

TABELA 14: Teores de micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

Subsere	Fração	mg $\text{kg}^{-1}$														
		B	Cu	Fe	Mn	Zn										
Capoeirão	Folhas	92,9	a*	A**	13,8	a	A	107,5	bc	A	99,4	abc	A	51,5	ab	A
	Galhos vivos	27,9	c	A	8,3	b	A	55,0	cd	B	27,6	c	A	27,2	cd	A
	Galhos mortos	19,5	cd	A	7,9	b	A	97,5	bc	A	31,4	c	A	29,5	cd	A
	Madeira	6,8	d	A	3,2	c	A	21,8	d	A	11,8	c	A	11,4	d	A
	Casca	35,6	c	A	8,7	b	A	211,6	a	B	36,0	bc	A	26,6	cd	A
Flor. secundária	Mad/galhos	22,4	cd	A	8,0	b	A	137,3	ab	A	56,5	abc	A	26,5	cd	A
	Folhas arbustivo	65,0	b	A	13,8	a	A	207,0	a	A	155,4	a	A	65,0	a	A
	Herbáceo	37,7	c	A	14,9	a	A	194,3	a	A	144,6	ab	A	35,8	bc	A
	Lianas	31,0	c	A	14,3	a	A	105,2	bc	A	58,5	abc	A	36,9	bc	A
	<b>MÉDIA</b>	<b>37,6</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>10,3</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>126,4</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>69,0</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>34,5</b>	<b>A</b>	<b>A</b>
Flor. secundária	Folhas	54,8	a	A	12,8	bc	A	205,9	b	A	220,5	ab	A	44,1	ab	A
	Galhos vivos	25,9	cd	A	10,9	bcd	A	132,5	b	A	171,6	ab	A	37,2	abc	A
	Galhos mortos	19,6	cde	A	6,7	de	A	137,3	b	A	113,9	b	A	24,4	bc	A
	Madeira	6,0	e	A	3,6	e	A	162,9	b	A	110,8	b	A	21,2	c	A
	Casca	35,2	bc	A	8,8	cde	A	361,6	ab	A	405,9	a	A	27,8	bc	A
Flor. secundária	Mad/galhos	11,0	de	B	5,3	de	A	75,2	b	A	50,0	b	A	26,0	bc	A
	Folhas arbustivo	61,1	a	A	15,7	ab	A	676,9	ab	A	314,4	ab	A	49,8	a	A
	Herbáceo	49,3	ab	A	19,2	a	A	1079,5	a	A	290,6	ab	A	50,5	a	A
	Lianas	19,6	cde	A	13,6	abc	A	280,3	ab	A	147,0	ab	A	30,7	abc	A
	<b>MÉDIA</b>	<b>31,4</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>10,7</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>345,8</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>202,7</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>34,6</b>	<b>A</b>	<b>A</b>

\* médias (três repetições) seguidas pela mesma letra minúscula, na vertical, para cada *subsere*, não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade de erro.

\*\* Compara, na vertical, as médias da mesma fração, entre as duas *subseres*, através do Teste t, com 5% de probabilidade de erro.

Desta forma, somente a fração madeira apresentou baixos teores deste elemento ( $< 10 \text{ mg kg}^{-1}$ , segundo Larcher, 2000). As demais frações apresentaram teores coincidentes com o intervalo de necessidades de uma planta ou superiores ao nível máximo de exigência, que é de  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ , segundo o mesmo autor.

O cobre apresentou, no capoeirão, os maiores teores nas frações folhas, folhas do estrato arbustivo, herbáceo e lianas. O menor teor ocorreu na madeira. Teores intermediários ocorreram nas frações galhos vivos, galhos mortos, cascas e madeira/galhos do estrato arbustivo. Este elemento, na floresta secundária, apresentou os maiores teores no estrato herbáceo, não diferindo significativamente das folhas do estrato arbustivo e lianas. O menor teor de cobre ocorreu na madeira, não diferindo da fração madeira/galhos do estrato arbustivo, dos galhos mortos e casca. Teores intermediários ocorreram nas folhas e nos galhos vivos.

De acordo com Larcher (2000), a necessidade de cobre por parte das plantas varia entre 5,0 e 10,0  $\text{mg kg}^{-1}$ . Assim, percebem-se teores altos nas frações foliares (folhas do estrato arbóreo, arbustivo, estrato herbáceo e lianas) para as duas florestas e também para os galhos vivos, na floresta secundária. Teores inferiores são vistos na madeira das duas florestas.

Segundo alguns autores (Malavolta, 1985; Larcher, 2000), o acúmulo preferencial de Cu se dá nas partes lenhosas das plantas, o que não foi verificado neste trabalho. Porém, o estudo de Golley *et al.* (1978) também relata teores de Cu iguais ou superiores nas frações folhas, em relação às frações lenhosas e ambos inferiores aos teores encontrados nos frutos, flores e raízes.

Acredita-se que os maiores teores de Cu nas frações foliares podem expor uma certa carência geral do elemento que, apesar da sua baixa mobilidade, concentra-se prioritariamente nos órgãos em desenvolvimento.

Os maiores teores de ferro, no capoeirão, ocorreram nas folhas do estrato arbustivo, no herbáceo e na casca, não diferindo estatisticamente do teor na madeira/galhos do estrato arbustivo. Os menores teores ocorreram na madeira e nos galhos vivos. Teores intermediários foram verificados nas frações folhas, lianas e galhos mortos.

Um teor de ferro excessivamente alto ocorreu no estrato herbáceo da floresta secundária. Porém, estatisticamente, este valor não diferiu das folhas do estrato arbustivo, da casca e das lianas. Os menores teores foram verificados nas demais frações (madeira/galhos, galhos vivos, galhos mortos, madeira e folhas).

O sítio preferencial de ocorrência de ferro é nas folhas (Larcher, 2000), em função de sua participação na formação da clorofila, transporte eletrônico na fotossíntese, fixação de N<sub>2</sub>, entre outras, o que concorda com os dados encontrados. A quantidade necessária no tecido vegetal ainda é um aspecto discutível no meio científico. Acredita-se que este valor situa-se próximo a 100 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Sendo assim, somente as frações galhos vivos e madeira no capoeirão e madeira/galhos do estrato arbustivo na floresta secundária apresentaram teores aquém deste limite.

Para o manganês, os maiores teores ocorreram nas folhas do extrato arbustivo, que não diferiu do herbáceo. Os menores teores foram verificados na madeira, os galhos vivos e mortos. Teores intermediários ocorreram nas folhas, madeira/galhos, cascas e lianas. Na *subsere* mais velha, o maior teor aconteceu na casca, que não diferiu das folhas, galhos

vivos, folhas do arbustivo, herbáceo e lianas. Os menores teores foram constatados na madeira, galhos mortos e madeira/galhos do estrato arbustivo.

Segundo Larcher (2000), a necessidade de Mn na maioria das plantas lenhosas situa-se entre 30 a 50 mg kg<sup>-1</sup>, para que o mesmo desempenhe as suas funções de ativador de enzimas diversas, participante do transporte eletrônico na fotossíntese e ser também formador da clorofila e dos cloroplastos (Malavolta, 1985). Assim, apenas as frações madeira e galhos vivos no capoeirão apresentam baixos teores do nutriente.

Os teores de zinco, para o capoeirão, foram superiores nas folhas do estrato arbóreo e arbustivo e inferiores na madeira, galhos vivos, galhos mortos, casca e madeira/galhos do estrato arbustivo. Os teores intermediários ocorreram no estrato herbáceo e nas lianas. Na floresta secundária, os maiores teores ocorreram no estrato herbáceo, nas folhas do estrato arbustivo e nas do arbóreo. O menor teor ocorreu na madeira, que não diferiu dos galhos mortos, casca e madeira/galhos do estrato arbustivo. Teores intermediários ocorreram nos galhos vivos e nas lianas. A maioria dos teores estão dentro do intervalo de necessidades para a planta, estabelecido em Larcher (2000), o qual é de 10 a 50 mg kg<sup>-1</sup>.

O intervalo referido pelo autor acima concorda com os dados de Golley *et al.* (1978), quanto aos teores de Zn na biomassa de florestas tropicais no Panamá.

Diferenças entre as duas *subseres*, quanto a frações específicas, foram observadas para o teor de boro na fração madeira/galhos do estrato arbustivo, que foi superior no capoeirão. Foram observados também para o

teor de ferro nos galhos vivos e casca, que apresentaram teores superiores na floresta secundária.

Apenas os teores médios de Fe e Mn foram superiores na biomassa da floresta secundária, uma vez que, para os demais micronutrientes, os teores médios não diferiram entre as duas fases sucessionais.

Em termos gerais, as frações mais ricas em micronutrientes foram as foliares, uma vez que a maioria destes elementos analisados tem suas funções ligadas à síntese de compostos e à ativação de enzimas, aspectos bastante ligados à fotossíntese. Não é possível a realização de inferências precisas sobre excessos ou carências de nutrientes na biomassa, uma vez que a análise foi realizada ao nível de floresta e não de espécies. Contudo, é amplamente possível conhecer o status da floresta em relação a sua capacidade de armazenar elementos químicos na produção de matéria seca.

#### 4.3.2 Quantidade de nutrientes na biomassa acima do solo

Em termos de estoque de nutrientes, as Tabelas 15 e 16 apresentam as quantidades contidas na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais.

A quantidade de nitrogênio acumulada na biomassa alcançou valor expressivo, principalmente na floresta secundária. O maior acúmulo de N ocorreu na fração galhos vivos a qual, apesar de ter menos biomassa que a madeira, apresenta teores mais elevados. Outras frações com contribuições expressivas em N são casca, lianas e folhas.

Os galhos vivos e a madeira apresentaram os maiores estoques de P, para as duas *subseres*. A quantidade total deste nutriente é bem superior na

biomassa em relação ao solo, até 60 cm, devido a fatores já discutidos anteriormente.

A madeira, os galhos vivos e as lianas são os principais reservatórios de K, para as duas *subseres*. Para Mg, S e C estes aspectos são também válidos, menos para a fração lianas.

TABELA 15: Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

<i>Subsere</i>	Fração	$\text{kg ha}^{-1}$						
		N	P	K	Ca	Mg	S	C
Capoeirão	Folhas	73,3	3,9	42,5	59,2	8,7	6,1	991,1
	Galhos v.	309,4	18,0	180,8	467,6	33,2	18,9	8476,5
	Galhos m.	8,6	0,4	3,0	21,7	1,4	0,5	329,8
	Madeira	299,0	21,3	232,4	355,6	47,3	24,3	21052,6
	Casca	127,0	5,6	54,9	298,3	11,8	7,6	3022,8
	Mad/galhos	49,9	3,3	24,3	88,7	5,0	3,7	1443,2
	Folhas arb.	6,9	0,4	5,4	7,8	1,2	0,3	98,5
	Herbáceo	23,0	1,3	20,7	23,7	3,3	1,0	377,5
	Lianas	200,6	13,0	179,4	358,7	20,6	15,1	6016,1
<b>TOTAL</b>	<b>1097,7</b>	<b>67,2</b>	<b>743,4</b>	<b>1681,4</b>	<b>132,6</b>	<b>77,6</b>	<b>41808,1</b>	
Flor. Secundária	Folhas	109,2	5,4	60,7	66,5	15,6	6,6	1569,6
	Galhos v.	665,7	42,3	423,3	1078,8	83,9	44,7	17573,7
	Galhos m.	28,8	1,8	13,3	59,3	6,1	2,5	1257,8
	Madeira	365,2	27,3	260,8	721,9	141,8	37,7	35372,1
	Casca	184,3	6,8	82,7	304,3	16,2	15,2	4185,6
	Mad/galhos	30,6	1,7	22,9	53,4	3,7	1,7	1725,7
	Folhas arb.	8,4	0,5	6,4	8,3	1,6	0,4	128,1
	Herbáceo	19,4	1,2	20,2	16,6	3,7	0,9	305,8
	Lianas	119,9	7,0	115,4	134,2	16,1	5,0	3355,2
<b>TOTAL</b>	<b>1531,5</b>	<b>94,0</b>	<b>1005,7</b>	<b>2443,3</b>	<b>288,8</b>	<b>114,7</b>	<b>65473,6</b>	

A fração casca, tanto no capoeirão como na floresta secundária, apresenta uma quantidade elevada de Ca, pelos altos teores deste elemento

na mesma. Porém, esta fração, devido a sua menor biomassa acumulada, não atinge os níveis de estoque da madeira, galhos vivos e lianas, no capoeirão, exceto a última fração na floresta secundária.

Madeira e galhos vivos, em virtude da maior biomassa acumulada e, no caso da segunda fração, também dos significativos teores, constituem-se nas principais frações em armazenamento de nutrientes na biomassa acima do solo. A fração casca acumula grande quantidade de Ca. No capoeirão, as lianas também apresentam grande acúmulo de K e Ca.

A ordem de importância quanto ao armazenamento de macronutrientes se dá da seguinte forma, no capoeirão: madeira > galhos vivos > lianas > casca > madeira/galhos > folhas > estrato herbáceo > galhos mortos > folhas do estrato arbustivo.

Na floresta secundária, esta ordem apresenta diferenças em função da grande redução da biomassa de lianas e do aumento da biomassa de galhos mortos, que ocorre com as árvores de grandes dimensões, principalmente. A ordem de armazenamento ficou da seguinte forma: madeira > galhos vivos > casca > lianas > madeira/galhos > folhas > galhos mortos > estrato herbáceo > folhas do estrato arbustivo.

Quanto aos nutrientes, a magnitude de armazenamento foi: C > Ca > N > K > Mg > S > P, para as duas fases sucessionais.

Comparações sobre a capacidade de cada compartimento da biomassa acima do solo em armazenar nutrientes devem ser cuidadosas, uma vez que as estimativas de biomassa podem ser originadas por diferentes metodologias. Como exemplo, o estudo de Caldeira (2003) encontrou a maioria dos nutrientes armazenados nos galhos, uma vez que o referido autor considerou como tal todo o material lenhoso localizado

acima do ponto de inversão morfológica (início da copa viva). Isso causou uma superestimação da biomassa de galhos e uma subestimação da biomassa de troncos.

TABELA 16: Quantidade de micronutrientes na biomassa acima do solo das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

<i>Subsere</i>	Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha <sup>-1</sup>				
Capoeirão	Folhas	0,151	0,032	0,248	0,295	0,126
	Galhos vivos	0,590	0,175	1,163	0,584	0,576
	Galhos mortos	0,016	0,006	0,080	0,026	0,024
	Madeira	0,345	0,161	1,113	0,601	0,579
	Casca	0,273	0,067	1,626	0,277	0,205
	Mad/galhos	0,078	0,028	0,478	0,197	0,092
	Folhas arbustivo	0,016	0,003	0,050	0,038	0,016
	Herbáceo	0,036	0,014	0,183	0,137	0,034
	Lianas	0,451	0,208	1,532	0,851	0,537
	<b>TOTAL</b>	<b>1,96</b>	<b>0,70</b>	<b>6,47</b>	<b>3,01</b>	<b>2,19</b>
Flor. secundária	Folhas	0,193	0,045	0,724	0,775	0,155
	Galhos vivos	1,158	0,486	5,925	7,677	1,666
	Galhos mortos	0,060	0,020	0,419	0,348	0,074
	Madeira	0,496	0,294	13,462	9,158	1,747
	Casca	0,375	0,094	3,853	4,324	0,296
	Mad/galhos	0,046	0,022	0,314	0,209	0,109
	Folhas arbustivo	0,018	0,005	0,204	0,095	0,015
	Herbáceo	0,037	0,015	0,819	0,220	0,038
	Lianas	0,154	0,107	2,194	1,151	0,240
	<b>TOTAL</b>	<b>2,54</b>	<b>1,09</b>	<b>27,91</b>	<b>23,96</b>	<b>4,34</b>

Os micronutrientes acumulam-se na biomassa em quantidades caracteristicamente pequenas, de acordo com os seus teores (Tabela 15). Destacam-se os maiores estoques de Fe e Mn na biomassa da floresta secundária, amplamente superiores ao capoeirão, uma vez que os teores

destes elementos na floresta mais velha apresentaram-se expressivamente mais elevados.

As principais frações no armazenamento de micronutrientes foram os galhos vivos, a madeira, as lianas e também a casca, estando esta última na floresta secundária.

A magnitude de armazenamento de micronutrientes na biomassa acima do solo do capoeirão é: lianas > galhos vivos > madeira > casca > madeira/galhos > folhas > herbáceo > folhas do arbustivo. Para a floresta secundária, a ordem seguida foi: madeira > galhos vivos > casca > lianas > folhas > herbáceo > galhos mortos > madeira/galhos > folhas do arbustivo.

A significativa biomassa de lianas e os consideráveis teores de micronutrientes na mesma colocaram-na como o principal reservatório destes elementos no capoeirão. Devido aos teores superiores, os galhos vivos também armazenam mais micronutrientes que a madeira. A floresta secundária apresenta dos micronutrientes com poucas variações.

Quanto aos elementos, a magnitude de armazenamento dos mesmos na biomassa acima do solo é: Fe > Mn > Zn > B > Cu, para as duas fases sucessionais.

#### 4.3.3 Teor de nutrientes nas raízes

A Tabela 17 apresenta os teores de macro e micronutrientes nas raízes das duas fases sucessionais. Os teores apresentados são representativos das raízes em nível total, uma vez que os teores das raízes grossas foram analisados e extrapolados para as raízes finas, em função da sua pequena biomassa seca. O nitrogênio não apresentou diferença nos

teores do capoeirão e da floresta secundária. Em relação aos teores na biomassa acima do solo, o N nas raízes teve um comportamento intermediário.

Os teores de P foram praticamente idênticos entre as duas florestas. Em relação à biomassa acima do solo, os teores nas raízes podem ser considerados baixos, sendo comparáveis às frações lenhosas. Isso demonstra a pequena absorção de P, que deve ocorrer pelas raízes a partir do solo.

O K apresentou maior teor nas raízes da floresta secundária, apesar da semelhança com o capoeirão. Isso pode significar o maior teor de K que existe no solo da floresta mais velha, sendo mais absorvido pelas raízes desta *subserie*; no entanto, baixos teores nas raízes são esperados em virtude de este nutriente desempenhar funções prioritárias nas folhas.

TABELA 17: Teores de macro ( $\text{g kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na biomassa de raízes das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Subserie</i>						
	$\text{g kg}^{-1}$					
Capoeirão	13,2 a*	0,6 a	4,9 a	16,7 a	1,8 b	0,6 b
Flor. Secundária	13,6 a	0,7 a	5,7 a	13,9 a	3,1 a	1,4 a
Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C
<i>Subserie</i>						
	$\text{mg kg}^{-1}$					$(\text{g kg}^{-1})$
Capoeirão	37,1 a	10,2 a	2852 a	142,3 b	37,3 b	411,2 a
Flor. Secundária	36,2 a	10,8 a	2871 a	247,6 a	55,4 a	411,7 a

\*Médias (três repetições) seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste t a 5% de probabilidade de erro.

Para o cálcio, as diferenças nas concentrações nas raízes entre as duas *subseries* não foram significativas, havendo uma leve superioridade no

capoeirão. Frente aos teores na biomassa acima do solo, o das raízes pode ser considerado médio. Este elemento desempenha importantes funções nas raízes, além de ter função estrutural nas células e ser responsável pelo encurvamento dos pêlos absorventes nas raízes das leguminosas (Malavolta, 1985). O Ca no solo das duas áreas apresenta teores elevados (Comissão de Fertilidade do Solo (1995), devendo as raízes encontrarem-se bem abastecidas por este nutriente.

O teor de Mg nas raízes do capoeirão foi inferior ao da floresta secundária. Em relação às frações da biomassa acima do solo, os teores nas raízes de ambas as *subseres* podem ser considerados médios.

O mesmo caminho foi seguido pelo S, com teor superior na floresta mais velha. A concentração pode ser considerada inferior no capoeirão e alta na floresta secundária, quando comparada à da biomassa acima do solo.

O boro apresentou teores semelhantes nas raízes das duas fases sucessionais, sendo os valores considerados médios em relação à biomassa acima do solo. Este nutriente não tem função prioritária nas raízes, acumulando-se mais nas folhas, nas quais participa, além da formação de células, do transporte de carboidratos (Larcher, 2000).

Para o Cu, os teores nas raízes das duas fases sucessionais refletem a média da biomassa acima do solo. O elemento tem participação no condicionamento da formação de nódulos de *Rhizobium* em raízes de leguminosas (Malavolta, 1985). Isso pode explicar a existência de teores significativos nas raízes, uma vez que a família Leguminosae apresenta o maior número de espécies, para as duas áreas estudadas.

Os altíssimos teores de Fe encontrados nas raízes das duas fases sucessionais provavelmente sejam reflexo de problemas de contaminação das amostras analisadas com solo. Apesar da criteriosa limpeza que as mesmas sofreram, partículas de solo podem ter ficado aderidas à casca das raízes, inclusive em pequenas reentrâncias, o que pode ter causado tais erros.

Caldeira (2003) observou que o teor de Fé, na biomassa de raízes das espécies da Floresta Ombrófila Mista, foi de 1440,6 mg kg<sup>-1</sup>. Porém, Larcher (2000) relata teores máximos de 700 mg kg<sup>-1</sup> para um grande número de espécies vegetais estudadas. O solo das duas áreas, apesar de pertencerem a diferentes classificações, apresenta altos teores de ferro sendo liberados tanto pela mineralização da matéria orgânica como pelo intemperismo da rocha matriz.

O Mn apresentou teores significativamente superiores nas raízes da floresta secundária, a exemplo do que ocorreu na biomassa acima do solo. Devido a sua participação na formação da clorofila e no funcionamento dos cloroplastos, a ocorrência principal deste elemento se dá nas folhas, o que não impede sua considerável concentração nas raízes, provavelmente por ser também um transportador eletrônico dos produtos da fotossíntese ou por ter um considerável suprimento via solo (Malavolta, 1985).

Os teores de zinco nas raízes seguiram a mesma tendência do Mn, ocorrendo o maior valor para a floresta secundária. Para esta, o teor nas raízes foi superior ao das demais frações da biomassa. Isso pode ser explicado, com base em Larcher (2000), em função do Zn ser participante ativo de enzimas que realizam o metabolismo de compostos nas raízes. As frações foliares também apresentaram altos teores devido ao elemento ser

participante da clorofila e da biossíntese de hormônios de crescimento como o AIA (Ácido indolacético) (Larcher, 2000).

Os teores de carbono orgânico foram praticamente iguais nas raízes, refletindo valores médios em relação à biomassa acima do solo. Isso demonstra a importância desta fração no sequestro e fixação de carbono.

#### 4.3.4 Quantidade de nutrientes nas raízes

Através da Tabela 18, podem ser conferidos os estoques de nutrientes na biomassa abaixo do solo (raízes finas e grossas).

TABELA 18: Quantidade de nutrientes na biomassa de raízes finas e grossas (kg ha<sup>-1</sup>) nas duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

		Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Subsere</i>			kg ha <sup>-1</sup>					
Capoeirão	RG*		329,3	15,0	122,3	416,7	44,9	15,0
	RF*		104,7	4,8	38,9	132,5	14,3	4,8
	<b>Total</b>		<b>434,0</b>	<b>19,8</b>	<b>161,2</b>	<b>549,2</b>	<b>59,2</b>	<b>19,8</b>
Floresta Secundária	RG		528,1	27,2	221,3	539,8	120,4	54,4
	RF		38,6	2,0	16,2	39,5	8,8	4,0
	<b>Total</b>		<b>566,7</b>	<b>29,2</b>	<b>237,5</b>	<b>579,3</b>	<b>129,2</b>	<b>58,4</b>
<i>Subsere</i>		Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C
Capoeirão	RG		0,93	0,25	71,16	3,55	0,93	10259,4
	RF		0,29	0,08	22,62	1,13	0,30	3261,3
	<b>Total</b>		<b>1,22</b>	<b>0,33</b>	<b>93,78</b>	<b>4,68</b>	<b>1,23</b>	<b>13520,7</b>
Floresta Secundária	RG		1,41	0,42	111,50	9,62	2,15	15987,7
	RF		0,10	0,03	8,15	0,70	0,16	1169,2
	<b>Total</b>		<b>1,51</b>	<b>0,45</b>	<b>119,65</b>	<b>10,32</b>	<b>2,31</b>	<b>17156,9</b>

\* RG: raízes grossas; RF: raízes finas.

A biomassa de raízes apresenta um considerável estoque de nutrientes. Esta fração é responsável por absorver do solo os nutrientes que são translocados para as demais partes da planta. Apesar de não terem sido analisadas de forma separada as raízes finas, tudo indica que os seus teores nutricionais sejam maiores que nas raízes grossas. As sub-amostras das raízes que passaram por análise química possuíam diâmetro levemente superior ao limite mínimo da classe de raízes grossas, de forma a suprir esta questão e a fornecer dados médios quanto à riqueza nutricional das raízes.

Existem, armazenadas nas raízes, significativas quantidades de nutrientes como N, P, Ca, Mg e C. A magnitude de armazenamento de nutrientes nas raízes, para o capoeirão, obedece a seguinte ordem:  $C > Ca > N > K > Fe > Mg > P > S > Mn > Zn > B > Cu$ . Na floresta secundária, a ordem de armazenamento de nutrientes na biomassa de raízes se dá da seguinte forma:  $C > Ca > N > K > Mg > Fe > S > P > Mn > Zn > B > Cu$ .

#### 4.3.5 Teor de nutrientes na serapilheira

A Tabela 19 apresenta os teores de nutrientes na serapilheira acumulada sobre o solo das duas fases sucessionais. Somente os teores de Mn e Zn diferiram de forma significativa entre as duas fases sucessionais, com superioridade para o capoeirão. Para os demais nutrientes, os teores foram muito semelhantes entre as duas *subseres*.

TABELA 19: Teores de macro ( $\text{g kg}^{-1}$ ), micronutrientes ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) e carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na serapilheira (serapilheira fina + material lenhoso) das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Subsere</i>						
	$\text{g kg}^{-1}$					
Capoeirão	13,1 a*	0,5 a	2,5 a	21,5 a	1,9 a	0,9 a
Flor. Secundária	11,8 a	0,5 a	2,7 a	22,5 a	1,6 a	0,7 a
Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C
<i>Subsere</i>						$(\text{g kg}^{-1})$
	$\text{mg kg}^{-1}$					
Capoeirão	38,4 a	11,7 a	1355,3 a	390,7 a	51,0 a	389,5 a
Flor. Secundária	31,2 a	11,0 a	1013,3 a	185,3 b	38,6 b	383,5 a

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste t a 5% de probabilidade de erro.

Para comparar os teores de nutrientes na serapilheira acumulada com os da produzida anualmente e recolhida em coletores, a cada mês, tomou-se por base os dados de Brun (2002), os quais expõem teores de N superiores aos da serapilheira acumulada deste estudo. Uma parte considerável deste nutriente é retranslocada antes da senescência foliar e o que resta nas folhas que caem ao solo é liberado lentamente através da decomposição, sendo um dos principais alimentos da fauna decompositora. Porém, a serapilheira coletada para a avaliação do acúmulo considerou somente o material que ainda não havia sofrido um severo processo de decomposição e também o material lenhoso de diâmetro maior que 1 cm, que podiam ser perfeitamente identificado, apesar de já um tanto fragmentado, quanto ao órgão vegetal a que pertencia. O que influenciou os menores teores de N foram basicamente os menores teores no material lenhoso e algum grau de liberação do nutriente através da decomposição, uma vez que o mesmo é prioritariamente atacado, em virtude de participar de inúmeros compostos energéticos, como as proteínas.

Em relação a P, Mg e principalmente K, houve um decréscimo nos teores de nutrientes com o tempo de permanência sobre o solo. Estes três nutrientes são bastante móveis na planta, o que faz com que somente pequenas concentrações permaneçam no material senescente, em comparação com a biomassa viva. Apesar do material coletado não apresentar um significativo grau de decomposição, o P já deve estar sendo atacado devido ao seu baixo suprimento via solo. O Mg teve seus teores reduzidos em função da oxidação da clorofila, que ocorre quando as folhas estão em estado de senescência e quando iniciam a decomposição, sobre o solo. Quanto à variação nos teores de K, a conhecida facilidade com que o mesmo tem em ser lixiviado dos tecidos vegetais deve ser o fator preponderante para a grande diminuição nos teores da serapilheira acumulada, em relação à produzida.

Apenas os teores de Ca foram elevados na serapilheira acumulada sobre o solo em relação à depositada mensalmente nos coletores (Brun, 2002). Este nutriente, por ser um componente estrutural das células do tecido vegetal, tenderá a ser um dos últimos a ser liberado para o solo via decomposição da serapilheira, principalmente no caso do material lenhoso. Em relação ao aumento ocorrido nos teores da serapilheira acumulada, possivelmente tenha sido causado pelas partículas de solo que podem ter sido trazidas para análise junto à serapilheira coletada, uma vez que o solo do local apresenta altos teores do nutriente.

Quanto aos micronutrientes, não existem dados comparativos entre a serapilheira produzida e a acumulada, para este tipo de floresta. Porém, a exemplo do que ocorre com os macronutrientes acima discutidos, a variação nos teores na serapilheira deve ocorrer fundamentalmente em

função das características do elemento (mobilidade na planta, funções, etc) e de fatores ligados à decomposição, tanto físicos como químicos e biológicos.

#### 4.3.6 Quantidade de nutrientes na serapilheira

Através da Tabela 20, é possível entender que a quantidade de nutrientes acumulada na serapilheira atinge valores significativos, sendo superior a algumas frações da biomassa viva acima do solo.

TABELA 20: Quantidade de nutrientes na serapilheira sobre o solo (kg ha<sup>-1</sup>) nas duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

	Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Subsere</i>		Kg ha <sup>-1</sup>					
Capoeirão		95,0	3,6	18,1	156,0	13,8	6,5
Flor. Secundária		115,8	4,9	26,5	220,7	15,7	6,9
<i>Subsere</i>	Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C
Capoeirão		0,28	0,08	9,83	2,83	0,37	2825,6
Flor. Secundária		0,31	0,11	9,94	1,82	0,38	3762,4

Esta fração representa uma importante reserva de nutrientes que é liberada de forma lenta e contínua para as raízes. A representatividade exata dos nutrientes contidos na serapilheira acumulada em relação as demais frações da biomassa acima e abaixo do solo será exposta no item 4.5.

#### 4.4 Características físicas, químicas e estoque de nutrientes no solo

A Tabela 21 apresenta os valores da densidade do solo nas duas fases sucessionais. No capoeirão, observou-se que a densidade do solo foi significativamente menor na primeira camada e maior na quinta (40-50 cm). Os valores das três camadas intermediárias (10-20-30-40 cm) e da última (50-60 cm) foram igualmente intermediários, não diferindo nem do menor valor (0-10 cm), nem do maior (40-50 cm). Na floresta secundária, a densidade não diferiu significativamente entre as profundidades.

Comparando-se as duas fases sucessionais, percebe-se que, apenas na camada entre 40-50 cm, houve diferença estatística entre os dados, com um maior valor no solo do capoeirão. Para as demais camadas, o comportamento entre as duas *subseres* foi semelhante.

Para a profundidade estudada (0-60 cm), os valores revelam um solo com densidade considerada média, podendo os mesmos, em alguns casos, causarem alguma forma de impedimento ao crescimento adequado das raízes das plantas.

De acordo com Camargo & Alleoni (1997), valores elevados de densidade do solo podem causar aumento da resistência mecânica à penetração de raízes, redução da aeração e alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Desta forma, quanto menor for a densidade do solo, maior será o número de macroporos. Este aspecto é favorecido pela matéria orgânica, a qual tem densidade menor que a matéria mineral do solo e tem a função de flocular o solo, melhorando a sua estrutura e, conseqüentemente, diminuindo a sua compactação.

Este aspecto é favorecido em solos florestais, nos quais o grande aporte de matéria orgânica proveniente das árvores faz com que eles apresentem, ao menos nas camadas superiores, grandes teores da mesma.

TABELA 21: Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) em função da profundidade nas duas *subseres*. Santa Tereza, RS. 2003.

Prof. (cm)	Capoeirão ( $\text{g cm}^{-3}$ )				Flor. Secundária ( $\text{g cm}^{-3}$ )			
	Parc. 1	Parc. 2	Parc. 3	Média	Parc. 1	Parc. 2	Parc. 3	Média
0-10	0,87	1,12	0,95	0,98 bA*	0,99	0,85	0,99	0,94 aA
10-20	1,01	1,27	1,04	1,11 abA	1,23	1,02	1,02	1,09 aA
20-30	1,25	1,31	1,15	1,24 abA	1,06	1,12	1,34	1,17 aA
30-40	1,14	1,20	1,00	1,11 abA	1,06	0,93	1,19	1,06 aA
40-50	1,19	1,32	1,38	1,30 aA	1,20	0,94	0,97	1,04 aB
50-60	1,22	-**	-**	1,22 abA	1,25	1,01	1,05	1,10 aA
Média	1,11	1,24	1,10	1,15	1,13	0,98	1,09	1,07

\* Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal, não diferem entre si pelo Teste de Tukey e Teste T, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

\*\*na parcela 2 do capoeirão, a profundidade máxima alcançada foi de 46 cm, na 3, de 50 cm.

De acordo com Pritchett & Fisher (1987), a densidade em solos florestais varia de  $0,2 \text{ g cm}^{-3}$  em camadas orgânicas até  $1,9 \text{ g cm}^{-3}$  em solos arenosos. Porém, solos arenosos que apresentam densidade maior que  $1,75 \text{ g cm}^{-3}$  e argilosos com valor superior a  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  podem dificultar ou evitar a penetração de raízes.

Segundo Kiehl (1978), solos com densidade variando de  $0,75$  a  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  são denominados humíferos. Isso acontece para a primeira camada de solo das duas *subseres*, em função dos maiores teores de matéria orgânica, provenientes da deposição de serapilheira.

Os dados observados na Tabela 21 podem remeter a valores relativamente próximos dos limites relatados pelos autores acima, como por exemplo, na camada 40-50 cm das parcelas 2 e 3 do capoeirão ( $1,32$  e

1,38 g cm<sup>-3</sup>) e na camada 20-30 cm da parcela 2 da mesma *subsere* (1,31 g cm<sup>-3</sup>). Na floresta secundária, a parcela 3 na camada 20-30 apresentou também um valor considerável (1,34 g cm<sup>-3</sup>).

Nas duas áreas de estudo, há uma tendência de elevação da densidade do solo com o aumento da profundidade, a qual se verifica nitidamente até 30 cm de profundidade. Abaixo disso, os valores são equilibrados para a floresta secundária.

Somente no capoeirão, a relação fica desequilibrada pelo maior valor de densidade do solo, que ocorre na penúltima camada. Em nível geral, para as duas florestas, parece ocorrer um solo mais adensado na camada de 20-30 cm.

A Tabela 22 apresenta a caracterização do solo das duas *subseres* em estudo. A porcentagem de argila do solo é maior nas camadas intermediárias, entre 20 e 50 cm, para as duas fases sucessionais. Com base nos teores de argila das diferentes camadas de solo, pode-se enquadrar os mesmos como franco-argilosos.

A participação relativa da argila no solo da camada é menor na superfície em virtude do incremento que ocorre quanto à participação da fração orgânica. Na camada inferior, a ocorrência de rocha fragmentada e pedregulhos (horizonte C) também apresenta o mesmo efeito, diminuindo a participação relativa da argila.

O pH do solo apresentou pequenas variações entre as diferentes camadas estudadas, sendo levemente superior na de 0-10 cm. A floresta secundária demonstrou valores um pouco superiores ao capoeirão.

Os valores encontrados para esta variável não podem ser considerados limitantes ao nível de absorção de nutrientes pelas plantas,

salvo exceções em virtude da diversidade de espécies em uma floresta natural. Segundo Tomé Jr. (1997), um pH é muito ácido quando atinge valores inferiores a 5,0, comprometendo muito a absorção de nutrientes pelas plantas.

De acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1995), um pH de 5,5, como o que ocorre na segunda camada de solo do capoeirão, está no limite superior da faixa tida como baixa. Isso pode comprometer a absorção pelo menos do P, que exige índice mais elevado, em torno de 6,0, para ser eficientemente absorvido.

Os níveis de matéria orgânica do solo comportaram-se de forma característica, ou seja, com maiores teores nas camadas superiores de solo. De acordo com a Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1995), os teores de MO são classificados como altos somente na camada de 0-10 cm das duas florestas. Na segunda camada de solo, os teores são médios para ambas as áreas. A partir desta camada, todos os teores são baixos.

Os maiores teores de matéria orgânica nas camadas superficiais são decorrentes do grande aporte que ocorre via deposição de serapilheira. Este aspecto já foi avaliado nas áreas de estudo por Brun (2002), o qual relata uma deposição anual de 6,5 e 7,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para capoeirão e floresta secundária. Esta serapilheira decompõem-se e abastece o solo com matéria orgânica e nutrientes, numa velocidade relativamente rápida ( $k = 1,28$ ).

A variação dos teores de carbono orgânico e nitrogênio no solo é proporcional à matéria orgânica, uma vez que os teores destes elementos foram calculados com base na mesma.

TABELA 22: Características do solo das duas *subseres* de estudo. Santa Tereza, RS. 2003.

<i>Subsere</i>	Prof. (cm)	Argila (%)	pH H <sub>2</sub> O (1:1)	MO g kg <sup>-1</sup>	C org. g kg <sup>-1</sup>	N g kg <sup>-1</sup>	V %	P*		Ca cmol <sub>c</sub> /L	Mg cmol <sub>c</sub> /L	Sat. Al %	CTC efet. cmol <sub>c</sub> /L
								mg/L	mg/L				
	0-10	29,3	5,7	57,0	33,06	2,85	82,3	4,3	86,7	15,2	3,6	0,0	19,2
	10-20	38,3	5,5	36,0	20,88	1,80	78,7	3,5	51,3	12,3	2,6	0,7	15,3
	20-30	42,0	5,6	23,0	13,15	1,13	79,3	2,9	26,7	11,6	2,7	0,7	14,6
Capoeirão	30-40	44,3	5,6	18,0	10,25	0,88	76,7	4,0	33,3	11,0	4,2	2,3	15,6
	40-50	43,7	5,6	18,0	10,25	0,88	70,3	3,3	37,7	12,2	3,0	7,3	16,3
	50-60	22,0	5,6	23,0	13,34	1,15	82,0	3,5	31,0	15,0	2,5	0,0	19,5
	<b>Média</b>	<b>39,1</b>	<b>5,6</b>	<b>29,0</b>	<b>16,70</b>	<b>1,44</b>	<b>77,3</b>	<b>3,5</b>	<b>45,9</b>	<b>12,3</b>	<b>3,2</b>	<b>2,2</b>	<b>16,0</b>
	0-10	29,7	6,2	67,0	39,06	3,37	87,0	5,0	99,7	15,0	4,0	0,0	19,5
	10-20	34,7	6,1	41,0	23,78	2,05	81,3	4,0	80,3	11,0	2,6	1,0	14,1
	20-30	39,3	6,0	22,0	12,95	1,12	84,7	4,0	84,3	12,5	2,6	0,0	15,5
Floresta secundária	30-40	38,0	6,1	17,0	10,05	0,87	83,7	3,8	90,0	10,9	2,8	0,0	14,1
	40-50	36,0	6,0	22,0	12,57	1,08	82,0	3,8	88,7	12,7	2,8	0,0	16,0
	50-60	32,7	5,8	17,0	10,05	0,87	80,0	3,3	78,0	10,5	2,4	0,0	14,0
	<b>Média</b>	<b>35,1</b>	<b>6,0</b>	<b>31,0</b>	<b>18,08</b>	<b>1,56</b>	<b>83,1</b>	<b>4,0</b>	<b>86,8</b>	<b>12,1</b>	<b>2,9</b>	<b>0,2</b>	<b>15,5</b>

Sendo: MO = matéria orgânica (%); V% = saturação de bases; C org. e N foram obtidos com base no teor de matéria orgânica ÷ 1,724 e ÷ 20, respectivamente.  
\* Extrator Mehlich I.

Para matéria orgânica, carbono e nitrogênio, os valores se apresentaram levemente superiores no solo da floresta secundária, ao menos nas primeiras duas camadas. Isso denota o maior tempo de abastecimento com material orgânico que o solo da *subsera* mais velha vem sofrendo, além de características intrínsecas ao tipo de solo, uma vez que os Cambissolos são naturalmente ricos em matéria orgânica, principalmente nos horizontes superficiais, quando comparados ao Neossolos litólicos (Streck *et al.*, 2002).

Os níveis de P no capoeirão e na floresta secundária, em classe textural 3, predominante no solo das *subseres*, podem ser classificados como baixo na primeira camada e muito baixo nas demais, nas duas florestas. Estes valores, associados ao fato de o pH ser levemente ácido, ao menos no capoeirão, podem identificar dificuldades por parte dos vegetais em absorverem o P do solo.

Porém, sabe-se que este nutriente é caracteristicamente móvel no tecido vegetal. Sendo assim, a bioacumulação do mesmo é responsável pela manutenção da maior parte deste elemento nas plantas, sendo retranslocado via ciclo bioquímico para os tecidos mais jovens, quando determinados órgãos, como folhas e pequenos galhos, entram em senescência. Isso permite que as plantas consigam, na maioria das vezes, manter seus tecidos com níveis adequados de P, mesmo com a baixa absorção realizada via solo.

O teor de potássio apresentou-se como suficiente, no capoeirão, apenas na primeira camada, decrescendo, na segunda camada, para um teor considerado baixo. Da terceira até a última camada, os teores são considerados como muito baixos ( $< 40 \text{ mg L}^{-1}$ ). Na floresta secundária, os

teores de K foram mais elevados, podendo ser interpretados como suficientes até 50 cm de profundidade e como médio na última camada.

Apesar dos menores teores de K no solo do capoeirão, o teor suficiente encontra-se na camada na qual se concentram a maior parte das raízes absorventes. Sendo assim, acredita-se que a carência de K nas camadas inferiores não esteja comprometendo significativamente o desenvolvimento das plantas.

Os teores de Ca e Mg em ambas as profundidades estudadas, para as duas florestas, são considerados altos, atingindo valores maiores que o dobro do limite inferior para esta categoria (Ca:  $> 4,0$  e Mg  $> 1,0$  cmolc/L). Desta forma, acredita-se que a absorção destes elementos pelas plantas não esteja comprometendo o crescimento das mesmas, em virtude dos grandes teores e da baixa saturação de alumínio.

A avaliação dos teores de alumínio trocável nem sempre é suficiente para caracterizar sua toxidez para as plantas, pois esta depende da proporção que o Al ocupa na CTC efetiva (Tomé Jr., 1997). Desta forma, a saturação por alumínio (%) avalia de forma mais correta este aspecto. O solo das duas fases sucessionais estudadas apresentou valores baixos de saturação por Al, com valores ideais (zero) na camada superficial de solo. Somente os níveis encontrados na camada 40-50 cm do capoeirão podem ser considerados como prejudiciais (7,3%). Porém, como esta camada já é mais profunda, uma menor quantidade de raízes chega até ela para absorver elementos.

Genericamente, Tomé Jr. (1997) expõe que valores de saturação de Al menores que 15% podem ser considerados baixos, não prejudiciais. No entanto, devem ser consideradas as especificidades de cada espécie em seus

níveis de tolerância à toxidez de Al, os quais podem variar muito, frente à diversidade de espécies em uma floresta natural.

Em níveis gerais, pode-se concluir que o solo das duas fases sucessionais estudadas apresenta-se como de fertilidade média a suficiente, uma vez que a maioria das variáveis analisadas apresentam níveis aceitáveis, ou seja, pH, K, MO, Ca e Mg. As deficiências podem ser percebidas para o P, havendo caminhos para que as plantas supram esse problema, através da acumulação deste elemento nos seus tecidos mais novos.

A quantidade de nutrientes disponíveis no solo, para as diferentes camadas estudadas, está exposta na Tabela 23. Não existem muitos parâmetros que possam embasar uma interpretação sobre a quantidade de nutrientes armazenada em um solo, uma vez que estes valores são uma função da concentração de cada elemento e da densidade do solo na respectiva profundidade estudada.

No entanto, expõem dados absolutos sobre a magnitude de armazenamento de nutrientes, a qual é mantida graças à proteção que este solo tem, em função da cobertura florestal, e dos aportes de material orgânico que a floresta realiza continuamente. Também pode-se comparar solos de diferentes locais e/ou diferentes tipos de solo quanto a sua capacidade absoluta em armazenar elementos químicos e fornecê-los às plantas, quando se pensa em regime de cortes sucessivos em manejo sustentado destas áreas.

Apesar da menor densidade do solo ocorrente nesta camada, o que ocasiona uma menor massa de solo, observa-se que o acúmulo de carbono, no total, foi levemente superior no solo do capoeirão, na camada

superficial, em função do maior aporte de matéria orgânica na superfície deste solo. O acúmulo de nitrogênio também segue a mesma tendência do carbono, uma vez que ambos variam em função do teor de matéria orgânica no solo.

A quantidade de P acumulada no solo também é semelhante entre as duas fases sucessionais. Entre as camadas de solo, percebe-se que há uma tendência de decréscimo no acúmulo com o aumento da profundidade, para a floresta secundária, o que não ocorre com o solo do capoeirão, que apresenta um certo equilíbrio entre as camadas, no acúmulo deste nutriente.

TABELA 23: Quantidade de nutrientes disponíveis no solo das duas *subseres* de estudo. Santa Tereza, RS. 2003.

<i>Subsere</i>	Prof. (cm)	Quantidade (kg ha <sup>-1</sup> )					
		C	N	P	K	Ca	Mg
Capoeirão	0-10	32401,4	2793,0	4,2	84,9	5973,3	857,3
	10-20	23178,7	1998,0	3,9	57,0	5460,0	710,3
	20-30	16303,2	1405,3	3,6	33,1	5784,6	813,6
	30-40	11374,7	980,5	4,4	37,0	4896,2	1141,9
	40-50	13321,7	1148,3	4,2	49,0	6342,5	958,2
	50-60	16276,1	1403,0	4,3	37,8	7338,3	741,2
	<b>Total</b>	<b>112.855,8</b>	<b>9.728,2</b>	<b>24,6</b>	<b>298,8</b>	<b>35.794,9</b>	<b>5.222,4</b>
Floresta secundária	0-10	36713,1	3164,7	4,7	93,7	5666,7	913,7
	10-20	25922,3	2234,5	4,4	87,6	4808,0	697,5
	20-30	15156,6	1306,5	4,7	98,7	5880,3	729,7
	30-40	10657,4	918,7	4,0	95,4	4647,3	712,6
	40-50	13070,4	1126,7	3,9	92,2	5296,4	716,0
	50-60	11059,6	953,3	3,7	85,8	4631,6	632,6
	<b>Total</b>	<b>112.579,3</b>	<b>9.704,3</b>	<b>25,3</b>	<b>553,3</b>	<b>30.930,2</b>	<b>4.402,2</b>

O acúmulo de K foi o que mais se diferenciou entre as duas fases sucessionais, sendo o valor da floresta secundária quase o dobro do

capoeirão. A profundidade maior do perfil de solo na floresta mais velha pode ter influenciado tal comportamento, pois isso faz com que o potássio se distribua em profundidade no solo. No capoeirão, pela menor profundidade do solo, o elemento fica mais retido nas camadas superficiais.

O acúmulo de Ca e Mg apresenta uma correspondência em nível geral, sendo maiores no capoeirão. No acúmulo dos dois elementos, ocorre um certo equilíbrio entre as camadas de solo. O maior acúmulo de Ca ocorre na última camada de solo, para o capoeirão, e na terceira, para a floresta secundária. O Mg apresenta o seu maior acúmulo na quarta camada de solo, para o capoeirão, e na primeira, para a floresta secundária.

#### **4.5 Distribuição dos nutrientes nas fases sucessionais**

Para um melhor entendimento sobre a dinâmica nutricional das florestas em estudo, a Figura 7 apresenta a participação de cada um dos componentes analisados (biomassa acima e abaixo do solo, serapilheira e solo) no estoque relativo de nutrientes, para as duas florestas. O principal reservatório de N, Ca, Mg e C é o solo, para ambas as fases sucessionais. Neste compartimento, avaliado até 60 cm de profundidade, fatores como altos teores de matéria orgânica (C e N) e bom fornecimento pela rocha matriz (Ca e Mg) (Streck *et al.*, 2002) são preponderantes para o acúmulo ocorrido. Para P e K, a biomassa acima do solo é a principal fração acumuladora. As raízes também apresentam quantidades significativas destes dois nutrientes e também de carbono orgânico. Os solos brasileiros são, na maioria, pobres em P, o que também é válido para as áreas de estudo. Por isso, este elemento se acumula na biomassa e é continuamente

reciclado, para manter níveis adequados na biomassa viva, sendo que ocorrem também pequenas devoluções através da serapilheira.

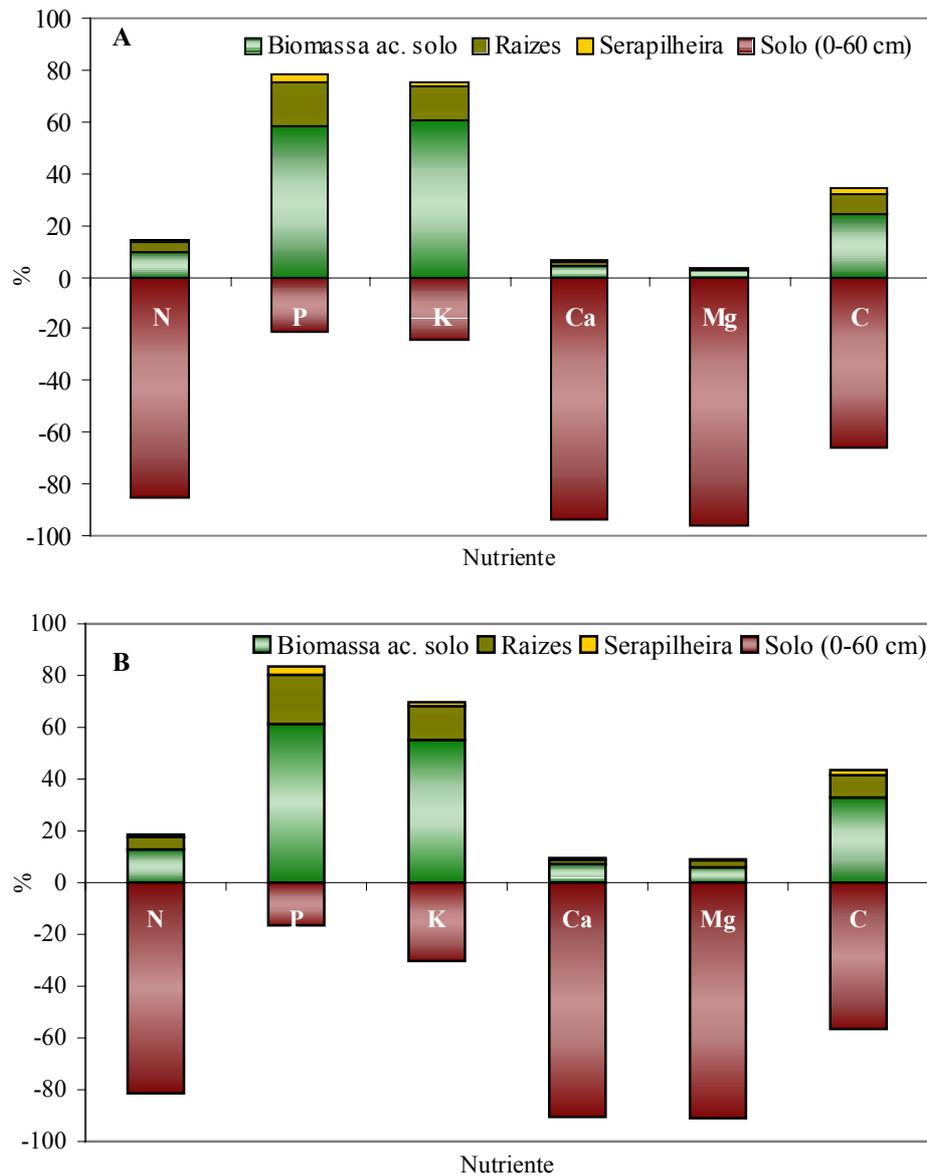


FIGURA 7: Distribuição dos nutrientes entre os diferentes compartimentos estudados, para o capoeirão (A) e floresta secundária (B). Santa Tereza, RS. 2003.

Apesar de não ter sido avaliada a distribuição dos micronutrientes no solo, acredita-se que o solo também seja o seu principal reservatório.

O coeficiente de utilização biológica (CUB) dos nutrientes dá um indicativo de eficiência da floresta em utilizar os elementos na construção da sua biomassa (Tabela 24), relacionando a quantidade de biomassa produzida (kg) a cada kg de nutriente utilizado. O CUB foi calculado para a fração folhas, por ser um dos principais locais onde ocorre a síntese de compostos para as plantas, o fuste, porção geralmente extraída para uso em situações de manejo de florestas naturais e a biomassa total, indicando a eficiência da floresta como um todo na construção da sua biomassa.

TABELA 24: Coeficientes de utilização biológica dos nutrientes para a biomassa de folhas, fuste (madeira + casca) e total das duas fases sucessionais. Santa Tereza, RS. 2003.

Nutriente	Capoeirão			Floresta Secundária		
	Folhas	Fuste	Total	Folhas	Fuste	Total
N	31,4	137,9	88,2	32,2	169,8	96,3
P	590,9	2184,3	1553,3	651,1	2735,5	1639,8
K	54,2	204,5	149,4	57,9	271,6	162,5
Ca	38,9	89,9	60,6	52,9	90,9	66,8
Mg	264,9	994,2	705,0	225,4	590,4	483,4
S	377,8	1841,9	1388,9	532,8	1763,3	1167,1
B	15260,9	95076,7	42550,6	18218,7	107094,0	49920,1
Cu	72012,5	257707,9	131973,4	78137,8	240409,5	131356,8
Fe	9291,9	21452,1	1348,0	4856,6	5387,2	1369,1
Mn	7811,5	66921,9	17582,7	4537,0	6918,8	5893,9
Zn	18288,9	74945,7	39526,4	22685,2	45657,8	30380,0

Para os nutrientes N, P, K, Ca e B, a eficiência de utilização aumentou com o avanço da sucessão vegetal, sendo maior na floresta mais velha, tanto para a fração folhas e fuste como para a biomassa total.

O Mg apresentou redução de sua eficiência de uso com o avanço da sucessão vegetal, para ambas as frações e total. Outros nutrientes, como S e Cu apresentaram aumento da eficiência de utilização na fração folhas e redução em relação ao fuste e biomassa total. O ferro diminuiu sua eficiência de utilização na fração folhas e fuste, aumentando em relação à biomassa total, em função da idade da *subseres*. O Mn apresentou redução da eficiência de utilização em função da idade, para as folhas e biomassa total, mas aumentou na fração fuste. O Zn aumentou sua eficiência nas folhas e diminuiu na fração fuste e na biomassa total.

Considerando que as duas fases sucessionais que são comparadas em relação à variação do CUB localizam-se sobre solos com propriedades químicas diferenciadas sob alguns aspectos, é de se esperar que esses aspectos possam influenciar, de certa forma, os valores. No entanto, se as duas *subseres* forem interpretadas como uma sucessão de mesmo caráter, é vantajosa a elevação dos valores de CUB, uma vez que tal aspecto significa uma diminuição nos teores de nutrientes. Assim, tem-se uma maior quantidade de biomassa para uma menor quantidade de nutrientes no tecido vegetal considerado.

Se forem considerados os fustes das árvores do estrato arbóreo como as partes possíveis de serem extraídas para uso econômico da madeira, deve-se extrair somente as árvores de maiores dimensões, em florestas mais maduras, exportando-se assim menos nutrientes, uma vez que é nítida a tendência de elevação da eficiência de uso dos nutrientes com o aumento da idade da sucessão vegetal e, conseqüentemente, das árvores componentes desta floresta. Isso ocorre na fração fuste para a maioria dos

principais nutrientes (N, P, K, Ca, B e Mn), trocando-se Mn por Fe, na biomassa total.

De acordo com Reis & Barros (1990), tal aspecto ocorre devido à intensificação do processo de ciclagem bioquímica dos nutrientes, pela redistribuição dos mesmos dos órgãos senescentes para regiões com maior atividade metabólica.

Estes aspectos já apresentam ampla comprovação na literatura mundial para plantios de espécies exóticas. Turner & Lambert (1983), estudando a produção de biomassa em uma floresta de *Eucalyptus grandis*, sugerem que a colheita de biomassa seja feita a partir dos 15 anos, quando os teores de nutrientes no alburno diminuem significativamente. Schumacher et al. (2003) estudaram a produção de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus* sp., relatando que o coeficiente de utilização biológica aumenta com a idade para a maioria dos nutrientes.

Para espécies componentes de florestas naturais ainda são poucos os estudos que relacionam a sua capacidade de produzir biomassa a partir de certa quantidade de nutrientes. De uma maneira geral, as espécies utilizam mais eficientemente os macronutrientes na seguinte ordem:  $P > S > Mg > Ca > K > N$  (Schumacher *et al.*, 2003).

Nas duas fases sucessionais estudadas, para a biomassa total, a eficiência de utilização dos macronutrientes foi:  $P > S > Mg > K > N > Ca$ , para as duas fases sucessionais. Provavelmente, a boa disponibilidade de cálcio e nitrogênio no solo das duas áreas tenha influência sobre a baixa eficiência de uso dos mesmos.

Caldeira (2003) relata índices de eficiência de uso de nutrientes para N na maioria superiores ao deste estudo. Este autor calculou a eficiência de

uso para diferentes espécies componentes de uma área de Floresta Ombrófila Mista Montana, no estado do Paraná, onde ocorrem várias espécies comuns às áreas deste estudo.

Para o fósforo, a eficiência de uso nas duas *subseres* objetos deste estudo apresenta-se superior apenas a algumas espécies estudadas pelo autor acima.

Com exceção de algumas espécies, a eficiência de uso do potássio apresenta-se muito semelhante aos dados de Caldeira (2003), variando entre 120 e 170.

Por fatores já discutidos anteriormente, a eficiência de uso do Ca apresentou-se amplamente baixa nas duas *subseres* estudadas. A eficiência de uso do Mg apresentada por Caldeira (2003) é amplamente variável entre as espécies, o que coloca os dados deste estudo dentro do intervalo apresentado pelo autor, para as duas *subseres*. O mesmo acontece em relação ao enxofre.

Para os micronutrientes, a eficiência de uso na biomassa total das duas fases sucessionais seguiu a seguinte tendência:  $Cu > B > Zn > Mn > Fe$ . De acordo com Caldeira (2003), a eficiência de uso dos micronutrientes é amplamente variável entre as espécies, denotando grandes diferenças no uso e necessidade destes elementos entre as mesmas. Isso indica que os estudos devem ser conduzidos caso a caso, visando programas de pesquisa na área de nutrição vegetal.

A eficiência de uso dos nutrientes varia com a espécie e com o tipo de vegetação (Drumond, 1996). As espécies de mata natural consomem mais nutrientes do que as de plantios puros, possivelmente em função da

maior disponibilidade dos nutrientes no solo, decorrentes de uma ciclagem e liberação mais uniformes.

Dentro de um grupo semelhante de espécies e de um mesmo tipo florestal, como neste estudo, a tendência de aumento da eficiência de utilização da maioria dos nutrientes é esperada com o aumento da idade da sucessão vegetal. Isso pode ocorrer em função de adaptações às perdas anuais de nutrientes e do aumento das taxas de reutilização dos mesmos.

Tais aspectos podem fornecer indicativos de interesse para o manejo sustentado destas áreas, uma vez que, em árvores adultas, as quais poderiam, ao menos teoricamente, serem aproveitadas para a produção de madeira, a proporção de cerne aumenta em relação ao alborno. Este aspecto é vantajoso, uma vez que o cerne tende a apresentar menores teores de nutrientes, podendo então ser colhida uma quantidade maior de biomassa, exportando proporcionalmente uma menor quantidade de nutrientes. A biomassa de frações que apresentam menores índices de eficiência de uso de nutrientes, tais como folhas, permaneceriam na floresta. Também frações como galhos mortos e, ao menos, parte dos galhos vivos também compensariam esta extração de nutrientes que ocorreria com a retirada dos fustes.

Para uma melhor visualização destes aspectos, a distribuição relativa da biomassa e dos nutrientes (acima e abaixo do solo), incluindo a serapilheira, é mostrada nas Tabelas 25 e 26.

Se forem consideradas todas as árvores com  $CAP \geq 10$  cm como possíveis de serem manejadas dentro do contexto total da floresta, o capoeirão apresenta 41,3% de sua biomassa nas frações madeira e casca destas árvores, com 26,2% do N (menor remoção) e 34,8% do C (maior





Para que seja averiguado o impacto exato da extração dos fustes de maiores dimensões em atividades de manejo, estudos específicos são necessários, com a determinação da biomassa e teor de nutrientes nas frações destas árvores a serem removidas, além, é claro, dos impactos causados à vegetação circundante e ao solo, pelas diversas atividades envolvidas na extração.

As maiores perdas de biomassa e nutrientes em estágios sucessionais de florestas, principalmente dos mais jovens, se dão por atividades de agricultura migratória (corte, queima, cultivo, abandono). Com os dados das Tabelas 25 e 26, pode-se ter uma idéia do impacto nutricional causado por estas práticas. A biomassa é destruída em torno de 80% pela passagem do fogo, além de outros aspectos danosos, tais como a morte da fauna edáfica dos primeiros centímetros de solo pela queima da matéria orgânica nesta camada e destruição das raízes finas superficiais, a poluição do ar e de rios, quando da lavagem das cinzas pelas chuvas que se sucedem à queimada, antes que uma nova camada de vegetação consiga se estabelecer no local.

Quanto aos nutrientes, se for descontada a fração raízes, mesmo sabendo-se que uma parte significativa das raízes finas pode ser queimada na camada superficial, orgânica do solo, em média 75% e 60%, entre macro e micronutrientes, respectivamente, são perdidos na queima, no capoeirão e na floresta secundária.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A respeito do acúmulo de biomassa acima e abaixo do solo é possível concluir que:

- O acúmulo de biomassa acima do solo atinge 102,26 Mg ha<sup>-1</sup> no capoeirão, com 49,95% de madeira do fuste, 20,68% de galhos vivos, 14,24% de lianas, 7,51% de casca, 3,40% de madeira/galhos do estrato arbustivo, 2,25% de folhas, 0,92% de estrato herbáceo, 0,80% de galhos mortos e 0,24% de folhas do estrato arbustivo;
- A floresta secundária acumula mais biomassa acima do solo, com 157,64 Mg ha<sup>-1</sup>, composta por 52,41% de madeira do fuste, 28,37% de galhos vivos, 6,76% de casca, 4,97% de lianas, 2,65% de madeira/galhos do estrato arbustivo, 2,23% de folhas, 1,94% de galhos mortos, 0,48% de estrato herbáceo e 0,19% de folhas do estrato arbustivo;
- A biomassa de raízes grossas ( $d > 2$  mm) tem acúmulo superior na floresta secundária, com 38,83 Mg ha<sup>-1</sup> e 24,95 Mg ha<sup>-1</sup> do capoeirão;
- As raízes finas ( $d \leq 2$  mm) apresentam biomassa total amplamente superior no capoeirão, com 7,93 Mg ha<sup>-1</sup> e com 2,84 Mg ha<sup>-1</sup> na floresta secundária;
- A densidade de raízes finas é amplamente superior na primeira camada de solo, principalmente no capoeirão. Este valor é superior na floresta secundária somente na última camada, ocorrendo uma maior distribuição das raízes finas em profundidade, nesta *subsere*,

em função da maior profundidade do solo. No capoeirão, 45,5% e 67,8% das raízes finas estão entre 0-10 e 0-20 cm, respectivamente, contra 29,9% e 52,1% na floresta secundária;

- A serapilheira acumulada sobre o solo atinge 7,25 Mg ha<sup>-1</sup> no capoeirão e 9,81 Mg ha<sup>-1</sup> na floresta secundária, apresentando participação expressiva de material lenhoso de maiores dimensões, os quais representam 29,3% da serapilheira no capoeirão e 33,5% na floresta secundária.

Sobre os teores e as reservas acumuladas de nutrientes na biomassa acima e abaixo do solo conclui-se que:

- A fração que apresenta os maiores teores de macronutrientes na biomassa das árvores é, em geral, a das folhas, havendo condições de igualdade quanto a algumas frações, como em relação aos teores de Ca na casca;
- Em relação aos micronutrientes, ocorrem maiores variações em seus teores nas frações de biomassa, nas quais as folhas perdem a prioridade de conter Cu, Fe e Zn para o estrato herbáceo da floresta secundária e Mn para a casca da mesma floresta;
- A biomassa acima do solo acumula, no capoeirão, em kg ha<sup>-1</sup>, 41808,1 (C); 1097,7 (N); 67,2 (P); 743,4 (K); 1681,4 (Ca); 132,6 (Mg); 77,6 (S); 1,96 (B); 0,70 (Cu); 6,47 (Fe); 3,01 (Mn) e 2,19 (Zn);
- Na floresta secundária, o acúmulo de nutrientes na biomassa acima do solo alcança, em kg ha<sup>-1</sup>, 65473,6 (C); 1531,5 (N); 94,0 (P);

1005,7 (K); 2443,3 (Ca); 288,8 (Mg); 114,7 (S); 2,54 (B); 1,09 (Cu); 27,91 (Fe); 23,96 (Mn) e 4,34 (Zn);

- Os teores de nutrientes na biomassa de raízes são, em geral, menores que na biomassa acima do solo. Exceções ocorrem quanto ao Fe, provável produto de contaminação das raízes com solo;
- As raízes apresentam, em kg ha<sup>-1</sup>, 13520,7 de C, 434,0 de N, 19,8 de P, 161,2 de K, 549,2 de Ca, 59,2 de Mg, 19,8 de S, 1,22 de B, 0,33 de Cu, 93,8 de Fe, 4,68 de Mn e 1,23 de Zn para o capoeirão. Na floresta secundária, as raízes acumulam 17156,9 de C, 566,7 de N, 29,2 de P, 237,5 de K, 579,3 de Ca, 129,2 de Mg, 58,4 de S, 1,51 de B, 0,45 de Cu, 119,6 de Fe, 10,32 de Mn e 2,31 de Zn;
- Os teores de nutrientes na serapilheira foram equilibrados em relação às duas fases sucessionais, nas quais somente o Mn e o Zn apresentaram maiores teores na serapilheira do capoeirão;
- A serapilheira apresenta, no capoeirão, em kg ha<sup>-1</sup>, um estoque de 2825,6 (C); 95,0 (N); 3,6 (P); 18,1 (K); 156,0 (Ca); 13,8 (Mg); 6,5 (S); 0,28 (B); 0,08 (Cu); 9,83 (Fe); 2,83 (Mn) e 0,37 (Zn). Na floresta secundária, o acúmulo de nutrientes na serapilheira é de, em kg ha<sup>-1</sup>, 3762,4 (C); 115,8 (N); 4,9 (P); 26,5 (K); 220,7 (Ca); 15,7 (Mg); 6,9 (S); 0,31 (B); 0,11 (Cu); 9,94 (Fe); 1,82 (Mn) e 0,38 (Zn).

Sobre a caracterização do solo das duas fases sucessionais pode-se concluir que:

- A densidade do solo apresenta menores valores na camada superficial de solo, aumentando até 30 cm e, após isso, apresentando valores variáveis, para as duas fases sucessionais. O

capoeirão apresenta valores maiores de densidade do solo, os quais podem causar algum tipo de impedimento ao pleno desenvolvimento das raízes, principalmente a partir da terceira camada de solo;

- O solo das duas *subseres* apresenta características de boa ou suficiente fertilidade. Apenas os teores de P, nas duas áreas, e os teores de K, no capoeirão, são considerados baixos.
- O pH apresentou níveis levemente inferiores no solo do capoeirão, o que pode dificultar a absorção de alguns nutrientes, como exemplo o P. Na floresta secundária, o pH é considerado ideal para a absorção da maioria dos nutrientes requeridos às plantas;
- Os níveis de Ca e Mg são altos, havendo uma boa disponibilidade destes nutrientes para as plantas, nas duas áreas;
- A saturação de bases (V%) e CTC efetiva apresentam valores significativos, permitindo uma boa disponibilidade da maioria dos nutrientes do solo das duas florestas;
- Os níveis de matéria orgânica, carbono orgânico e nitrogênio total são superiores nas camadas superficiais de solo, sendo condicionados pela deposição e decomposição dos resíduos orgânicos vegetais, principalmente a serapilheira;
- A quantidade de nutrientes acumulados no solo do capoeirão, até 60 cm de profundidade, em  $\text{kg ha}^{-1}$ , foi de: 112855,8 (C); 9728,2 (N); 24,6 (P); 298,8 (K); 35794,9 (Ca) e 5222,4 (Mg). Na floresta secundária, o acúmulo foi de: 112579,3 (C); 9704,3 (N); 25,3 (P); 553,3 (K); 30930,2 (Ca) e 4402,2 (Mg).

Quanto aos aspectos relacionados à dinâmica nutricional das duas *subseres*, conclui-se que:

- A eficiência de utilização dos nutrientes tende a aumentar com a idade da sucessão vegetal, para a maioria dos elementos estudados, principalmente em relação à fração folhas, o que implica em melhor aproveitamento dos nutrientes pelas árvores de maiores dimensões;
- A baixa eficiência de utilização de alguns nutrientes por parte das plantas pode estar relacionada a sua grande disponibilidade no solo, como é caso do cálcio;
- A fração da biomassa total com maior acúmulo é a madeira. Sua participação na biomassa aumenta com o transcorrer da idade da floresta. Porém, esta fração não é a principal em acumular todos os nutrientes, perdendo para galhos vivos e raízes, em alguns casos. A madeira, no capoeirão, acumula mais somente P, K, S e na floresta secundária, mais Mg e C;
- O menor acúmulo relativo de biomassa ocorre na fração folhas do estrato arbustivo (capoeirão) com 0,2%, e no estrato herbáceo (floresta secundária) com 0,4%;
- A biomassa de lianas diminui significativamente com o avanço da idade da sucessão vegetal, sendo este um aspecto vantajoso para o manejo destas áreas com fins madeireiros;
- Recomenda-se que, nos diversos estágios de sucessão da Floresta Estacional Decidual do Rio Grande do Sul, as atividades de manejo para fins madeireiros e não-madeireiros (pesquisa, eco-turismo, educação ambiental, frutos, sementes, ervas medicinais, etc) devem ser priorizadas em relação à prática de agricultura migratória, com

ou sem o uso do fogo, em virtude do grande impacto que esta última pode causar ao sítio, removendo elevada quantidade de nutrientes e expondo o solo às intempéries ambientais.

Sobre a necessidade de novos estudos que irão auxiliar o entendimento da dinâmica nutricional de diferentes fases sucessionais em Floresta Estacional Decidual, pode-se recomendar que:

- O manejo e a silvicultura de áreas de Floresta Estacional Decidual, ou de plantios usando espécies componentes desta, necessita de estudos que apontem as necessidades nutricionais específicas dessas espécies, tanto em nível de floresta como em viveiro;
- Os dados de estudos diversos sobre a dinâmica sucessional destas áreas, tais como florística e fitossociologia, crescimento das árvores, fenologia, deposição e decomposição da serapilheira e seu aporte nutricional ao solo, banco de sementes e plântulas, entrada de nutrientes pela água da chuva, características do solo e a preferência das espécies por *habitats* diferenciados, bem como a quantificação da biomassa acima e abaixo do solo, etc., devem ser correlacionados visando a formulação de teorias que respaldem o entendimento da dinâmica sucessional de áreas de Floresta Estacional Decidual e forneçam subsídios ao manejo sustentado visando o uso e a conservação deste ecossistema.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas.** Rio de Janeiro, 1997. 166p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.

ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. Distribuição de raízes finas do pinheiro bravo (*Podocarpus lambertii*) e do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*). In: **Pesquisas Austro-Brasileiras 1973-1982.** Santa Maria. UFSM, 1983a, p 56-67. 112 p.

ANDRAE, F.; KRAPPENBAUER, A. **Inventário de um reflorestamento de araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte II: Inventário de nutrientes** In: PESQUISAS AUSTRO-BRASILEIRAS 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*. Santa Maria. UFSM, 1983b. P 30-55. 112 p.

ATKINSON, D. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. **Plant and Soil**, The Hague, v. 71, p. 23-35, 1983.

BARBOSA, J. H. C. **Dinâmica da serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica (Reserva Biológica de Poço das antas – RJ).** Seropédica, RJ, 1999. 135 p., Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999.

BONNER, J.; GALSTON, A. W. **Princípios de Fisiologia Vegetal.** 1973. 485 p.

BORMANN, H. F.; LIKENS, G. E. The nutrient cycles of an ecosystem. **Scientific Am.**, v. 233, n. 4, p. 92-101, 1970.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Inventário Florestal Nacional: Floresta Nativa,** Rio Grande do Sul. Brasília, 1983.

BROWN, S.; LUGO, A. E. The storage and production of organic matter in tropical forest and their role in global carbon cycle. **Biotropica**, Washington, v. 14, p. 161-187, 1982.

BRUBACHER, D.; ARNASON, J.T.; LAMBERT, J.D.H. Woody species and nutrient accumulation during the fallow period of milpa farming in Belize, C. A. **Plant and Soil**, v.114, p.165-172, 1989.

BRUN, E. J. **Dinâmica da deposição de serapilheira em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no município de Santa Tereza, RS**. Santa Maria, 2002. 61 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

BRUN, E. J. **Quantificação da biomassa vegetal aérea na área de alagamento do Complexo Energético Rio das Antas**. Porto Alegre: CERAN (Complexo Energético Rio das Antas), 2003. 51 p. (Relatório de Pesquisa).

BRUN, E. J.; SCHUMACHER, M. V.; VARGAS, C. O.; VACCARO, S. Ciclagem de nutrientes via deposição de galhos grossos em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2. 2002. Viçosa, MG. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 2002.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, em General Carneiro, Paraná**. Curitiba, 2003. 176 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2003.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ. 1997. 132 p.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba: UFPR, 1991. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, 1991.

CASTLE, W. S. Citrus root systems: their structure, function, growth and relationship to tree performance. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 3, p. 62-69, 1978.

CAVELIER, J. Fine – root biomass and soil properties in a semideciduous and a lower montane rain Forest in Panama. **Plant and Soil**, v. 142, p. 187-201, 1991.

CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; LEAL, M. L. Distribuição do sistema radicular de coqueiro gigante do Brasil submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 327-332, 1996.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendação de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. SBCS: Passo Fundo, RS. 3ª edição. 1995. 224 p.

COOMBE, D. E. An analysis of the growth of *Trema guineensis*. **Journal of Ecology**, v. 48, p. 219-231, 1960.

CUNHA, G. C. **Aspectos da Ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma Floresta Estacional do Rio Grande do Sul**. Piracicaba: ESALQ – USP, 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP. 1997.

CUNHA, G. C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A. BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-64, 1993.

DEMATTÊ, J. L. I. Characteristics of Brazilian soils related to root growth. In: **The soil root system in relation to Brazilian Agriculture**. Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, Londrina, Paraná, 1981, 372 p.

DRUMOND, M. A. **Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na Mata Atlântica, região do médio Rio Doce, MG**. Viçosa, MG. 1996. 73 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa. 1996.

ESAU, K. A raiz – estágio primário do crescimento. In: ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Editora Edgard Blucher LTDA, 1974, p. 135-148.

EWEL, J. J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in Eastern Guatemala. **Journal of Ecology**, v. 64, p. 293-308, 1976.

FELDMAN, J. L. The habits of roots. What's up down under? **BioScience**, v. 38, n. 9, p. 612-618, 1988.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC. 1992. 269 p.

GANDOLFI, S. **Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta residual na área do Aeroporto Internacional de São Paulo, município de Guarulhos, SP**. Campinas: UNICAMP, 1991. 232 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, 1991.

GARDNER, R. H.; MANKIN, J. B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P. D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press. 1981. Cap. 8, 451-497.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R.G. La biomassa y la estructura mineral de algunos bosques de Darién, Panamá. **Turrialba**. v. 21, n. 2, p. 189-196. 1971.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G. L.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta - São Paulo: EPU. Editora da USP, 1978. 256 p.

GÓMEZ-POMPA, A. Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical. **Biotropica**, v. 3, p. 125-135, 1971.

GÓMEZ-POMPA, A.G.; VASQUEZ-YANES, C.V. Successional studies of a rain forest in Mexico. In: WEST, D.C.; SHUGART, H.H.; BOTKIN,

D.B. (eds.) **Forest Succession – Concepts and Application**, New York, Springer-Verlag Press, 1981. pp. 247-266.

GONÇALVES, J.L. de M.; FREIXÊDAS V.M.; KAGEYAMA, P.Y. *et al.* Produção de biomassa e sistema radicular de espécies de diferentes estágios sucessionais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, pt.2, p. 363-367, 1992a (Edição Especial).

GONÇALVES, J.L. de M.; KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS V.M. *et al.* Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v.4, pt.2, p. 463-469, 1992b (Edição Especial).

GRAY, D. H.; LEISER, A T. Role of vegetation in the stability and protection of slopes - Root reinforcement. In: BIOTECHNICAL SLOPE PROTECTION AND EROSION CONTROL. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1982, p. 39-53.

HAAG, H. P. A nutrição mineral e o ecossistema. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 49-52, 249 p., 1987.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 1, p. 153-166. 1998.

HOPPE, J. M. **Biomassa e nutrientes em *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. Estabelecido no município de Dom Feliciano - RS**. Santa Maria, 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo do carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O

BRASIL, 1994. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 38-76, 1994.

JUSOFF, K. Effect of compaction of soils on growth of *Acacia mangium* Willd. Under glasshouse conditions. **New Forests**, v. 5, p. 61-66, 1991.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres. 1978. 230 p.

KLEIN, R. M. Aspectos fitofisionômicos da floresta estacional da fralda da Serra Geral (RS). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 34., 1983, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1983, 2 v., v. 1, p. 73-110.

KLEIN, R. M. Síntese ecológica da floresta estacional da bacia do Rio Jacuí e importância do reflorestamento com essências nativas (RS). In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., 1984, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1984. 3 v., v. 2, p. 265-278.

KÖNIG, F. G.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade de deposição de serapilheira numa Floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria, RS. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 26, n. 4, p. 429-435. 2002.

KRAMER, R.J.; KOSLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Gouldbenkian, 1972. 745 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEITÃO FILHO, H. de F. (Coord.). **Ecologia da mata atlântica em Cubatão (SP)**. São Paulo: Ed. UNESP, 1993. 184 p.

LONGHI, S. J.; VACCARO, S.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J. **Dinâmica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no RS**. Santa Maria: UFSM - DCFL/FAPERGS. 2004. (Relatório de Pesquisa). Departamento de Ciências Florestais – CCR – UFSM. 2004. 120 p.

LOUZADA, M. A. P.; ADRIANA, C.; BARBOSA, J. H. C.; GARAY, I. O aporte de matéria orgânica ao solo: quantificação, fenologia e suas relações

com a composição específica em área de Floresta Atlântica de Tabuleiros. **Leandra**, v. 12, p. 27-32. 1997.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p. 77-116.

MILLER, H. G. The influence of stand development on nutrient demand , growth and allocation. **Plant and Soil**, v. 168/169, p. 225-232, 1995.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6ª Edição, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 2001, 927 p.

OLIVEIRA, R. R.; LACERDA, L. D. Produção de serapilheira em estágios sucessionais de Floresta Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Rev. Bras. Bot.**, v. 28, n. 1, p. 93-99. 1999.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers in ecological systems. **Ecology**, v.44, p. 322-331, 1963.

PAULA, J. E.; IMAÑA-ENCINAS, J.; PEREIRA, B. A. S. Parâmetros volumétricos e da biomassa da mata ripária do Córrego dos Macacos. **Cerne**, v. 2, n. 2, p. 91-105, 1996.

POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2. São Paulo-SP. Anais...p 734-739, 1992.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, W. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF-ESALQ/USP. Piracicaba, SP. 2000. p. 287-308.

PRITCHETT, W. L. **Properties and Management of Forest Soils**. John Wiley and Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto. 1979, 500 p.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento.** Impreso no México, 1990. 634 p.

PRITCHETT, W. L.; FISHER, R. F. **Properties and Management of Forest Soils.** (2ªed.) New York: John Wiley & Sons. 1987. 494 p.

PROCTOR, J. Nutrient cycling in primary and old secondary rainforests. **Applied Geography**, v. 7, p. 135-152. 1987.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.) **Relação Solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

REITZ, R. KLEIN, R. M. REIS, A. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul.** Convênio: Herbário Barbosa Rodrigues, SUDESUL e DRNR. Editora da CORAG: Companhia rio-grandense de artes gráficas. Porto Alegre, 1988. 525 p.

RUGANI, C. A.; SCHLITTLER, F. H. M.; CARVALHO, J. B. Biomassa e estoque de nutrientes nos vários compartimentos de uma Floresta Secundária de Terra Firme em Manaus, AM. **Naturalia**, São Paulo, v. 22, p. 103-113. 1997.

SAINJU, U. M.; GOOD, R. E. Vertical root distribution in relation to soil properties in New Jersey Pinelands forests. **Plant and Soil**, v. 150, p. 87-97, 1993.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As Florestas e o Carbono.** Curitiba: UFPR: Imprensa Universitária. 2002. p. 119-140.

SCHLITTLER, F. H. M.; DE MARTINS, G.; CESAR, O. Produção de serapilheira na floresta do Morro do Diabo, Pontal do Paranapanema - SP. **Naturalia**, São Paulo, v. 18, p. 135-147, 1993.

SCHUMACHER, M. V. Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Messel. Piracicaba:

ESALQ, 1992. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, 1992. 87 p.

SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1. 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1996.

SCHUMACHER, M. V.; COPETTI, L.; CAPRA, A.; HERNANDES, J. I.; SUTILI, F. J.; BALBINOT, R. Quantificação da biomassa e comprimento de raízes finas em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. no município de Butiá, RS. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL — Santa Maria – UFSM - 1999 - **Anais...** Santa Maria, RS, 1999, p. 213-217.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; WITSCHORECK, R.; SALVADEGO, M. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades.** Santa Maria: UFSM/FATEC. 2003. 112 p. (Relatório de Pesquisa).

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de florestas inequidêneas heterogêneas.** Santa Maria: CEPEF/FATEC. 2000. 195 p.

SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul.** Convênio UFSM/SEMA. 2001. [www.sema-rs.gov.br](http://www.sema-rs.gov.br). Acessado em 16/05/2004.

SINGH, K. P.; SRIVASTAVA, S. K. Seasonal variations in the spatial distribution of root tips in teak (*Tectona grandis* Linn. F.) plantations in the Varanasi Forest Division, India. **Plant and Soil**, The Hague, v. 84, p. 93-104, 1985.

SNEDAKER, S. C. Successional immobilization of nutrients and biologically mediated recycling in tropical forests. In: EWEL, J. (ed.) Tropical succession. **Biotropica** (Supplement), Washington, v.12, p. 16-22, 1980.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul.**

Porto Alegre, RS: Emater/RS; UFRGS, 2002. 107 p.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS. 118 p. (Boletim Técnico). 1995.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária. 1997. 247 p.

TURNER, J. Organic matter accumulation in a series of *Eucalyptus grandis*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 17, n.2/3, p 231-242, 1986.

VACCARO, S. **Caracterização fitossociológica de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, no município de Santa Tereza - RS**. Santa Maria, 1997. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

VACCARO, S. **Crescimento de uma Floresta Estacional Decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Tereza - RS**. Santa Maria, 2002. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

VACCARO, S.; HESS, A. F.; LONGHI, S. J. Estudo da composição florística e estrutura da vegetação arbórea da sede do município de Santa Tereza - RS. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1992. 2 v., v. 1, p. 395-415.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica ecológica da vegetação Neotropical. **Bol. Téc. Projeto RADAMBRASIL**, Salvador, n. 1, 1982, 80 p. (Série Vegetação).

VITAL, R. T. **Efeito do corte raso e no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Piracicaba: ESALQ, 1996. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1996.

VITOUSEK, P. M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **American Naturalist**, v.119, n.4, p. 553-572, 1986.

VITOUSEK, P. M. ; SANFORD, R. L. Jr. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 137-167, 1986.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: UFPR: Imprensa Universitária. 2002. p. 153-173.

WILLIAMS-LINERA, G.W. Biomass and nutrient content in two successional stages of tropical wet forest in Uxpanapa, Mexico. **Biotropica**, Washington, v.15, n.4, p. 275-284, 1983.