

## Relações entre caducifolia e reenfolhamento da Floresta Estacional Semidecidual com Lai e ndvi

Thomaz Correa e Castro da Costa<sup>1</sup>  
Juliana Leite Ribeiro<sup>2</sup>  
Fabrício Nascimento Ferreira<sup>3</sup>  
Marielle Aparecida de Moura Raid<sup>4</sup>  
Gabriel Avelar Miranda<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS  
Caixa Postal 151 - 35701-970 – Sete Lagoas - MG, Brasil  
thomaz@cnpms.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de São João Del Rei - UFSJ  
Rodovia MG-424, km 65 - CEP 35701-970 - Sete Lagoas – MG, Brasil  
[julianaribeiro.ufsj@hotmail.com](mailto:julianaribeiro.ufsj@hotmail.com)

<sup>3</sup> Escola Técnica Municipal de Sete Lagoas - ETMSL  
Av. Prefeito Alberto Moura, 1111 - CEP 35702-216 - Sete Lagoas – MG, Brasil  
fabricionascimento92@hotmail.com

<sup>4,5</sup> Centro Universitário de Sete Lagoas – UNIFEMM  
R. Pedra Grande, 2268 - CEP 35701-242 - Sete Lagoas – MG, Brasil  
marielleraid@yahoo.com.br, gabriel.avelar@gmail.com

**Abstract.** Nutrient cycling is the survival mechanism of natural environments. In regions with dry periods, this phenomenon has greater intensity and variation, which can be detected by remote sensing. This study was intension to know the relationship between the deposition of litter (leaves), Lai and ndvi generated by Landsat and IRS. Permanent plots were installed at 8 forest monitoring sites which were visited monthly to collect measurements of Lai and litter deposited in networks on period of the one year. In this period were obtained and processed Landsat 5 and IRS for geometric and atmospheric correction, and generation of ndvi. The hydric balance was calculated for this period too. The correlations between variables weight of leaves, lai, ndvi, hydric balance, were obtained. The results show this phenomenon can be modeled, but need more research. The tendency of the variables vs. period was explained for the quadratic functions, and many correlations was significant with lai and ndvi. This anabled adjust a regression function. The varied behaviors among the monitoring sites helped know differences at the deposition of leaves detected by remote sensing.

**Palavras-chave:** serapilheira, IRS, Thornthwaite, folhas, litter, IRS, Thornthwaite, leaves.

### 1. Introdução

A ciclagem de nutrientes é o mecanismo de sobrevivência de ambientes naturais. Seu estudo desempenha um papel importante no conhecimento da dinâmica dos processos internos dos ecossistemas naturais (Brun et al. 1999; Feger e Raspe, 1998; Cunha, 1997).

A queda de folhas, galhos, flores e frutos sustentam a camada superficial do solo para nutrir espécies arbóreas em solos com baixa fertilidade, inclusive em solos com cascalho, matacões, com forte declive, sendo o princípio básico para recuperar ambientes degradados.

O tipo de vegetação e as condições ambientais são os fatores que mais influenciam na quantidade e qualidade do material que cai no solo (Moreira e Siqueira, 2002; Barichello et al., 2000).

A Floresta Estacional Semidecidual é uma vegetação que está condicionada pela estacionalidade climática tropical, com um período de intensas chuvas de verão, e outro por

estiagem acentuada, com uma dinâmica dependente do estoque de água no solo (Konig et al., 2002).

A quantidade de material vegetal que cai do dossel formando a serapilheira em Florestas Estacionais atinge toneladas por hectare. Considera-se serapilheira acumulada todo o material depositado na superfície do solo de uma floresta em uma determinada época, que pode ser mensurado pela deposição em coletores de tamanhos pré-fixados por unidade de tempo (Poggiani e Schumacher, 2000).

Uma das finalidades de estimar a taxa de deposição da serapilheira está em mostrar a eficiência dos ecossistemas naturais em prover o solo com nutrientes necessários para sua manutenção. Outra finalidade é que esta é uma das vias de seqüestro de carbono, mais um serviço ecossistêmico que justifica a preservação destes ambientes.

Os diversos estudos de ciclagem de nutrientes em florestas não trabalham este monitoramento com variáveis orbitais, que seria uma tentativa de detecção por sensoriamento remoto com dados de campo, identificando comportamentos padrões neste processo que possibilite modela-lo.

A relação de índices de vegetação do sensoriamento remoto, como o ndvi, com a área foliar é bem conhecida, principalmente em vegetação natural (Fan et al., 2009; Wang et al., 2005; Costa et al., 2002; Friedl et al., 1995). A principal limitação desta relação empírica é a saturação do ndvi em ambientes florestais mais densos, principalmente as tipologias Ombrófilas. Em florestas estacionais estes índices permitem fortes relações com o Lai.

No monitoramento da deposição da serapilheira e do reenfolhamento, determinados pela sazonalidade, o principal parâmetro é a área foliar. Uma das formas para estimar área foliar em campo é por meio de instrumentos baseados na razão de transmissão da energia eletromagnética.

Testar a hipótese de que a caducifolia e o reenfolhamento tem relação com a área foliar e o ndvi é o objetivo deste trabalho. A obtenção de relações significativas entre deposição da serapilheira e o Lai permite obter relações com o ndvi, considerando o Lai a variável intermediária. Desta forma pode ser possível estimar a deposição de nutrientes com o uso de imagens orbitais.

## 2. Metodologia de Trabalho

O estudo está sendo realizado em 8 fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual em contato com o Bioma Cerrado, ocorrentes na fazenda da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no Município de Sete Lagoas-MG. Foram utilizadas 24 parcelas do inventário fitossociológico, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas centrais (X, Y) UTM/Zona 23 WGS84 e altura geométrica (Z) das parcelas de 20 x 20 m distribuídas em áreas e fragmentos.

Fragmento	Area	Parcela	X(m)	Y(m)	Z(m)	Fragmento	Area	Parcela	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	1	1	585634	7844330	826	5	1	1	588363	7851128	713
		2	585661	7844349	833			2	588352	7851142	724
	2	1	585602	7844686	802		2	1	587294	7851179	749
		2	585618	7844657	818			2	587325	7851197	753
	3	1	585468	7844085	831		6	1	588458	7851281	736
		2	585500	7844098	840			2	588441	7851313	735
2	1	1	585747	7846422	796	3	1	588434	7851334	729	
		2	585775	7846445	787		7	1	588720	7851999	743
		3	585790	7846411	787			8	1	1	589268
3	1	1	586120	7846925	733	2	589289			7853140	707
		4	1	1	587084	7850907	782	2	1	1	588833
2	587053			7850900	773	2	588847			7853407	699

O fragmento 1 é uma regeneração de pastagem, comprovada em fotografia aérea de 1949, com menor diversidade florística e serapilheira rala; o fragmento 2 é de transição, Cerrado – Floresta Estacional Semidecidual; os fragmentos 4, 5 e 6 são remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual. A parcela no fragmento 7 tem grande ocorrência de vegetação herbácea, baixa densidade de árvores, com muitos indivíduos de grande porte. Os fragmentos 3 e 8 estão próximos de corpos hídricos, provavelmente são matas ciliares. A maioria destes fragmentos tem histórico de incêndios. O último ocorreu em outubro de 2012, nos fragmentos 1 e 2.

Em 2011 os dados climáticos indicaram a média de 22,24 °C para temperatura do ar, com a precipitação anual de 1446,3 mm e evapotranspiração potencial de 1073,2 mm. O balanço hídrico de Thornthwaite foi calculado para os meses de 2011 até outubro de 2012.

Para as Medições de Lai ( $m^2$  de folha/ $m^2$  de solo) foi utilizado o LAI-2200, que calcula a área foliar a partir da razão da energia difusa, B (Leitura abaixo do dossel)/A (Leitura acima do dossel) = T (transmitância), que é proporcional a distância desta energia ao detector, à quantidade de folhas por volume da copa, e à orientação das folhas.

As leituras foram feitas com *view cap* 45°, sob céu nublado ou nos horários de sol nascente, verificando sempre a estabilidade luminosa durante as mensurações. As leituras são realizadas sempre no meio do mês, e começaram em outubro de 2011, com uma leitura em cada rede coletora, sendo 5 por parcela, no total de 120 redes. O Lai é calculado por parcela.

As coletas de deposição da serapilheira em redes são feitas entre os dias 13 e 17 de cada mês. Durante a coleta é feita a triagem, quando são descartados galhos, e sementes e frutos são separados para trabalhos de germinação. As folhas são pesadas em balança analítica para obter a massa verde, o conteúdo de umidade (%), e a massa seca(g) após estabilização do peso amostrado, em estufa a 65°C.

Para gerar os ndvi's, foram selecionadas, 3 imagens Landsat 5 ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)) até o fim da sua recepção, complementando o período com 7 imagens IRS, sensor com características mais próximas do Landsat. As diferenças principais entre eles são a resolução espacial (30 m e 24 m de pixel) e radiométrica (8 bits e 7 bits), e uma pequena diferença nas faixas das bandas espectrais.

A correção atmosférica foi realizada com o módulo ATMOSC do Idrisi Taiga®, utilizando o modelo completo (*Full Model*). Todas as imagens estão com visibilidade acima de 10 km (informações do Serviço de Controle de Tráfego Aéreo no aeroporto de Confins). No parâmetro espessura ótica da atmosfera foi considerado somente o componente do vapor d'água para a banda do infravermelho próximo, como função da umidade relativa (dados da estação climatológica do Inmet em Sete Lagoas-MG). A proporção da energia difusa em relação à energia total foi estimada pelo método descrito em Bason (2012).

A correção geométrica foi realizada com o software GeotiffExamine® e o auxílio do software gráfico inkscape®, usando um ponto de referência para deslocar cada imagem. Como o relevo não é acidentado e as imagens vem com correções de deformação, esta forma de correção foi mais precisa do que as tentativas de correções polinomiais, mesmo com RMS menores do que ½ pixel.

Para extração do ndvi em cada parcela foi digitalizado um retângulo de 9 pixels centralizado no ponto da parcela. Este procedimento reduz a variabilidade do ndvi entre imagens, e é mais representativo do fragmento analisado.

As três variáveis, peso seco de folhas/ $m^2$ , Lai e ndvi foram analisadas em função do dia Juliano a partir de 01/01/2011 corrente até 31/12/2012. O período de análise iniciou em julho de 2011 até outubro de 2012 (Tabela 2).

Tabela 2. Datas de coleta da serapilheira, das medições de Lai e das imagens Landsat 5 (20/08/11 – 21/09/11) e do IRS (08/02/12 – 05/10/12), com respectivos dias Juliano (01/01/11 – 31/12/12).

P.s.folha(g/m <sup>2</sup> )			Lai(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )		ndvi	
Data	Dia Juliano	Periodo coleta	Data	Dia Juliano	Data	Dia Juliano
15/07/11	196					
15/08/11	227	31			20/08/11	232
13/09/11	256	29	13/09/11	256	05/09/11	248
11/10/11	284	28	19/10/11	292	21/09/11	264
16/11/11	320	36	16/11/11	320		
14/12/11	348	28	12/12/11	346		
16/01/12	381	33	15/01/12	380		
14/02/12	410	29	10/02/12	406	08/02/12	404
15/03/12	440	30	13/03/12	438	03/03/12	428
15/04/12	471	31	17/04/12	473	20/04/12	476
14/05/12	500	29	08/05/12	494		
15/06/12	532	32	20/06/12	537	01/07/12	548
15/07/12	562	30	13/07/12	560	25/07/12	572
14/08/12	592	30	14/08/12	592		
13/09/12	622	30	13/09/12	622	11/09/12	620
17/10/12	656	34	17/10/12	656	05/10/12	644

### 3. Resultados e Discussão

O déficit hídrico começou no dia Juliano 135 (Figura 1), com extremo no dia 256, retomando o excedente hídrico no dia 348. A umidade máxima no solo ocorreu no dia 381, retomando o déficit hídrico no dia 500.

O fenômeno da caducifolia respondeu ao estoque de água no solo, com inversão da taxa de mudança de queda aproximadamente no dia 425 (Figura 2), intermediário entre o início de excedente (348) e o início de déficit (500), variando sensivelmente conforme o fragmento, com exceção do fragmento 3, pelo fato do mesmo estar sobre um lençol freático a 2 metros de profundidade, que o torna pouco sensível ao período de estiagem. Esta condição edáfica faz com que o fragmento 3 tenha maior Lai (Figura 3), maior produção de serapilheira e uma queda menos regular que os demais fragmentos (Figura 2).

O Fragmento 2, transição Cerrado/Floresta Estacional Semidecidual, responde pela maior caducifolia. Mesmo com menor área foliar, este fragmento perdeu quantidades similares de folhas, comparadas aos fragmentos de maior Lai.

O início do re-enfollamento, medido pelo aumento da área foliar (Figura 3), depende mais do início das chuvas do que do excedente de água no solo, atingindo área foliar máxima entre os dias 450 e 500, dependendo do fragmento. Com o início do período de déficit (500), a área foliar inicia sua redução comandada pela caducifolia.

A associação deste fenômeno com dados climáticos é confirmada pelas curvas quadráticas inversamente proporcionais de queda de folhas e índice de área foliar, em que suas taxas de mudança estão compatíveis com o balanço hídrico mensal de Thornthwaite.

O ndvi é a variável descritora com menor precisão para este fenômeno, devido limitações da resolução espacial, radiométrica, cobertura de nuvens, e principalmente das interferências da atmosfera quando a análise é temporal. Seu uso justifica-se pela obtenção por SR e a perspectiva de modelagem, sem necessidade de coleta em campo, uma exigência operacional muito grande para este tipo de ensaio.

Na Figura 4 observa-se comportamento similar às curvas obtidas com Lai. Uma inconsistência é observada, o fragmento 1 obteve um dos maiores índices, próximo do

fragmento 3, contrapondo a sua área foliar. Os demais fragmentos apresentaram correspondência compatível com o Lai.

Os pontos de máximo ocorrem mais cedo do que os do Lai, entre os dias 400 e 450 dependendo do fragmento, que pode ser explicado pela perda de clorofila e redução da turgidez celular das folhas, aumentando a resposta espectral na faixa do vermelho e reduzindo na faixa do infravermelho próximo. Este fenômeno decaí o ndvi antes da resposta da caducifolia detectada pelo Lai.

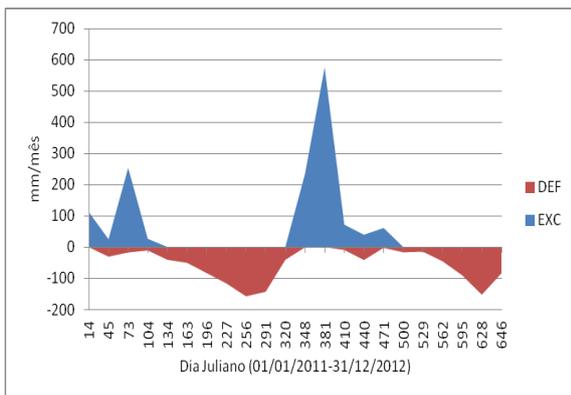


Figura 1. Balanço hídrico climatológico de Thornthwaite mensal de janeiro de 2011 a outubro de 2012. Obs. período de acumulação é entre os dias intermediários dos meses, compatível com a coleta de serapilheira.

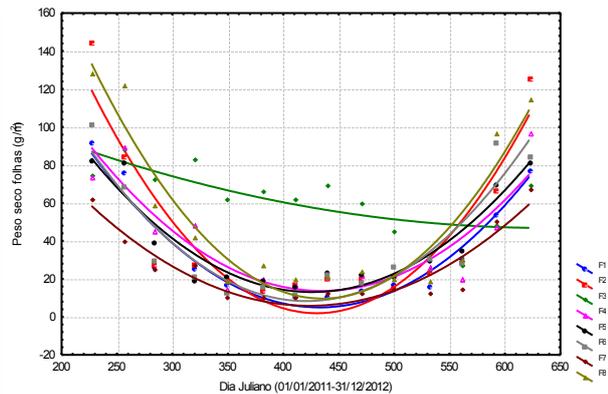


Figura 2. Peso seco de folhas ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) com tendência polinomial de 2º grau para os fragmentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

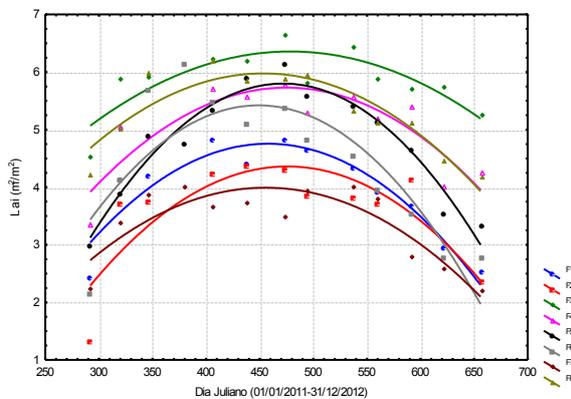


Figura 3. Lai ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ) com tendência polinomial de 2º grau para os fragmentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

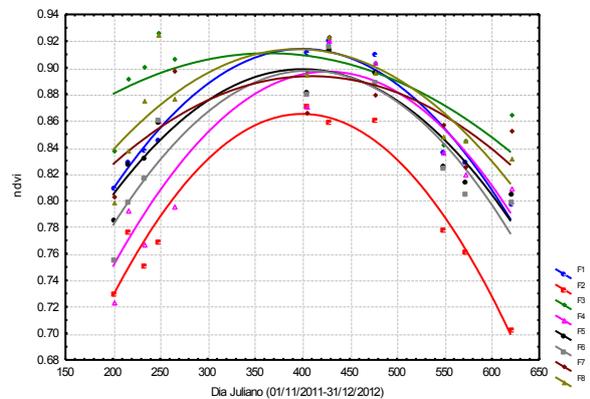


Figura 4. Ndvi com tendência polinomial de 2º grau para os fragmentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Ao testar as correlações lineares entre p.s.folha, lai e ndvi entre todos os fragmentos verificou-se que, exceto para o conjunto de dados dos fragmentos 3 e 7, a maioria foi significativa (dados não apresentados). Desta forma agrupou-se os dados dos fragmentos 1,2,4,5,6,8 na tentativa de testar uma equação para estimar peso seco de folhas ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{mês}$ ), em função do ndvi e do balanço hídrico. Nesta primeira aproximação obtiveram-se os coeficientes de correlação de Pearson (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Correlação de Pearson (sign. a 0.05 de probabilidade).

	Lai	ndvi	Def	Exc
p.s.folha	-0.40	-0.74	-0.82	-0.34

Tabela 4. Correlação de Pearson do peso seco de folhas ( $\text{g/m}^2/\text{mês}$ ) com o déficit hídrico e o excedente hídrico ( $\text{mm/mês}$ ). Val.< 0.29 n.s. 0.05 de probabilidade.

Var.	DEF	EXC	Var.	DEF	EXC
Pf_F1	-0.63	-0.37	ndvi_F1	0.57	0.48
Pf_F2	-0.60	-0.38	ndvi_F2	0.61	0.47
Pf_F3	-0.35	-0.02	ndvi_F3	-0.13	0.27
Pf_F4	-0.57	-0.41	ndvi_F4	0.64	0.39
Pf_F5	-0.62	-0.42	ndvi_F5	0.50	0.47
Pf_F6	-0.60	-0.43	ndvi_F6	0.49	0.46
Pf_F7	-0.58	-0.42	ndvi_F7	-0.33	0.07
Pf_F8	-0.65	-0.37	ndvi_F8	0.25	0.42
Lai_F1	0.85	0.20			
Lai_F2	0.62	-0.02			
Lai_F3	0.59	-0.05			
Lai_F4	0.69	-0.01			
Lai_F5	0.69	-0.01			
Lai_F6	0.87	0.45			
Lai_F7	0.84	0.28			
Lai_F8	0.83	0.28			

A melhor função de regressão foi (Equação 1)

$$\text{p.s.folha}(\text{g/m}^2/\text{mês}) = 212.0781 - 0.4577 * \text{def}(\text{mm/mês}) - 271.4446 * \text{ndvi} + 7.5511 * \text{lai} + 0.0187 * \text{exc}(\text{mm/mês}) \quad (1)$$

com  $R^2$  ajust. = 77,62%, as variáveis independentes significativas a 1% de probabilidade, RMS = 27.33, usando n=149.

Na Figura 5 é mostrada a capacidade de estimação da função. A opção de retirar o Lai da equação aumentou a inconsistência da equação (dados não mostrados). Deste ponto da pesquisa percebe-se que esta ainda não é a função ideal, tanto pela sua precisão, quanto pelas variáveis necessárias (usa dados de campo). É preciso estudar futuramente variáveis que podem explicar a fonte não controlada no resíduo, e é possível que estas variáveis possam estar na climatologia e no solo.

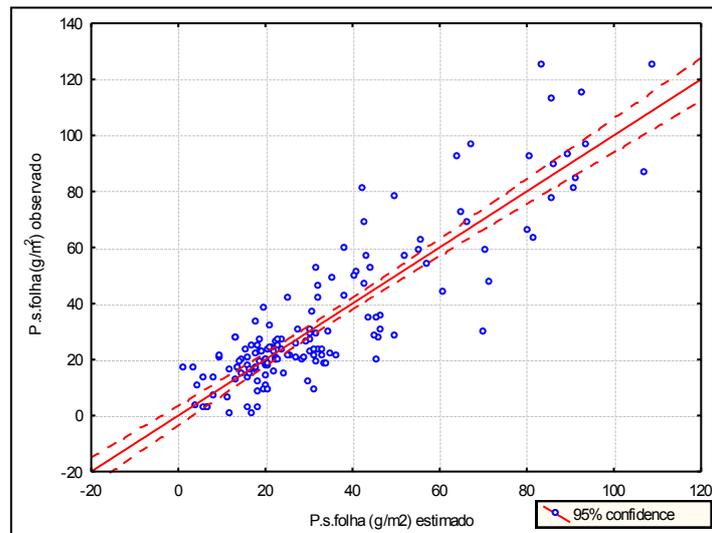


Figura 5. Peso seco de folhas observado em função do peso seco de folhas estimado.

#### 4. Conclusões

A variação da dinâmica da caducifolia entre os sítios de monitoramento ajudaram a conhecer diferenças na deposição de folhas possíveis de serem detectadas pelo sensoriamento remoto. Uma primeira aproximação com o intuito de estimar a produção de serapilheira em larga escala foi testada com dados orbitais e climatológicos. Ainda não foi possível a proposta de uma metodologia prática e de grande precisão para este fenômeno. Ao final desta pesquisa, espera-se conseguir modelar a produção de serapilheira, com o intuito de contribuir para estudos de ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e capacidade produtiva de biomassa de fragmentos florestais.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa por meio do projeto 561864/2010-1 “Parâmetros da fragmentação florestal como subsídio para qualidade ambiental e recuperação de ambientes degradados”, aos primeiros estagiários deste inventário, Douglas Paula Soares, Felipe Silva Guimarães, Dauler Perona Gomes. Agradecemos também aos que vem tornando possível o seu monitoramento, Sâmara Emiliana Fonseca Carvalho, Marcos Chamon, Sabrina, Carolina, João Herbert Moreira Viana, à equipe de apoio da Embrapa que auxiliou na montagem e manutenção deste ensaio, nas pessoas do Francimar e do Barão, à botânica Andréia Fonseca Silva e a Morgana Flávia Rodrigues Rabelo, do Herbário da Epamig, ao Mauro Antunes Homem, à fauna, por não terem ocorrido graves acidentes, a todos os colaboradores, visíveis e invisíveis, que contribuem para que esta pesquisa venha se realizando.

## Referências Bibliográficas

- Barichello, L. R.; Schumacher, M. V.; Vogel, H. L. M. .; Dallago, J. S. Quantificação dos nutrientes no solo e serapilheira de diferentes estágios sucessionais em um sistema de agricultura migratória. In: Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 3., 2000, Pelotas. **Resumos expandidos...** Pelotas, 2000. 1 CD-ROM.
- Bason, F. Diffuse Solar Irradiance and Atmospheric Turbidity. Disponível em: <<http://www.soldata.dk/PDF/Bason%20-%20Diffuse%20irradiance%20and%20visibility.PDF>>. Acesso em: 11 set. 2012.
- Brun, E. J.; Schumacher, M. V.; Vaccaro, S. Produção de serapilheira e devolução de nutrientes em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no município de Santa Tereza (RS). In: Simpósio de fertilização e nutrição florestal, 1., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1999. p.348-364.
- Costa, T.C.C.; Accioly, L. J. O.; Oliveira, M. A. J.; Burgos, N.; Silva, F.H.B.B. Phytomass mapping of the “Seridó Caatinga” vegetation by the plant área and the normalized difference vegetation indeces. **Scientia Agricola**, v. 59, n.4, p. 707-715, 2002.
- Cunha, G. C. Aspectos da ciclagem de nutrientes em diferentes fases sucessionais de uma floresta estacional do Rio Grande do Sul. 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1997.
- Fan, L.; Gao, Y.; Bruck, H.; Bernhofer, Ch. Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. **Theoretical and Applied Climatology**, V. 95 p. 151-156, 2009.
- Feger, K. H.; Raspe, S. Ökosystemforschung im chwarzwald: Auswirkungen von atmogenen einträgen und Restabilisierungsmassnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Fichtenwäldern. In: Raspe, Feger und Zotil (Hrsg). Verbundprojekt Arinus. Landsberg: Umweltforschung in Baden-Württemberg, 1998. p.1-18.
- Friedl, M. A.; Davis, F. W.; Michaelsen, J.; Moritz, M. A. Scaling and uncertainly in the relationship between the NDVI and land surface biophysical variables: na analysis using a scene simulation model and data from FIFE. **Remote sensing of Environment**, v. 54 p. 233-246, 1995.
- Konig, F. G.; Schumacher, M. V.; Brun, E. J. et al. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p. 429-435, 2002.
- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 625p.
- Poggiani, F.; Schumacher, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: Gonçalves, J.L.M.; Benedetti, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais. 2000. p.287-308.
- Wang, Q.; Adiku, S.; Tenhunen, J.; Granier, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment** , v. 94 p. 244–255, 2005.