a Densidade Úmida, obtida pelo método “UFRGS”, da Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), *in natura*, Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Na análise da densidade seca (DS) também é possível perceber que a quantidade de água contida inicialmente na amostra modifica, significativamente, a quantidade de massa seca (sólidos) da amostra (Apêndice 3). Em todos os materiais e substratos a resposta tem tendência quadrática (Figura 11).



Substrato	Equação de Regressão	R ²	p
TP	$Y = 0,0458x^2 - 4,3736x + 500,03$	0,974	0,0042 (p < 1%)
TM	$Y = 0,0083x^2 - 0,1948x + 138,41$	0,9823	0,0024 (p < 1%)
TV	$Y = 0,0224x^2 - 2,3169x + 239,13$	0,9104	0,0268 (p < 5%)
C1	$Y = 0,0544x^2 - 7,7615x + 506,29$	0,8481	0,0592 (p < 10%)
C2	$Y = 0,0504x^2 - 8,2306x + 542,68$	0,9741	0,0042 (p < 1%)
C3	$Y = 0,0548x^2 - 8,356x + 542,95$	0,9248	0,0207 (p < 5%)

Figura 11. Efeito da umidade volumétrica inicial (50, 60, 70, 80, 90 e 100% da Capacidade de Recipiente) nas amostras sobre a Densidade Seca, obtida pelo método “UFRGS”, da Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), *in natura*, Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Na determinação da densidade de solos, a amostra é indeformada e, neste caso, a quantidade de umidade não tem efeito sobre a densidade seca, salvo problemas de sucessivos ciclos de secagem e hidratação (Rowel, 1994). No entanto, substratos são materiais cuja estrutura não é “criada” no momento da mistura dos componentes. Ela é resultado da mistura de componentes, do enchimento de recipiente e da umidade inicial do substrato (Drzal et al., 1999).

O método “UFRGS” utilizado para determinação da densidade em substratos se baseia na auto-compactação; assim, as batidas da proveta para acomodar o material e o teor de água nas partículas, aumentam a compactação destas.

A umidade inicial presente nas partículas tem dois efeitos, aumenta o peso das partículas umas sobre as outras e aumenta a adesão entre estas. Este efeito é mais evidente nas turfas, porque estas são, individualmente, materiais compostos de partículas semelhantes, cuja acomodação se dá de maneira homogênea. Em se tratando da TP, o menor diâmetro das partículas aumenta a superfície de contato entre as partículas e a água e entre estas. Em se tratando das demais turfas as suas fibras têm alta capacidade de absorção. Assim, embora todos os materiais tenham um menor incremento da DS nos níveis intermediários de umidade, devido aos espaços ocupados por ar, nas turfas a alta capacidade de absorção (Tabela 2) conduz a um incremento mais constante da DS com o aumento da umidade na amostra.

Os materiais comerciais, compostos de partículas de formatos diferentes, apresentam arranjos diferenciados. Com menor teor de umidade, a densidade dos substratos é maior porque observa-se o efeito do peso de uma sobre a outra; com níveis de umidade intermediários, a densidade diminui, provavelmente, porque ao formar “agregados” grandes espaços devem ficar preenchidos com ar; e, quando o nível de umidade aumenta, aumenta a película de água entre as partículas, aumentando o efeito da adesão entre as partículas e, conseqüentemente a quantidade de sólidos empacotados. A forma e a capacidade de expansão das partículas também podem explicar estas mudanças na densidade. As turfas têm partículas com formas estáveis. No entanto, os substratos comerciais, possuem em sua composição vermiculita, material que

sofre quebra e expansão, modificando o arranjo entre as partículas no meio (Burés, 1997).

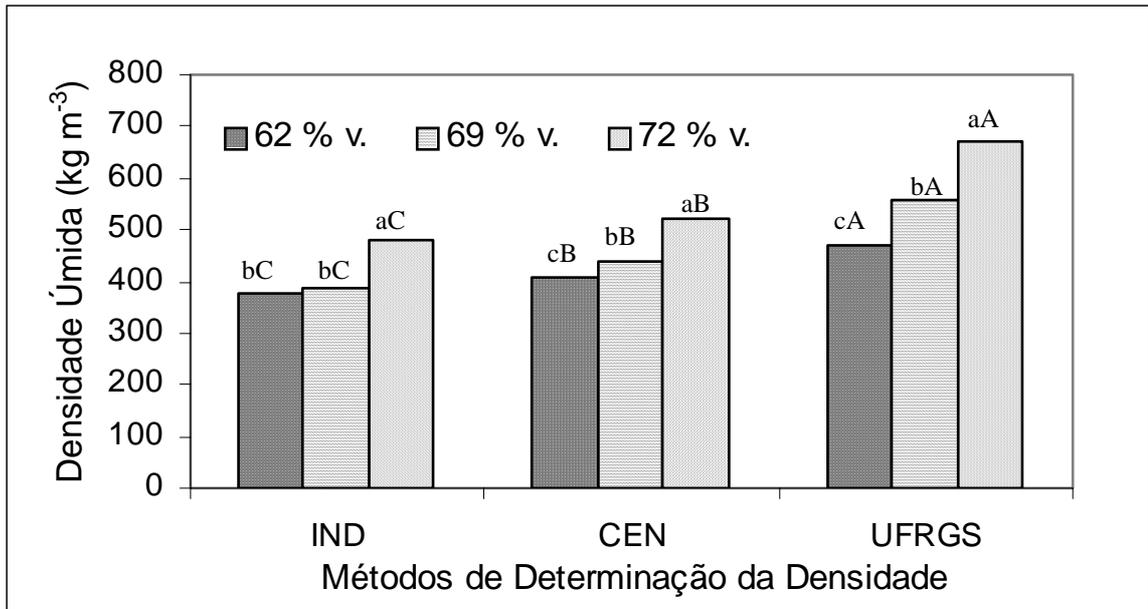
O método "UFRGS propõe proceder a análise das amostras com umidade próxima a 50% do volume. Neste caso, equivale aproximadamente, a 70 ou 80 % da capacidade de recipiente, dependendo do material. No presente estudo, valores acima de 80 % provocaram o aparecimento do excesso de água na superfície das amostras. Isto é devido ao fato de que a capacidade de recipiente é uma função também da forma e altura recipiente.

4.2.2. Estudo 2 – Comparação dos métodos para determinação da densidade da Turfa Marrom.

Há interação significativa para os valores da densidade úmida (DU) e seca (DS) entre os métodos de determinação da densidade e os níveis de umidade na amostra (Apêndice 4).

Os três métodos para determinação da densidade úmida (DU) resultam em valores significativamente diferentes (Figura 12). Com o método "UFRGS" obtêm-se valores de DU superiores ao método utilizado pela Indústria (IND) e ao adaptado do Comitê Europeu de Normatização (CEN) (Apêndice 5). Isto deve-se à maior compactação das partículas promovida pelas sucessivas quedas da proveta.

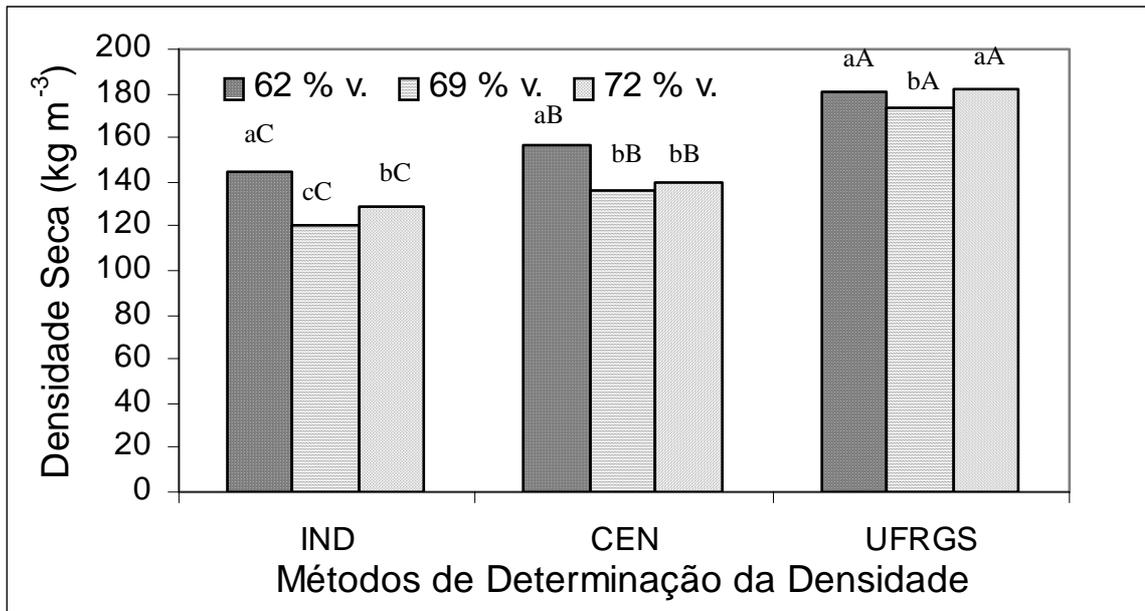
Para todos os métodos, à medida que se aumenta a umidade inicial da amostra, maior é a DU obtida (Apêndice 5). Os resultados deste estudo corroboram àqueles obtidos no estudo anterior. As diferenças entre os níveis de umidade são, significativamente, maiores para aquele método que possibilita uma maior acomodação do material ("UFRGS").



Métodos seguidos da mesma letra maiúscula e níveis de umidade seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 1\%$).

Figura 12. Influência dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e da umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) na amostra, e sobre a Densidade Úmida (DU) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Na determinação da Densidade Seca (DS) (Figura 13), o método "UFRGS" também resultou em volume de sólidos significativamente maior na amostra, nos níveis de umidade 62 e 72%, seguido do método CEN e do método IND, com 62% de umidade, respectivamente (Apêndice 6). Contrariamente ao obtido por Baumgarten (apud Baumgarten, 2002), os resultados do método da autocompactação ("UFRGS") diferem daqueles obtidos com o método da CEN. As diferenças no volume da amostra (1.000 ml), aplicado pelo referido autor, diferem do presente estudo (750 ml). O menor volume (correspondente a menor altura), neste estudo, aumentou a pressão exercida na amostra. Ao aplicar-se no volume sugerido inicialmente (1.000 ml), a pressão sobre as partículas seria menor e, conseqüentemente, a densidade também. Nesta hipótese, os valores de CEN iriam ser semelhantes àqueles obtidos no método IND.



Métodos seguidos da mesma letra maiúscula e níveis de umidade seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 1\%$).

Figura 13. Influência dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela "IND") e da umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), na amostra, e sobre a Densidade Seca (DS) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Em todos os métodos, a umidade inicial da amostra provocou a diminuição da densidade seca no nível intermediário (69 % v), sendo significativamente diferente (Apêndice 6). Nos métodos IND e CEN, a maior densidade foi obtida no nível de menor umidade inicial (62 % v.). Nestes métodos a influência da umidade é maior porque as partículas sofrem pouca compactação inicial. No nível mínimo de umidade a acomodação ocorre por efeito das partículas umas sobre as outras. No nível intermediário, o material forma agregados que ao se acomodarem mantém maiores espaços vazios entre eles, o que explica a menor DS. Com a aplicação do método utilizado pela UFRGS obtêm-se um valor de DS superior aos demais métodos, em todos os níveis de umidade aplicados (Apêndice 6), devido ao maior adensamento das partículas.

4.3. Parte III – Determinação da curva de retenção de água nos materiais e substratos.

4.3.1. Estudo 3 – Obtenção da curva de retenção de água em diferentes equipamentos.

4.3.1.1. Razão de vazios (RV)

A análise dos resultados de RV apresentou significância para a interação tripla entre equipamentos, umidade e métodos de determinação da densidade (Apêndice 7).

Os valores mais altos da RV foram obtidos quando se utilizou o equipamento Funil combinado com o método de determinação da densidade “UFRGS” nos níveis de umidade de 69 e 72% v. Quando da utilização do Cilindro de Pressão, a melhor combinação foi aquela onde se utilizou o método UFRGS e o nível de umidade 62% v. E, quando da utilização da Mesa, a melhor combinação foi aquela onde se utilizou o método UFRGS e os níveis de umidade de 69 e 72% v. O Cilindro de Pressão apresentou a maior variabilidade entre os resultados demonstrando sofrer maior dependência das condições de preparo da amostra. O método de determinação UFRGS proporciona os resultados mais elevados de RV, porque propicia uma maior compactação das partículas e a expulsão do ar presente entre estas. No entanto estes resultados variam dependendo do nível de umidade na amostra e do equipamento utilizado.

Considerando a DP da TM ($1,04 \text{ g cm}^{-3}$) e a sua PT de 86% do volume, a razão de vazios (RV) $[PT = 1 - DS (147) / DP (1040)]$ é 6,14. Assim, a análise dos resultados (Tabela 4) demonstra que os valores de RV estão subestimados, evidenciando-se a hipótese da TM não ter sido suficientemente saturada. Por ser, a turfa, material com alta porosidade interna, estes não devem ter sido completamente preenchidos durante o período de saturação.

Tabela 4. Efeito da interação tripla entre níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), sobre a razão de vazios (RV) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Umidade	Mét. Det. Dens.	Equipamentos		
		Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
62	IND	2,6 a (B)	4,0 a (BCD)	2,4 a (B)
	CEN	2,9 a (B)	4,8 a (ABC)	3,1 a (AB)
	UFRGS	4,7 a (AB)	7,0 a (A)	5,0 a (AB)
69	IND	1,8 a (B)	2,3 a (CD)	2,4 a (B)
	CEN	2 a (B)	1,7 a (D)	2,7 a (B)
	UFRGS	6,5 a (A)	5,8 a (AB)	5,8 a (A)
72	IND	2,7 a (B)	3,0 a (BCD)	2,2 a (B)
	CEN	2,8 a (B)	4,0 a (BCD)	2,7 a (B)
	UFRGS	7 a (A)	2,6 b (CD)	5,9 a (A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

4.3.1.2. Espaço de aeração (EA)

A análise dos resultados de EA apresentou significância para a interação tripla entre equipamentos, umidade e métodos de determinação da densidade (Apêndice 7).

Nas umidades de 69 e 72 %, os métodos de determinação da densidade testados geraram índices de EA significativamente semelhantes entre si, excetuando-se quando a amostra foi processada pelo método IND a 69 % de umidade, onde apresentou menor EA no Funil de Tensão (Tabela 5). No entanto, quando a amostra apresentava 62 % de umidade, para todos os métodos, o maior EA foi obtido nos Cilindros de Pressão.

Dentro dos equipamentos para obtenção da curva, o Funil extrai o mesmo percentual de água das amostras independentemente da umidade e do

método de determinação da densidade. A Mesa apresentou resultados variáveis quando da aplicação do menor nível de umidade e do método IND combinado com 69 %. O Cilindro de Pressão apresentou a maior variabilidade entre os resultados, demonstrando sofrer maior impacto dependendo das condições de preparo da amostra.

Tabela 5. Efeito da interação tripla entre níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") e equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), sobre o espaço de aeração ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Umidade	Mét. Det. Dens	Equipamentos		
		Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
62	IND	0,13 b (A)	0,40 a (A)	0,10 b (B)
	CEN	0,13 a (A)	0,21 a (BC)	0,12 a (AB)
	UFRGS	0,11 b (A)	0,26 a (BC)	0,11 b (B)
69	IND	0,12 b (A)	0,27 a (BC)	0,23 ab (A)
	CEN	0,13 a (A)	0,08 a (E)	0,19 a (AB)
	UFRGS	0,11 a (A)	0,17 a (CDE)	0,15 a (AB)
72	IND	0,19 a (A)	0,29 a (AB)	0,18 a (AB)
	CEN	0,17 a (A)	0,20 a (BCD)	0,17 a (AB)
	UFRGS	0,13 a (A)	0,10 a (DE)	0,15 a (AB)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

4.3.1.3. Água disponível (AD)

Na análise dos resultados da AD, verificou-se significância estatística para as interações duplas entre equipamentos e umidade, equipamento e métodos de determinação da densidade e, entre método de determinação da densidade e umidade (Apêndice 7).

Na interação equipamento com níveis de umidade, verificou-se que a maior liberação de AD ocorre no Funil e amostras com nível de umidade de 62 % do volume. De forma geral, o Funil proporcionou uma maior sucção de água, a Mesa de Tensão a menor, com os Cilindros apresentando valores intermediários, para todos os níveis de umidade inicial testados (Tabela 6).

A interação equipamentos com método de determinação da densidade mostrou um comportamento semelhante, com o Funil proporcionando maiores valores de AD, seguido dos Cilindros. Na Mesa, AD foi menor do que nos outros equipamentos, independentemente do método testado (Tabela 6). O método UFRGS sobressaiu-se de IND e CEN, nos Cilindros e no Funil, sendo que a combinação Funil e UFRGS apresentou valor significativamente superior.

Tabela 6. Efeito das interações duplas entre equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) e métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") sobre a água disponível ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Umidade	Equipamentos		
	Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
62	0,28 a (A)	0,13 b (A)	0,07 c (A)
69	0,23 a (B)	0,12 b (A)	0,05 c (A)
72	0,20 a (B)	0,05 b (B)	0,05 b (A)
Mét. Det. Dens.	Equipamentos		
	Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
IND	0,22 a (B)	0,10 b (B)	0,05 c (A)
CEN	0,20 a (B)	0,07 b (B)	0,05 b (A)
UFRGS	0,29 a (A)	0,13 b (A)	0,07 c (A)
Umidade	Mét. Det. Densidade		
	IND	CEN	UFRGS
62	0,16 a (A)	0,15 a (A)	0,17 a (A)
69	0,12 b (B)	0,10 b (B)	0,18 a (A)
72	0,10 b (B)	0,08 b (B)	0,13 a (B)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

Na interação método de determinação da densidade com níveis de umidade, o método UFRGS apresentou maior valor de AD nas umidades de 69 e 72 %, enquanto não houve diferenças significativas nos outros métodos, para estas umidades. Na menor umidade presente nas amostras (62 % v.) os métodos equipararam-se.

4.3.1.4. Água remanescente (AR₁₀₀)

Também na análise da AR₁₀₀ encontrou-se significância nas interações duplas entre equipamentos e níveis de umidade, equipamentos e métodos de determinação da densidade e, entre métodos e níveis de umidade (Apêndice 7).

Na interação equipamentos e níveis de umidade (Tabela 7), os valores mais altos de AR₁₀₀ ocorreram no Funil combinado com a umidade de 72% e na Mesa, quando a umidade inicial na amostra era de 62% do volume. De maneira geral, os maiores valores de Ar₁₀₀ ocorreram na Mesa e nos Cilindros, isto significa que estes equipamentos proporcionaram as piores sucções, quando comparados ao Funil.

Na interação equipamentos com métodos, o método UFRGS, na Mesa, e IND e CEN, nos Cilindros, apresentaram valores significativamente superiores (Tabela 7). Nos cilindros, não houve diferença dos valores de AR₁₀₀ para os métodos testados; no Funil e na Mesa, o método UFRGS apresentou valores superiores ao CEN e ao IND, respectivamente. Novamente, numa análise mais abrangente, os Cilindros e a Mesa apresentaram os valores mais altos de AR₁₀₀, quando comparados com o Funil.

A análise da interação entre métodos de determinação da densidade e níveis de umidade, para todas as umidades, o método UFRGS apresentou os maiores valores de AR₁₀₀. O método IND não apresentou diferenças nos níveis de umidade aplicados às amostras. No método CEN e UFRGS, a maior umidade

presente inicialmente na amostra favoreceu a maior retenção de água a 100 cm (100 hPa). Os maiores valores de AR_{100} ocorreram quando se preparou a amostra pelo método da UFRGS combinado com a umidade de 72, 69 e 62 %, respectivamente.

O teor de AR_{100} é maior quando o método de determinação da densidade é "UFRGS". Isto se deve ao maior volume de partículas acomodadas e, conseqüentemente, a maior microporosidade "criada" no meio.

Tabela 7. Efeito das interações duplas entre equipamentos (Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão), níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) e métodos de determinação da densidade (utilizado na UFRGS "UFRGS", adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND") sobre a água remanescente a 100 hPa ($m^3 m^{-3}$) da Turfa Marrom *in natura* (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Umidade	Equipamentos		
	Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
62	0,36 c (B)	0,50 b (B)	0,58 a (A)
69	0,37 b (B)	0,51 a (AB)	0,53 a (B)
72	0,42 b (A)	0,55 a (A)	0,54 a (B)
Mét. Det. Dens.	Equipamentos		
	Funil de Tensão	Cilindros de Pressão	Mesa de Tensão
IND	0,33 c (C)	0,53 a (A)	0,48 b (C)
CEN	0,37 b (B)	0,52 a (A)	0,53 a (B)
UFRGS	0,45 c (A)	0,51 b (A)	0,65 a (A)
Umidade	Mét. Det. Densidade		
	IND	CEN	UFRGS
62	0,46 b (A)	0,48 ab (AB)	0,51 a (B)
69	0,43 b (A)	0,45 b (B)	0,53 a (AB)
72	0,45 c (A)	0,50 b (A)	0,56 a (A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

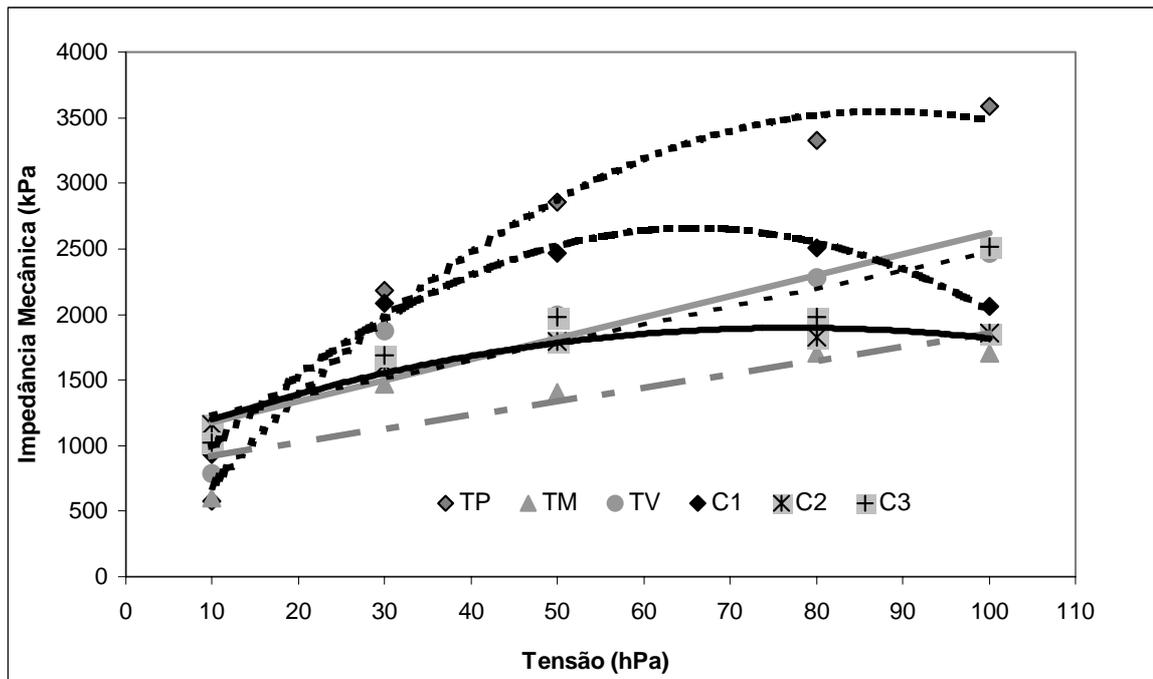
4.4. Parte IV – Determinação da impedância mecânica

4.4.1. Estudo 4 – Análise da impedância mecânica de materiais e substratos submetidos a diferentes tensões de umidade

A análise estatística da impedância mecânica (IM) demonstra haver interação significativa entre materiais / substratos e as tensões de umidade na amostra (Apêndice 8).

Há aumento significativo da impedância mecânica com a redução da quantidade de água nas amostras para todos os materiais (Figura 14). Para TP, C1 e C2, que apresentam tendência quadrática, a maior IM (ponto de máxima inflexão da curva = $-b/2c$) ocorre nas tensões entre 60 e 100 hPa (TP = 87,84; C1 = 65,86 e C2 = 77,31). Para TM, TV e C3 a tendência de aumento da impedância mecânica é linear. A menor impedância, para todos os materiais, é verificada à tensão de 10 hPa e a maior amplitude se dá entre a tensão de 10 e 30 hPa. Na tensão 10 hPa há o maior volume de água livre no meio, permitindo o deslocamento das partículas à passagem da sonda. Também para as raízes da planta é o ponto de menor resistência, coincidindo com o valor da capacidade de recipiente, volume de água recomendado para se manter em recipientes de cultivo. Contrariamente, quanto maior a tensão, menor volume de água no meio, e maior o atrito da sonda com as partículas do material ou substrato. Estes resultados foram verificados por Kämpf et al. (1999).

TP tem a maior impedância mecânica entre os materiais e substratos estudados. Isto se verifica, porque a TP tem a maior densidade, conseqüentemente maior quantidade de partículas, oferecendo maior resistência à passagem da sonda.

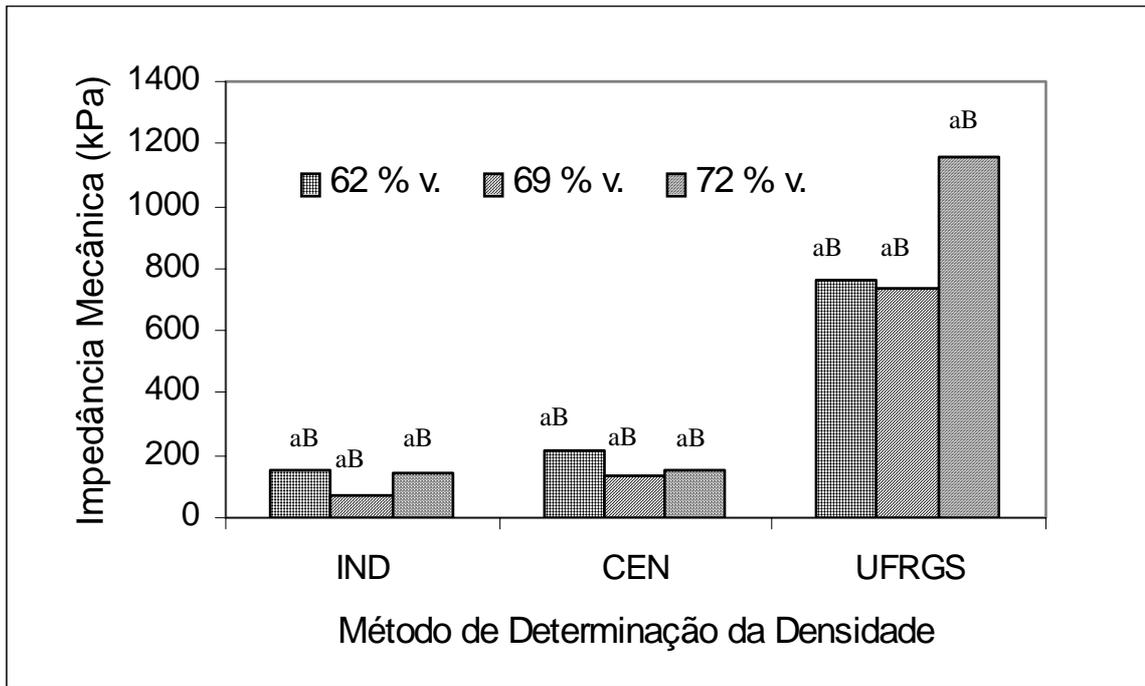


Substrato	Equação de Regressão	R ²	p
TP	$Y = -0,4712x^2 + 82,784x - 88,526$	0,9816	0,0184 (p < 5%)
TM	$Y = 10,386x + 815,33$	0,6995	0,0775 (p < 10%)
TV	$Y = 5,30x + 337,98$	0,7957	0,0419 (p < 5%)
C1	$Y = -0,5348x^2 + 70,447x + 336,29$	0,9857	0,0143 (p < 5%)
C2	$Y = -0,154x^2 + 23,811x + 977,23$	0,962	0,0385 (p < 5%)
C3	$Y = 13,806x + 1093,5$	0,8614	0,0229 (p < 5%)

Figura 14. Impedância mecânica (kPa) dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP); Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais Comercial 1 (C1); Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3), submetidos a tensões de 10, 30, 50, 80 e 100 cm de coluna d'água (10, 30, 50, 80 e 100 hPa) (média de cinco amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

4.4.2. Estudo 5 – Análise da impedância mecânica no Estudo 2.

A análise dos resultados da impedância mecânica mostra haver interação significativa entre métodos de determinação da densidade e níveis de umidade na amostra (Apêndice 9).



Métodos seguidos da mesma letra maiúscula e níveis de umidade seguidos da mesma letra minúscula, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey ($p < 1\%$).

Figura 15. Influência da umidade inicial da amostra (62, 69 e 72% volume) e dos métodos de determinação da densidade (utilizado pela UFRGS "UFRGS"; adaptado do Comitê Europeu de Normatização "CEN" e utilizado pela Indústria "IND"), sobre a impedância mecânica da turfa marrom *in natura* (kPa) (média de cinco amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Não houve diferenças significativas dos valores da IM quando se utilizou os métodos de determinação da densidade IND e CEN, independente da umidade inicial na amostra (Figura 15). Quando se utilizou o método UFRGS, a maior IM ocorreu naquela amostra preparada inicialmente com maior teor de umidade. Para todos os níveis de umidade aplicados às amostras, o método UFRGS apresentou a maior compactação e, conseqüentemente, a maior IM. Embora verifique-se uma grande amplitude entre os resultados da IM do método UFRGS e dos métodos IND e CEN, estes são semelhantes àqueles encontrados no Estudo 4 para a umidade a tensão de 10 hPa, ou seja, próxima ao teor de umidade na capacidade de recipiente.

Os resultados encontrados neste estudo, corroboram àqueles obtidos no estudo anterior (Estudo 4), ou seja, quanto maior a densidade, obtida pelo método “UFRGS” e umidade inicial na amostra de 72 % v., maior a impedância mecânica (IM) do meio à passagem da sonda. As diferenças de IM entre as umidades iniciais, dentro dos métodos IND e CEN, correspondem às diferenças de densidade seca já analisadas.

5. CONCLUSÕES

Respondendo às hipóteses levantadas inicialmente pode-se afirmar:

- A umidade inicial presente na amostra interfere na determinação da densidade seca de materiais componentes e de substratos, modificando a quantidade de sólidos empacotados.
- Os métodos usados para determinar a densidade de substratos interferem na quantidade de sólidos empacotados.
- Os equipamentos utilizados para determinação da curva de retenção de água de substratos apresentam resultados diferentes entre si, para a mesma densidade e mesmo teor de umidade inicial na amostra.
- A densidade e a tensão de umidade na amostra influem significativamente na impedância mecânica de substratos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A constatação de que a umidade interfere no valor da densidade é de grande importância, principalmente, para a comercialização do produto. O consumidor deve pagar efetivamente pela quantidade mínima de água, presente no produto, necessária para manter a melhor condição do substrato e, conseqüentemente os laboratórios devem utilizar estes mesmos níveis para proceder às análises.

- O nível de umidade da turfa marrom, utilizado no presente estudo (62, 69 e 72% do volume), embora obtido visualmente, está próximo à capacidade de recipiente (68% da Capacidade de Recipiente), e, muito provavelmente, ao aplicado pelo produtor no momento do preparo dos substratos para preenchimento dos recipientes.

- A escolha de um mesmo método ou similares para a determinação da densidade é fundamental para não haver “ruído” na comunicação entre os vários elos da cadeia. O produtor de plantas sempre deseja saber “quantos saquinhos ou vasos ele enche com um saco de substrato?”; o laboratório deseja um método rápido e de alta repetibilidade; a indústria necessita de praticidade. A sugestão da adoção do método recomendado pelo Comitê Europeu de Normatização, para aplicação na rotina dos laboratórios oficiais e para determinação da densidade que constará nos rótulos das embalagens dos

substratos comerciais, facilitaria a troca de informações dentro da cadeia, na medida em que coincide com a prática das empresas (método IND). Ainda que a densidade obtida seja diferente daquela usada pelo produtor de plantas, quando do preenchimento dos recipientes de cultivo, evita-se ruído na comunicação entre usuário e fabricante, em vista da semelhança entre os resultados dos dois métodos. No entanto, há necessidade de se providenciar equipamentos adequados e difundi-los entre os envolvidos.

- É importante ressaltar que tanto o método IND quanto o CEN apresentam maior amplitude nos resultados em consequência do conteúdo de umidade, enquanto o método UFRGS (adaptado VDLUFA-Alemanha) apresenta resultados significativamente semelhantes para diferentes teores de umidade na amostra. Desta forma, a utilização do método UFRGS para fins de fiscalização e comercialização de substratos possibilita resultados mais confiáveis, embora esta informação contrarie a tendência européia quanto a normatização dos métodos de análise para substratos.

- A pesquisa tem trabalhado, indistintamente, com a Mesa e o Funil de Tensão. Os resultados encontrados neste trabalho não devem servir para justificar a não utilização da mesa que é um equipamento de menor custo e, conseqüentemente, de maior difusão. É necessário substituir o papel filtro, até então utilizado, por outro papel ou material com características mais adequadas às necessidades. Isto também é verdadeiro para os Cilindros de Pressão. A utilização de filtros mais adequados pode torna-lo um equipamento barato e de fácil aplicação. A sua utilização pode possibilitar, ainda, a realização de outras análises de forma conjunta, como valor de pH e salinidade. A amostra saturada dentro do cilindro pode ser trabalhada de maneira semelhante ao método da pasta saturada, com a simples coleta da água drenada.

- A observação do nível de água, mantido no cultivo em recipientes, tem outras influências sobre o desenvolvimento das raízes além da sua interferência na disponibilidade de nutrientes, por exemplo. Reduções da água no substrato podem afetar a expansão das raízes de forma mais expressiva pelo aumento da impedância mecânica do meio. Este efeito será maior quanto menor for o recipiente e conseqüentemente o conteúdo de água no meio.

- A impedância mecânica pode ser uma ferramenta adicional para análise do comportamento de substratos nas condições de cultivo e pode, eventualmente, contribuir para explicar problemas no cultivo de espécies com sistema radicular mais sensível e/ou no desenvolvimento de mudas. No entanto, para corroborar os estudos de impedância realizados em laboratório é necessário contrapô-los efetivamente à resposta das plantas durante o cultivo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AENDEKERK, Th. G. L.; AENDEKERK, G.L.; CEVAT, H.; DOLMANS, N.; ELDEREN, C. van; KIPP, J.A.; KREIJ, C. de; SONNEVELD, C.; VERHAGEN, J.B.G.M.; WEVER, G. **International Substrate Manual**. Doetinchem: Elsevier International Business, 2000. 94p.

ANDRIESSE, J. P. **Nature and management of tropical peat soils**. Roma: FAO, 1988. 165p. (FAO Soils Bulletin, 59).

BACKES, M. A. **Composto de Lixo Urbano como Substrato para Plantas Ornamentais**. 1989. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

BARBOSA, J. G. **Produção de crisântemo para corte em cultivo sem solo**. 1996. 85 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrates for plants. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. 122p. (Documentos IAC, 70).

BELLÉ, S. **Uso da Turfa “Lagoa dos Patos”(Viamão/RS) como Substrato Hortícola**. 1990. 143 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

BELLÉ, S. **Efeito de Sistemas de Irrigação e de Concentrações de Adubação Complementar na Produção de Gérbera em Vaso**. 1998. 115 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, n.3, p. 341-358, 1990.

BENNIE, A. T. P. Growth and Mechanical Impedance. In.: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant Roots**. The Hidden Half. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 393-413.

BRANDÃO, C. L. **Estudos sobre Argila Expandida Rígida (cinasita) como Substrato para Hidrocultura**. 1991. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

BUNT, A. C. Some physical properties of pot-plant composts and their affect on plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 13, p. 322-332, 1961.

BUNT, A. C. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 38, p. 1954-1954, 1973.

BUNT, A. C. Physical properties of mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.150, p.143-153, 1984.

BURÉS, S. **Sustratos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, 1997. 341p.

CALGARO. S. A demanda em substrato sob o ponto de vista dos usuários: no setor florestal. 2000 In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substrato para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

CARON, J.; NKONGOLO, V. K. N. Aeration in growing media: recent developments. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.481, p.545-551, 1997.

COMISSÃO nacional de normatização sobre substrato para plantas. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1999. (Relatório I). Não publicado.

COMISSÃO nacional de normatização sobre substrato para plantas. Santa Cruz do Sul: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 2000. (Relatório II). Não publicado.

COMISSÃO nacional de normatização sobre substrato para plantas. Campinas: Ministério da Agricultura, 2000. (Relatório III). Não publicado.

COMISSÃO nacional de normatização sobre substrato para plantas. Florianópolis: Ministério da Agricultura, 2000. (Relatório IV). Não publicado.

COMISSÃO nacional de normatização sobre substrato para plantas. Campinas: Ministério da Agricultura, 2002. (Relatório V). Não publicado.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

De BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 26, p.37-44, 1972.

De BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. Method for measuring the water release curve of organic substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 37, p.2054-2062, 1974.

DEXTER, A. R. Compression of soil around roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 97, n.3, p.401-406, 1987.

DRZAL, M. A.; FONTENO, W. C., CASSEL, D. K. Pore fraction analysis: a new tool for substrate testing. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 481, v. 1, p. 43-54, 1997.

FERMINO, M. H. **Aproveitamento de Resíduos Industriais e Agrícolas como Alternativas de Substratos Hortícolas**. 1996. 91 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FERMINO, M. H. **Hortitec**. Holambra, SP: [s.n.], 1999. Relato de Visita [6ª Exposição Técnica de Horticultura].

FONTENO, W. C. Na approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Substrates in Horticulture*. **Acta Horticulture**, Wageningen, n. 238, p. 67-74, 1989.

FONTENO, W. C. Problems & considerations in determining physical properties of horticultural substrates. *Substrates in Horticulture*. **Acta Horticulture**, Wageningen, n. 342, p. 197-204, 1993.

FONTENO, W. C. Growing Media: Types and Physical/Chemical Properties. In.: REED, D. W. (ed.) **A Growers Guide to Water, Media, and Nutrition for Greenhouse Crops**. Batavia: Ball, 1996. Cap. 5: 93-122.

FONTENO, W. C.; BILDERBACK, T. E. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 118, n. 2, p. 217-222, 1993.

FONTENO, W. C.; CASSEL, D. K.; LARSON, R. A. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 106, n. 6, p. 736-741. 1981.

GABRIËLS, R. Quality of composts and EC legislation. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 469, v.1, p.187-193, 1998.

GAULAND, D. C. S. P. **Relações hídricas em substratos à base de turfas sob o uso dos condicionadores casca de arroz carbonizada ou queimada**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

GRANT, C. D.; KAY, B. D.; GROENEVELT, P. H.; KIDD, G. E.; THURTELL, G. W. Spectral analysis of micropenetrometer data to characterize soil structure. **Canadian Journal Soil Science**, Charlottetown, v. 65, n.3, p. 789-804, 1985.

GROLLI, P. R. **Composto de Lixo Domiciliar Urbano como Condicionador de Substratos para Plantas Arbóreas**. 1991. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

GRUSZYNSKI, C. **Resíduo agro-industrial “casca de tungue” como componente de substart para plantas**. 2002. 100 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GÜNTHER, J. Analytics of substrates and problems by transmitting the results into horticultural practice. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 150, p. 33-40, 1984.

HANDRECK, K. A. Particle-size and the physical-properties of growing media for containers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 14, n. 3, p. 209-222, 1983.

HANDRECK, K. A.; BLACK, N. D. **Growing Media** for ornamental plants and turf. Sydney: Unsw Press, 1999. 448p.

HARTGE, K. H.; BOHNE, H. P.; SCHREY, H. P.; EXTRA, H. Penetrometer measurements for screening soil physical variability. **Sóil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 5, n.4, p. 343-350, 1985.

HAYNES, R. J.; GOH, K. M. Evaluation of potting media for comercial nursery production of container-grow plants: iv – Physical properties of a range amendment peat-based media. **N. Z. Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 21, n.3, p. 449-456, 1978.

HEISKANEN, J. Physical properties of two-component growth media based on *Sphagnum* peat and their implications for plant-available water and aeration. **Plant and Soil**, The Hague, v. 172, p.45-54, 1995.

HOFFMANN, G. Verbindliche Methoden zur Untersuchung von TKS und Gartnerischen Erden. **Mitteilubngen der VDLUFA**, Heft, v. 6, p. 129-153, 1970.

JUNG, M.; KÄMPF, A. K. **Caracterização e aproveitamento hortícola de solos turfosos no Rio Grande do Sul**. Relatório Técnico-Científico. Porto Alegre: [s.n.], 1986.

KÄMPF, A. N. **Produção Comercial de Plantas Ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KÄMPF, A. N.; DAUDT, R. H. S. Diagnóstico da floricultura no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p.561-563, 1999.

KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H.(Eds.) **Substrato para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

KÄMPF, A. N.; HAMMER, P. A.; KIRK, T. Effect the packing density on the mechanical impedance of root media. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 481, v. 2, p. 689-694, 1999 (a).

KÄMPF, A. N.; HAMMER, P. A.; KIRK, T. Impedância mecânica em substratos hortícolas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2157-2161, 1999 (b).

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 263p.

MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. 122p. (Documentos IAC, 70).

MARTÍNEZ, P. F.; BURÉS, S.; BLANCA, F.; YUSTE, M. P.; VALERO, J. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 294, p. 241-248, 1991.

MICHEL, J. C.; RIVIÈRE, L. M. Characterisation of the wettability of organic substrates (peat and composted bark) by adsorption measurements. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 481, v. 1, p. 129-135, 1999.

MILKS, R. R.; FONTENO, W. C.; LARSON, R. A. Hydrology of horticultural substrates: I. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 114, n. 1, p. 48-52, 1989 (a).

MILKS, R. R.; FONTENO, W. C.; LARSON, R. A. Hydrology of horticultural substrates: II. Predicting physical properties of media in containers. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 114, n. 1, p. 53-56. 1989 (b).

MILKS, R. R.; FONTENO, W. C.; LARSON, R. A. Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Alexandria, v. 114, n. 1, p. 57-61. 1989 (c).

MINER, A. M. **Substratos: propiedades y caracterización**. Madrid: Ediciones Mundi-Prens. 1994. 172p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Inspeção e Fiscalização da produção e do Comércio de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes, Destinados à Agricultura**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1982. 86p.

MÜLLER, J. J. V. A demanda em substrato sob o ponto de vista dos usuários: na olericultura. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substrato para plantas: A base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

OLIVEIRA, L. C. **Caracterização físico-química da casca e da serragem de eucalipto para uso como substrato para plantas**. 2000. 43 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PENNINGSFELD, F. Kultur substrate fur den Gartenbau, besonders in Deutschland: Ein Kritischer Überblick. **Plant and Soil**, The Hague, v. 75, p. 269-281, 1983.

PUCHALSKI, L. E. A.; KÄMPF, A. N. Efeito da altura do recipiente sobre a produção de mudas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. em plugs. 2000. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substrato para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Pflanzenernährung im Gartenbau**. Stuttgart: Ulmer, 1985. 352p.

ROWEL, D. L. **Soil Science**: Methods & Applications. New York: Longman Group, 1994. 350p.

SCHIE, W. VAN. Standardization of substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 481, v. 1, p. 71-77, 1999.

SILVA, D. A demanda em substrato sob o ponto de vista dos usuários: na fumicultura. 2000 In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substrato para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 2000. 312p.

SPOMER, L. A. Two classrom exercises demonstrating the pattern of container soil water distribution. **Hort Science**, Alexandria, v. 9, n. 2, p. 152-153, 1974.

SPOMER, L. A. Small soil containers as experimental tools: soil water relations. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, n. 1, p. 21-26. 1975.

VERDONCK, O.; GABRIELS, R. Substrate requeriments for plantas. **Acta Horticulturae**, Wageningwn, n. 221, p. 19-23, 1988.

WALLER, P. L.; WILSON, G. C. S. Evaluation of growing media for consumer use. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 150, p. 51-58, 1984.

WEVER, G.; EYMAR, E. Characterisation of the hydrophysical and machanical properties of pressed blocks for transplanting. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 481, v. 1, p. 111-119, 1999.

WHITE, J. W.; MASTALERZ, J. W. Soil moisture as related to "Container Capacity". **Proceedings of the American Society for Horticulturae Science**, Geneva, v. 89, p. 758-765, 1966.

WHITELEY, G. M.; UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 61, n.3, p. 351-364, 1981.

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Análise de variância da distribuição (percentual) do tamanho de partículas dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP), Turfa Marron (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3), nas diferentes malhas (3,35; 2,00; 1,00; 0,60; 0,106 mm) (amostra = 200g). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio
Material/Substrato	5	0,0360 ns
Malha	4	43,9619 **
Material/Substrato * Malha	20	1,4468 **
Resíduo	30	0,0821
CV (%)		6,8397
DMS		0,2865

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

ns = não significativo ao nível de 1% probabilidade (Teste F)

APÊNDICE 2. Distribuição (percentual) do tamanho de partículas dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM) e Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3), nas diferentes malhas (3,35; 2,00; 1,00; 0,60; 0,106 mm) (amostra = 200g). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Materiais / Substratos	Malhas (mm)				
	>0,106 <0,60	>0,60 <1,00	>1,00 <2,00	>2,00 <3,35	>3,35 <5,00
TP	14,68 b(A)	33,82 a(A)	31,45 a(C)	19,26 b(C)	0,78c(B)
TV	12,58 c(A)	15,98bc(B)	50,62a(AB)	20,01 b(C)	0,8 d(B)
TM	10,03 d(A)	18,81 c(B)	43,61 a(B)	26,56 b(B)	1,0 e(B)
C1	4,23 c(B)	15,55 b(B)	49,62 a(A)	25,57b(BC)	5,02 c(A)
C2	2,7 d(B)	19,39c(BC)	51,87a(AB)	21,50b(BC)	4,54 d(A)
C3	1,17 d(B)	9,99 c(C)	45,63a(AB)	36,52 b(A)	6,69 c(A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

APÊNDICE 3. Análise de variância sobre o efeito dos níveis de umidade inicial (50, 60, 70, 80, 90 e 100 % da capacidade de recipiente) dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP), Turfa Marrom TM, Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais Comercial 1 (C1), Comercial 2 (C2) e Comercial 3 (C3) sobre a densidade úmida (DU) e seca (DS). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio	
		DU	DS
Material/Substrato	5	161317,85**	111826,60**
Umidade	5	287618,44**	3477,14**
Material/Substrato * Umidade	25	6099,22**	977,65**
Resíduo	36	242,10	24,71
CV (%)		2,21	1,98
DMS		15,56	4,97

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

APÊNDICE 4. Análise de variância sobre o efeito dos níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume) no material Turfa Marron *in natura* -TM sobre a determinação da densidade úmida (DU) e seca (DS) por diferentes métodos (adaptado da Comissão de Normatização - CEN, utilizado pela Indústria - IND, e na utilizado na UFRGS - UFRGS). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio	
		DU	DS
Umidade	2	45040,64**	664,26**
Mét. Det. Densidade	2	56234,29**	5328,26**
Umidade * Mét. Det. Densidade	4	2397,44**	85,31**
Resíduo	18	66,94	6,47
CV (%)		1,71	1,68
DMS		8,18	2,54

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

APÊNDICE 5. Influência da umidade inicial (62, 69 e 72 % do volume), na amostra, e do método de determinação da densidade [Utilizado pelo Laboratório de Biotecnologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS (UFRGS); Adaptado da Comissão Européia de Normatização (CEN) e utilizado pela Indústria (IND)], sobre a Densidade Úmida (DU) da Turfa Marrom *in natura* (n=2). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Método de Determinação da Densidade	Umidade Inicial (% volume)		
	62	69	72
IND	376 b (C)	389 b (C)	478 a (C)
CEN	407 c (B)	437 b (B)	519 a (B)
UFRGS	471 c (A)	559 b (A)	672 a (A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

APÊNDICE 6. Influência da umidade inicial (62, 69 e 72 % do volume), na amostra, e do método de determinação da densidade [Utilizado pelo Laboratório de Biotecnologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS (UFRGS); Adaptado da Comissão Europeia de Normatização (CEN) e utilizado pela Indústria (IND)], sobre a Densidade Seca (DS) da Turfa Marrom *in natura* (n=2). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Método de Determinação da Densidade	Umidade Inicial (% volume)		
	62	69	72
IND	144 a (C)	121 c (C)	129 b (C)
CEN	156 a (B)	136 b (B)	140 b (B)
UFRGS	181a (A)	173 b (A)	181 a (A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

APÊNDICE 7. Análise de variância do efeito dos níveis de umidade inicial (62, 69 e 72% do volume), diferentes densidades (utilizado na UFRGS –UFRGS-, adaptado da Comissão Europeia de Normatização –CEN- e utilizado pela Indústria –IND) e equipamentos ((Mesa de Tensão, Funil de Büchner e Cilindros de Pressão) sobre a razão de vazios (RV), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível CAFD), água tamponante (AT) e água remanescente a 100 cm (AR100), no material Turfa Marrom *in natura* -TM. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios			
		RV	EA	AD	AR ₁₀₀
Equipamento	2	0,515	343,379**	1619,267**	1452,895**
Umidade	2	1,828*	12,570	144,863**	50,407**
Equipamento * Umidade	4	3,910**	173,916**	25,12**	45,615**
Mét. Det. Densidade	2	47,825**	254,912**	135,497**	357,223**
Equipamento * Mét. Det. Densidade	4	1,648**	111,760**	22,543**	151,060**
Umidade * Mét. Det. Densidade	4	1,911**	21,398**	15,753**	16,111**
Equipamento * Umidade * Mét. Det. Densidade	8	2,058**	22,387**	4,264ns	5,859ns
Resíduo	27	0,399	5,491	2,313	3,203
CV (%)		16,993	13,833	11,629	3,694
DMS		0,631	2,343	1,521	1,79

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

ns = não significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

APÊNDICE 8. Análise de variância da impedância mecânica (kPa) dos materiais *in natura* Turfa Preta (TP), Turfa Marrom (TM), Turfa Vermelha (TV), e dos substratos comerciais, Comercial 1 (C1), Comercial (C2) e Comercial 3 (C3), submetidos a diferentes tensões (10, 30, 50, 80 e 100 hPa). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio
Substrato	5	3591232,68**
Tensão	4	11226083,12**
Substrato * Tensão	20	618011,24**
Resíduo	120	67748,31
CV (%)		13,86
DMS		260,29

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

APÊNDICE 9. Análise de variância da impedância mecânica (kPa) do material Turfa Marrom *in natura*, submetido a diferentes níveis de umidade inicial (62, 69, 72 % do volume) e diferentes métodos de determinação da densidade [Utilizado pelo Laboratório de Biotecnologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS (UFRGS); adaptado da Comissão Européia de Normatização (CEN) e utilizado pela Indústria (IND)]. Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Causas de Variação	GL	Quadrado Médio
Umidade	2	113311,101**
Met. Det. Dens.	2	2766813,581**
Umidade * Met. Det. Dens.	4	89637,519**
Resíduo	36	7901,930
CV (%)		22,696
DMS		88,893

** = significância ao nível de 1% de probabilidade (Teste F)

APÊNDICE 10. Influência da umidade inicial da amostra (62, 69 e 72 % do volume) e dos métodos de determinação da densidade [Utilizado pelo Laboratório de Biotecnologia, Faculdade de Agronomia, UFRGS (UFRGS); adaptado da Comissão Européia de Normatização (CEN) e utilizado pela Indústria (IND)], sobre a impedância mecânica (kPa) da Turfa Marrom *in natura* (n=5). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Método de Determinação da Densidade	Umidade Inicial (% volume)		
	62	69	72
IND	155 a (B)	68 a (B)	143 a (B)
CEN	211 a (B)	131 a (B)	155 a (B)
UFRGS	765 b (A)	740 b (A)	1156 a (A)

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 1\%$).

Tabela 2. Características físicas das Turfas *in natura* Preta (TP), Marrom (TM) e Vermelha (TV), e dos substratos comerciais C1, C2 e C3 (média de duas amostras). Faculdade de Agronomia - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

Material	DU (kg m ⁻³)	DS (kg m ⁻³)	MS (g 100g ⁻¹)	DP (g cm ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)	EA (m ³ m ⁻³)	AFD (m ³ m ⁻³)	AT (m ³ m ⁻³)	AD (m ³ m ⁻³)	CRA₁₀ (m ³ m ⁻³)	CRA₅₀ (m ³ m ⁻³)	CRA₁₀₀ (m ³ m ⁻³)
TP	695	402	58	1,27	0,74	0,14	0,22	0,03	0,25	0,60	0,38	0,35
TM	476	147	31	1,04	0,93	0,25	0,26	0,04	0,30	0,68	0,42	0,38
TV	496	174	35	1,07	0,85	0,23	0,23	0,04	0,27	0,62	0,40	0,35
C1	574	215	37	1,12	0,89	0,23	0,26	0,05	0,31	0,66	0,40	0,35
C2	547	209	38	1,12	0,89	0,33	0,18	0,03	0,22	0,56	0,37	0,34
C3	547	216	39	1,14	0,89	0,34	0,19	0,04	0,23	0,56	0,37	0,33

DU = densidade úmida;

DS = densidade seca;

MS = matéria seca (sólidos);

DP = densidade de partícula;

PT = porosidade total;

EA = espaço de aeração;

AFD = água facilmente disponível;

AT = água tamponante;

AD = água disponível;

CRA₁₀ = capacidade de retenção água na tensão de 10 cm de coluna de água (10 hPa);

CRA₅₀ = capacidade de retenção água na tensão de 50 cm coluna de água (50 hPa);

CRA₁₀₀ = capacidade de retenção água na tensão de 100 cm coluna de água (100 hPa).