

# AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS E DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES DO MODELO DE ESTOQUE DE CARBONO DO APLICATIVO *INVEST*

Denise Jeton Cardoso<sup>1</sup>, Marilice Cordeiro Garrastazu<sup>2</sup>, André Eduardo Biscaia de Lacerda<sup>3</sup>,  
Rosana Clara Victoria Higa<sup>4</sup>, Maria Augusta Doetzer Rosot<sup>5</sup>

## Resumo

Avaliou-se o modelo de sequestro e estoque de carbono do aplicativo de modelagem de Serviços Ambientais (InVEST) na região no Alto Vale do Rio do Peixe (SC). Foi enfocada a aplicabilidade das variáveis utilizadas pelo modelo e a disponibilidade de informações para seu uso no Brasil. As análises indicam que o modelo é potencialmente aplicável, considerando-se as condições específicas observadas na área de estudo. No entanto, questões básicas como a inclusão de árvores mortas e galhos caídos no cômputo da necromassa, não são consideradas, conduzindo a possíveis subestimativas deste componente de carbono nos cálculos de sequestro e estoque do modelo. Observou-se, ainda, que no cenário nacional não há, em geral, disponibilidade de dados para o uso do modelo em escala de detalhe (maior que 1:100.000); entretanto, o modelo demonstra ser de grande utilidade para a avaliação em escala de paisagem.

**Palavras-chave:** modelagem, carbono, escala de paisagem

## Abstract

### *InVEST carbon model - variables evaluation and information availability*

In this study we evaluated the modeling application InVEST for sequestration and stock of carbon in order to determine if the model's parameters are applicable in the Brazilian context and to assess the availability of data to feed the model. We used as case study the Alto Vale do Rio do Peixe (SC, Brazil) watershed. Using this area, we assessed the availability of the necessary input data and the applicability of the parameters required in the national context. The parameters are in general of easy use but some gaps were observed. Specifically, carbon stock is basically considered in terms of leaf matter while dead wood is not considered; such a lack of information is particularly important for forested ecosystems as the ones observed in Brazil. Additionally, the scale in which the model can be used in Brazil is in general constrained to small scales (1:100.000) by the lack of more detailed information. Dataset required for the model such as Land Use and Land Cover (LULC) is available at landscape scale in most cases in Brazil, while carbon stock for the different LULC is restricted to specific studies if available.

**Key words:** modeling, carbon, landscape scale

## INTRODUÇÃO

Ecossistemas bem manejados produzem um fluxo de serviços que são vitais para os seres humanos, incluindo a produção de bens, processos de suporte à vida, a regulação de processos naturais e serviços culturais. Apesar de sua importância, este capital ainda é pouco estudado, mal monitorado e, em muitos casos, passa por degradação e esgotamento rápidos (TALLIS *et al.*, 2011).

A proposta do aplicativo de modelagem de serviços ambientais InVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*) é mapear e valorar bens e serviços naturais de forma a alinhar a conservação de ecossistemas com a economia. Os variados componentes do modelo requerem dados de entrada com detalhamento flexível e podem identificar áreas onde o investimento pode melhorar o bem-estar humano e a natureza. Ademais, o modelo é também ajustável para análises de serviços e objetivos múltiplos (TALLIS *et al.*, 2011).

O InVEST é usado mais efetivamente em um processo de tomada de decisão por meio da análise de diferentes cenários que incluem tipicamente um mapa do uso e cobertura da terra atual e potenciais alternativas na ocupação do território, definidas em função do interesse específico do estudo e respectivos atores. Os modelos terrestres incluem sequestro de carbono, polinização de culturas, produção manejada de madeira, purificação de água, produção de reservatórios de hidrelétricas e retenção de sedimentos, os quais resultam em

<sup>1</sup> Eng. Florestal, Dra., Embrapa Florestas, denise@cnpf.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng. Florestal, Msc., Embrapa Florestas, marilice@cnpf.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Florestal, Dr., Embrapa Florestas, andre@cnpf.embrapa.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma, Dra., Embrapa Florestas, rhiga@cnpf.embrapa.br

<sup>5</sup> Eng. Florestal, Dra., Embrapa Florestas, augusta@cnpf.embrapa.br

análises qualitativas e financeiras; e finalmente, o modelo de biodiversidade que, embora não gere avaliações monetárias diretas, pode ser usado para avaliar os *tradeoffs* entre biodiversidade e demais componentes ambientais modelados que podem ser acessados (TALLIS *et al.*, 2011).

Os modelos são espacialmente explícitos, usando mapas como fonte de informação e produzindo mapas como saídas. Os resultados podem ser em termos biofísicos, como toneladas de carbono sequestrado ou em termos econômicos, como o valor presente líquido do carbono sequestrado. A resolução espacial das análises é flexível, permitindo ao usuário abordar questões em escalas local, regional ou global. Os resultados do InVEST podem ser compartilhados com os tomadores de decisão que criaram os cenários, para informar as próximas decisões (TALLIS *et al.*, 2011). A aplicação prática do InVEST foi apresentada por diversos autores (ex. NELSON *et al.*, 2009; GOLDSTEIN *et al.*, 2012) para variadas situações ambientais, em diversos continentes, com resultados relevantes.

Tendo em vista o potencial prático para o planejamento territorial em escala de paisagem ou regional, e para subsidiar a tomada de decisões, o aplicativo InVEST foi avaliado quanto a aplicabilidade no Brasil, considerando as variáveis de entrada (*inputs*) do modelo e também a disponibilidade das informações necessárias. Especificamente, avaliou-se em detalhe o módulo de estoque e sequestro de carbono cujo conjunto de dados necessários inclui dentre outros: mapa da cobertura e uso da terra, taxas de colheita de madeira, taxas de degradação do produto colhido e estoque em variadas fontes de carbono (acima do solo, abaixo do solo, no solo e necromassa). O objetivo do módulo é estimar o total de carbono estocado atualmente em determinada área ou o total de carbono sequestrado ao longo do tempo. Dados adicionais de mercado ou valor social do carbono sequestrado e uma taxa de desconto podem ser usados em um modelo opcional que estima o valor deste serviço do ecossistema à sociedade. Limitações do modelo incluem um ciclo do carbono muito simplificado, uma mudança linear assumida para o sequestro de carbono ao longo do tempo e taxas de desconto potencialmente não acuradas.

A abordagem neste estudo leva em consideração a descrição das variáveis necessárias para suprir o módulo básico, do estoque atual de carbono, mencionando as possíveis fontes de informação e as escalas em que estão disponíveis, a partir da busca e compilação de dados para o uso do InVEST em um estudo de caso.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo escolhida para avaliação do modelo de carbono, respectivas variáveis e a disponibilidade de informações refere-se à região do Planalto Norte de Santa Catarina, e cobre parte da bacia do rio do Alto Vale do Rio do Peixe (SC), em área de aproximadamente 34.000 ha, envolvendo porções dos municípios de Caçador, Rio das Antas e Fraiburgo (Figura 1). O clima da região é o Cfb (clima subtropical com verões amenos), conforme classificação de Koeppen, em área de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista.

### Variáveis do modelo de carbono no InVEST

O módulo de carbono do aplicativo InVEST requer valores para o estoque de carbono para cada componente: carbono estocado na biomassa acima do solo (parte aérea), abaixo do solo, do solo e da necromassa, seguindo a fórmula:

$$C_t = C_{pa} + C_{as} + C_s + C_n$$

Em que:  $C_t$  - Carbono total;  $C_{pa}$  - C parte aérea;  $C_{as}$  - C abaixo do solo;  $C_s$  - C do solo;  $C_n$  - C da necromassa.

Ademais, tais informações são necessárias e específicas para cada classe de uso e cobertura da terra (CUCT). Recomenda-se que os valores das áreas classificadas sob um determinado CUCT tenham valores uniformizados e que representem a média dos valores disponíveis para cada componente. Os valores de estoque de carbono devem, preferencialmente, ser obtidos a partir de medições realizadas diretamente no campo, incluindo-se, desta forma, todas as possíveis estratificações existentes no mapa de CUCT. Isto dependendo da disponibilidade dos dados e escala em que se planeja utilizar o InVEST, sendo disponíveis dados gerais para cada componente do carbono, descritos a seguir.

### Estoque de carbono na biomassa acima do solo

As fontes existentes para este componente são, em geral, disponíveis apenas em uma escala global, sugerindo-se como fonte no próprio InVEST o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006). Neste relatório, a partir da definição do domínio climático da área de estudo (IPCC 2006, tabela 4.1, pag 4.46), são sugeridos valores do estoque de carbono nos componentes acima e abaixo do solo para florestas nativas e plantadas (IPCC, 2006; tabela 4.7-8 e 4.12, pag. 4.53-4.56 e 4.63), assim como para agricultura perene (IPCC, 2006; tabelas 1-3, pag 5.9). Outros valores mais atualizados podem ser encontrados em Ruesch e Gibbs (2008). Dados para o Brasil são escassos, sendo as áreas da Amazônia, Caatinga e Cerrado as mais estudadas (ex. MAHLI *et al.*, 2006; TIESSEN *et al.*, 1998).

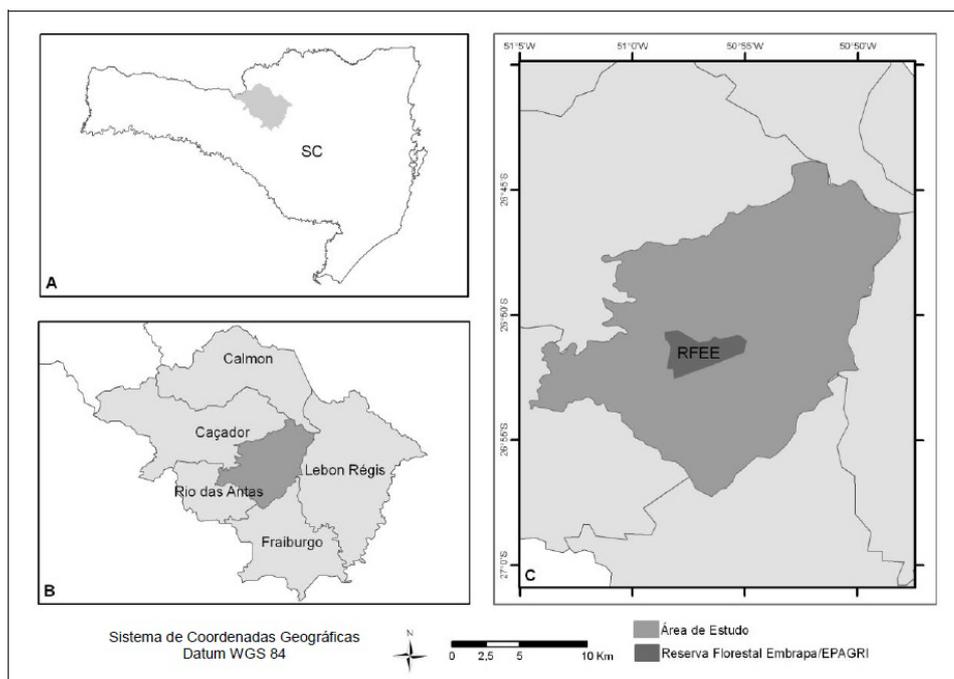


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Albergoni (2011)

Figure 1 – Map of the study area.

A ocorrência de distúrbios antropogênicos em áreas naturais possui influência nos estoques de carbono acima do solo, sendo esperado que em áreas mais antropizadas tenham menor estoque do que em relação a áreas menos alteradas. Sugere-se no InVEST, estratificar as classes de CUCT por níveis de antropização, quando tal fator for relevante, a fim de uma melhor avaliação do estoque de carbono; entretanto, tanto a estratificação do CUCT como o detalhamento dos estoques de carbono baseiam-se e, assim, limitam-se à disponibilidade de tais informações. Finalmente, o material herbáceo não é considerado um componente relevante para o cálculo do estoque de biomassa acima do solo.

#### Estoque de carbono na biomassa abaixo do solo

As classes de CUCT caracterizadas por um componente arbóreo, a biomassa abaixo do solo pode ser estimada de forma genérica pela relação “raiz x galhos” e que são estabelecidas conforme classificação por ecorregião. Especificamente para o Planalto Sul Brasileiro a relação é de 0,20 (0,09 – 0,25) para locais com biomassa acima do solo menor que 125 toneladas  $ha^{-1}$ , e para locais com biomassa acima do solo acima de 125 toneladas  $ha^{-1}$  média de 0,24 (0,09- 0,25) (IPCC, 2006, tabela 4.4, p 4.49). Para locais cuja cobertura vegetal não é dominada por componente arbóreo, e na falta de dados locais, valores gerais também podem ser encontrados segundo zona climática (IPCC, 2006, tabela 6.4, p. 6.27). Dados para ecossistemas mundiais locais variados são disponíveis na literatura, mas não específicos para o Brasil.

#### Estoque de carbono no solo

Estimativas de carbono no solo estão disponíveis no relatório do IPCC (2006, tabela 2.3), por tipo de solo, para agricultura, pastagem e campos manejados. Ainda deve ser considerado que para agricultura e campos são apresentados valores conforme o tipo de manejo empregado (IPCC, 2006, tabelas 5.5 e 6.2), sendo que para os demais usos da terra tal relatório não inclui tipos de manejo.

Outras fontes em nível global são ainda citadas como alternativas para o InVEST. A classificação de estoque de carbono no primeiro metro de solo são disponíveis na Classificação das Zonas de Vida de Holdridge, cujos mapas em formato para uso em SIG disponíveis na base de dados do National Geophysical Data Center ([http://www.ngdc.noaa.gov/ecosys/cdroms/ged\\_ia/datasets/a06/lh.htm](http://www.ngdc.noaa.gov/ecosys/cdroms/ged_ia/datasets/a06/lh.htm)). Dados específicos para o Brasil podem ser encontrados para diferentes classes de solo obtidos na porção de até 30 cm de profundidade do solo (BERNOUX *et al.*, 2002).

#### Estoque de carbono na matéria orgânica morta

Assim como os demais componentes de carbono, valores gerais sobre o estoque de carbono na matéria orgânica estão disponíveis no relatório do IPCC (2006). Valores para o estoque de carbono na serrapilheira para

as classes florestais de CUCT são disponíveis na tabela 2.2, sendo o valor médio de 2,8 toneladas de carbono.ha<sup>-1</sup> (2-3) para a Floresta com Araucária. Ressalta-se que os valores citados não incluem estimativas para a necromassa. Valores para a estimativa de carbono contida em produtos madeireiros colhidos podem ser encontrados em diversos autores para locais diversos e não específicos para o Brasil (ex. SKOG *et al.*, 2004; GREEN *et al.*, 2006; MINER, 2006; SMITH *et al.*, 2006; IPCC 2006, volume 4, capítulo 12; e DIAS *et al.*, 2007).

### Disponibilidade de informações

A área de estudo conta com uma quantidade de dados gerais referentes à pluviometria, fluviometria, meteorologia e solos. A base cartográfica disponível em escala 1:100.000 em formato vetorial já faz parte do banco de dados espaciais da Embrapa Florestas, assim como o modelo digital de elevação (SRTM) para o Estado de Santa Catarina. Estas informações foram complementadas com coleta de dados para refinar a base de dados e, desta forma, melhorar a acuracidade dos resultados gerados pela ferramenta InVEST.

Adicionalmente à estratégia de coleta de dados na bacia, foram usadas e complementadas informações existentes oriundas de projetos desenvolvidos na Reserva Florestal Embrapa Epagri – RFEE. Esta área tem sido objeto de estudo em pesquisas por meio de projetos Macroprograma, a saber: projeto “Modelo de Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicado a áreas protegidas - Zoneamento Ecológico da Reserva Florestal da Embrapa/Epagri - Caçador/SC” e “Desenvolvimento de modelos inovadores para o gerenciamento de áreas protegidas: estudo de caso em uma área de Floresta Ombrófila Mista e seu entorno”. Dentre as informações mais relevantes originadas nestes projetos para o presente projeto dizem respeito a informações sobre a diversidade animal e vegetal. Devido à sua localização, estado de conservação, extensão e diversidade de habitats, a Reserva deve servir de base para comparações quanto à biodiversidade regional.

Ainda quanto às informações advindas dos citados projetos Macroprograma desenvolvidos na RFEE, destacam-se: a) aquisição de imagem do satélite ALOS (sensores AVNIR e PRISM) para a área da Reserva e seu entorno; b) a recuperação de parcelas permanentes - que visam monitorar o crescimento e a dinâmica da floresta - instaladas em 1989; c) a execução de um levantamento fitossociológico cobrindo algumas tipologias florestais da Reserva; d) a determinação da localização e do estado fitossanitário de espécimes raros da FOM, tais como imbuías (*Ocotea porosa*) e cedros (*Cedrela fissilis*) centenários; e) a obtenção de amostras não-destrutivas do lenho de espécies típicas da FOM; f) visita e aproximação com vizinhos (empresas florestais, tais como a Tedesco e a Frameport) para futuras ações de parceria envolvendo a segurança da Reserva e projetos de pesquisa em conjunto; g) monitoramento de regeneração natural em algumas tipologias vegetais. Tais trabalhos culminaram no desenvolvimento de cinco dissertações de mestrado, em conjunto com o Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (DLUGOSZ, 2005; KURASZ, 2005; RIVERA, 2007; LUZ, 2009; ALBERGONI, 2011). Nestas dissertações foi concebido o SIG para a Reserva e entorno, cuja base de dados serviu para o projeto proposto.

A região possui heterogeneidade acentuada quanto ao uso e cobertura da terra, característica do planalto catarinense e que, de forma geral, representa a situação encontrada no planalto sul-brasileiro. Tal variação no uso da terra decorre de uma distribuição fundiária caracterizada por propriedades rurais pequenas a médias, nas quais são desenvolvidas variadas atividades agrícolas, silviculturais e de pecuária. Embora possa haver, dependendo de situações específicas, concentração de uma das referidas atividades, todas ocorrem na paisagem. Kurasz (2005) analisando o uso e cobertura da terra no entorno na Reserva Florestal Embrapa/Epagri (RFEE) através da interpretação visual de uma imagem Ikonos e verdade de campo, elaborou um mapa temático em escala de 1:6.000. Segundo a análise daquele autor, o uso do solo predominante no entorno (2 km) da RFEE é representado pelos reflorestamentos, totalizando 37,5% de sua área, seguido de vegetação nativa (21,5%), agricultura (14%), pastagem (14,1%), dentre outros.

De posse das imagens satelitárias já disponíveis para a região de estudo e do conhecimento obtido para a Reserva Florestal Embrapa/Epagri e seu entorno, pôde-se observar a heterogeneidade de atividades quanto ao uso da terra, todas estas típicas e representativas do sul do Brasil, o que garante sua aplicabilidade em outras áreas.

ALBERGONI (2011) em trabalho sobre a análise de vulnerabilidade da área de estudo, bacia do rio do Alto Vale do Rio do Peixe (SC), realizou a classificação do uso e cobertura da terra e respectiva descrição. Nesta classificação, o detalhamento permitido pela escala de análise demonstra a dificuldade de distinção dos diferentes usos da terra a partir de imagens satelitárias, sendo necessária uma análise temporal para detectar diferentes classes de uso na dinâmica da paisagem e um intenso trabalho de verificação em campo. Neste contexto, áreas como pastagem, agricultura, pomares de fruta, horticultura, foram inicialmente agrupados e classificados como classe de uso “agropecuária”, assim como as áreas com vegetação nativa foram classificadas sob a classe “floresta nativa” (Tabela 1). Embora o detalhamento das classes de uso e cobertura da terra seja em geral desejável, sua realização demanda uso de imagens satelitárias de diferentes datas ao longo do ano ou de um período de anos, mas principalmente quanto ao seu uso no InVEST, visto que grande parte das informações

disponíveis para o Brasil são para classes mais gerais.

Tabela 1 - Classes de uso e cobertura da terra e respectivas descrições e quantificação em percentagem (Fonte: ALBERGONI, 2011).

Table 1 – Definition of the Land Use and Land Cover classes and respective percentage of the study area.

Classe	Descrição	Área (%)
Agropecuária	Culturas temporárias de frutíferas arbustivas, verduras, legumes ou cereais; Horticultura, áreas com espécies olerícolas, flores e plantas ornamentais; Áreas com plantios de espécies forrageiras; Pastagens, naturais ou plantadas; Campo nativo, formação campestre natural; Áreas em pousio; Solo exposto; Estradas rurais, não pavimentadas.	39
Água	Lagos naturais; Açudes; Rios.	1
Áreas construídas	Construções rurais; Estradas pavimentadas; Áreas urbanas.	2
Floresta nativa	Formações nativas de porte arbóreo.	33
Reflorestamento	Plantios homogêneos com espécies arbóreas nativas ou exóticas, com finalidades madeireiras ou não-madeireiras; Reforma de talhões.	24

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de carbono para os quatro compartimentos estabelecida no módulo de carbono do aplicativo InVEST, requer que estes termos sejam bem interpretados e que se disponha de informações na escala em que se pretende trabalhar. Quando isto não for possível, o InVEST mantém uma lista de valores médios, obtidos de publicações, que podem ou não ser adequados a área de estudo. O conhecimento da metodologia de cálculo do carbono, caso os dados estejam na forma primária, também é necessário.

### Carbono acima do solo

Entende-se do termo carbono da parte aérea ou acima do solo, o correspondente ao carbono da biomassa da vegetação arbórea, arbustiva e rasteira, o que inclui: tronco, galhos, folhas, flores, frutos e sementes.

A fórmula básica para a estimativa do carbono da parte aérea é:

$$C = B \times D \times Fc$$

Onde: B = quantidade de biomassa em Mg.ha<sup>-1</sup>; D= densidade básica em Mg.m<sup>-3</sup>; Fc = fator de conversão que pode assumir valores entre 0,45 e 0,50, pois os tecidos das plantas em geral contem cerca de 45 a 50 % de carbono (SCHLESINGER, 1997, p.135).

Nas florestas nativas e plantadas, a parte aérea refere-se ao carbono existente nos galhos, folhas e troncos, que são estimados por equações ajustadas a partir da derrubada e pesagem de árvores inteiras, por porção. A partir da informação do diâmetro (DAP) dos indivíduos que compõem cada uma das amostras, calcula-se a biomassa da floresta utilizando uma equação de biomassa em função do diâmetro. Exemplos de equações para floresta nativa que poderiam ser aplicados a este estudo, constam em Brown e Lugo (1982).

Na área em estudo as florestas nativas fazem parte da fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista e à exceção das florestas existentes na Reserva Florestal Embrapa-Epagri, que tem um programa de medições anuais de parcelas, não se dispõe de informações sobre as demais florestas. A atribuição de valores médios para todos os fragmentos florestais, obtidos de publicações é a única opção possível, que certamente leva a imprecisões, pois não se conhece o estágio sucessional das mesmas, nem o conjunto de espécies predominantes. Em linhas gerais, o carbono da parte aérea em Floresta Ombrófila Mista assume valores entre 29 e 176 Mg.ha<sup>-1</sup>, com uma média de 97 Mg.ha<sup>-1</sup>, que representa o estoque de florestas intensamente exploradas (BRITZ et al., 2006).

Em plantações florestais, a espécie, a idade, o número de árvores por hectare e as condições edafoclimáticas do local são imprescindíveis para gerar resultados precisos de estimativa de biomassa e de carbono, ou mesmo para buscar resultados de inventários de carbono em locais semelhantes, pois o estoque de biomassa pode apresentar muita variação conforme estas características (HIGA et al., 2012). Dados médios de diâmetro, altura, área basal e volume por hectare também seriam desejáveis. No entanto, estas informações estão inacessíveis para a maioria da área, por serem de caráter estratégico para as empresas que as detém. Exemplos de equações que poderiam ser utilizadas estão disponíveis em Balbinot et al. (2007), Watzlawick et al. (2009), Valério (2009) e Sanquetta et al. (2003). A opção possível novamente é assumir o mesmo valor para todas as

plantações de Pinus, por exemplo, entre 98 e 120 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono de biomassa viva em idades entre 21 e 23 anos, para *Pinus taeda*, com cerca de 400 árvores por hectare (WATZLAWICK, 2005). Para *Araucaria angustifolia* que também é encontrada na área deste estudo, poderia ser assumido o valor de 107,9 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono de biomassa viva acima do solo, apresentado por Watzlawick *et al.* (2003).

Quanto à classe de uso agricultura, no mapeamento de uso da terra não foi possível separar o cultivo anual do cultivo permanente em toda a área de estudo, o que constitui uma fonte de imprecisão, já que o cultivo permanente, representado por árvores frutíferas deve conter maior quantidade de carbono, se comparado a culturas anuais. No entanto, ainda que a classificação das culturas fosse realizada, a quantificação de carbono também não teria sido possível, pois não foram encontradas publicações com valores de carbono de biomassa para pomares e para a maioria das culturas anuais. Para soja, Walter *et al.* (2009) obtiveram valores de carbono entre 1,7 e 3,3 Mg.ha<sup>-1</sup> na biomassa acima do solo em Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul. Novamente, a opção possível é assumir o mesmo valor para todas as áreas de cultivo agrícola anual e perene ou, excepcionalmente, nos locais em que for identificado o plantio de árvores frutíferas, atribuir a estes os mesmos valores de carbono de reflorestamentos.

Em pastagens, o potencial de sequestro de carbono está na capacidade dessas gramíneas em aumentar a concentração do carbono orgânico no solo, desde que satisfeitas algumas condições (PAULINO *et al.*, 2008). A quantificação do carbono de biomassa aérea é pouco mencionada e depende muito da espécie, condições do solo e do clima. Muller *et al.* (2009) estimaram um acúmulo de 1,28 Mg.ha<sup>-1</sup> de biomassa aérea, representando 0,58 Mg.ha<sup>-1</sup> somente no resíduo de pastejo em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira.

A biomassa aérea viva de pastagens e de culturas agrícolas anuais pode gerar resultados muito heterogêneos em função de características peculiares de cada local. Zanchi *et al.* (2009) obtiveram um valor médio de 2,9 Mg.ha<sup>-1</sup> para biomassa viva de pastagem em Rondônia e salientaram que a intensidade do pastejo pode tanto diminuir como intensificar o crescimento da pastagem. No período chuvoso houve uma grande redução do pastejo na área do estudo, fazendo com que o material vivo aumentasse de 2,5 para 3,7 Mg.ha<sup>-1</sup>, influenciado pela ausência do gado na área.

### **Carbono abaixo do solo**

Abaixo do solo, encontram-se as raízes vivas e mortas, a matéria orgânica do solo e os microorganismos. Para entrada de dados no InVEST, assumiu-se que o carbono abaixo do solo refere-se ao carbono de raízes, ficando os dois outros segmentos contemplados no carbono do solo.

A escavação ou retirada de todo o sistema radicular é um método bastante preciso, no entanto, com exceção de plantas anuais e espécies arbóreas jovens, há muito trabalho físico, consumindo uma grande quantidade de tempo na sua amostragem. As informações assim coletadas poderiam ser utilizadas para o desenvolvimento de equações alométricas baseadas em medidas de biomassa aérea e biomassa de raízes, opção também precisa, porém isto requer um número elevado de amostras, para aumentar a precisão das equações (BRITTEZ *et al.*, 2006).

Cairns *et al.* (1997) obtiveram valor médio da razão entre raiz e parte aérea para espécies arbóreas tropicais, temperadas e boreais de 0,26, com amplitude de 0,18 a 0,30. Não foram observadas diferenças significativas entre tipo de solo, latitude ou tipo de árvore. Portanto esta proporção pode ser adotada nas estimativas de raízes da Floresta Ombrófila Mista na área em estudo, com certa segurança.

Em plantio de *Araucaria angustifolia* com 30 anos de idade, foi estimado 23,4 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono nas raízes (WATZLAWICK *et al.*, 2003). Balbinot (2007) estimaram 9, 16 e 13 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono nas raízes em plantios de Pinus com idade inferior a 5 anos, entre 5 e 15 anos e superior a 15 anos, respectivamente.

Em cultura agrícola, existem poucas referências sobre carbono das raízes. Walter *et al.* (2009) estimaram 0,15 e 0,74 Mg.ha<sup>-1</sup> em plantações de soja no Rio Grande do Sul, correspondendo a percentuais entre 7 e 24 % do carbono de biomassa.

### **Carbono do solo**

Os solos contêm maior quantidade de carbono que o total combinado que ocorre na vegetação e na atmosfera. O carbono orgânico do solo está presente na matéria orgânica viva, que corresponde a menos de 4% do carbono orgânico total do solo e na matéria orgânica morta, que corresponde à maior parte do carbono orgânico total do solo (cerca de 98%). O carbono da matéria orgânica viva subdivide-se no carbono presente nos microrganismos (60-80%), consistido principalmente de fungos e bactérias, nos macrorganismos (15-30%) consistido, por exemplo, por minhocas, ácaros e térmitas terrestres e, finalmente, nas raízes (5- 10%). Quanto ao carbono da matéria orgânica morta, subdivide-se na matéria macromacromolecular, que são os resíduos vegetais recém adicionados ao solo e no húmus (80-90%), que consiste de substâncias não húmicas (30% do carbono do húmus) representadas pelos ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ex. ácido cítrico, ácido ftálico, ácido malônico) e

substâncias húmicas (70% do carbono do húmus) representadas pelos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (MACHADO, 2005).

A quantificação de estoque de carbono do solo consiste essencialmente em dois passos: 1. amostragem de solo no campo para análise de carbono total e densidade do solo; 2. determinação de carbono total em amostras e quantificação dos estoques em  $\text{Mg C ha}^{-1}$ . A densidade do solo ( $\rho$ ,  $\text{g.cm}^{-3}$ ), corresponde à massa de solo seco por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos. A coleta de amostras de solos no campo e determinação da densidade do solo é essencial para se calcular a massa ou o estoque de carbono total do solo, a partir da concentração de carbono total do solo (C;  $\text{g.C.kg}^{-1}$  solo). Na quantificação do estoque de carbono há necessidade de se estabelecer a profundidade do solo a que se refere o estoque. O cálculo do estoque de carbono (EC;  $\text{Mg.C.ha}^{-1}$ ) para uma determinada profundidade (p, cm) dá-se da seguinte maneira (MACHADO, 2005):

$$\text{EC} = C \times \rho \times p / 10$$

O teor de carbono total do solo diminui exponencialmente com a profundidade. Em geral, 39-70% do carbono orgânico total na camada de 0-100 cm de solo mineral está presente nos primeiros 30 cm e 58-81% nos primeiros 50 cm (MACHADO, 2005).

A opção para obter informações de quantificação de carbono do solo para toda a área do estudo é a atribuição de valores de carbono estimados para locais com o mesmo tipo de solo e com classes de cobertura semelhantes. A maioria das publicações encontradas trata do carbono na camada de 0 a 20 cm ou 0 a 25 cm e indica o tempo de uso do solo com a cultura bem como o sistema de plantio (Tabela 2).

Tabela 2 - Carbono do solo em culturas agrícolas e pastagem para condições de solo semelhantes as da área em estudo

Table 2 – Evaluation of carbon in soil for pasture and agriculture in soil types similar to the study area.

Cultura	Tipo de solo	Quantidade de carbono ( $\text{Mg.ha}^{-1}$ )	Tempo de cultivo (anos)	Sistema de plantio	Referência
Milho	Latossolo vermelho distroférico (0-20cm)	50,6	5	Preparo reduzido	Bayer <i>et al.</i> (2003)
Milho	Latossolo vermelho distrófico (0-20cm)	15,8 e 13,5	10		Rozane <i>et al.</i> (2010)
Milho/trigo	Latossolo vermelho distroférico textura argilosa (0-25cm)	2,14	10	Direto	Neto <i>et al.</i> (2009)
Soja/trigo	Latossolo vermelho distroférico de textura argilosa (0-25cm)	1,5	10	Direto	Neto <i>et al.</i> (2009)
Soja/trigo	Latossolos e Neossolos	68,3	7	Direto	Walter <i>et al.</i> (2009)

Quanto ao carbono do solo em Floresta Ombrófila Mista, o acúmulo varia de 61,7 a 102,3  $\text{Mg.ha}^{-1}$  (BRITZ, 2006), mas os resultados de levantamentos na área de estudo estão sendo produzidos. Para reflorestamentos de *Pinus* com idades de 12 e de 20 anos, Mafra *et al.* (2008) estimaram 12,84 e 14,15  $\text{Mg.ha}^{-1}$ , respectivamente, e em profundidade de 0 a 40 cm, em Campo Belo do Sul, Santa Catarina, mas também existem trabalhos específicos para a área de estudo em execução.

### Carbono da matéria orgânica morta (necromassa)

O termo necromassa refere-se ao material lenhoso que pode ser encontrado sobre o chão das florestas, incluindo toras, gravetos, galhos, fragmentos (frações disformes) de madeira, bem como árvores mortas em pé (WOLDENDORP *et al.*, 2004) e não está contemplado no módulo de carbono do InVEST, pois o carbono da matéria orgânica morta considera somente a serapilheira.

A configuração da necromassa é o resultado de quatro processos principais: regeneração, crescimento das árvores, mortalidade das árvores e decomposição dos resíduos. Estes processos tem diferentes taxas sob diferentes condições, portanto o perfil da necromassa não é estático, muda gradualmente com o tempo (STOKLAND, 2001).

Balbinot *et al.* (2003) estimaram 1,13% de carbono de galho morto em plantios de *Araucaria angustifolia* aos 30 anos de idade, o que corresponde a 1,5  $\text{Mg.ha}^{-1}$  na área estudada.

A quantificação da necromassa caída sobre o chão da floresta requer uma metodologia que facilite a medição e que seja eficiente, principalmente em locais de cobertura vegetal densa. A amostragem por transectos

está entre os métodos mais eficientes e viáveis para avaliação de necromassa. Enquanto a amostragem por faixas aplica-se bem para árvores mortas em pé, a amostragem por transectos é eficiente e robusta quanto aos erros de medição e mais simples que a maioria dos outros métodos, para quantificar necromassa caída sobre o chão da floresta (NEWTON, 2007).

O procedimento de amostragem consiste no caminhamento ao longo da linha de inventário, medindo-se o diâmetro de cada tora ou resíduo de madeira no ponto de intersecção com a linha e registrando o comprimento total das linhas de inventário. A equação básica para a estimativa do volume é dada por (VAN WAGNER, 1968):

$$V = \left( \frac{\pi^2}{8 \times L} \right) \times \sum_{i=1}^n d^2$$

em que: V = volume para o transecto, por unidade de área; d = diâmetro de um fragmento de necromassa; L = comprimento do transecto; n = número de fragmentos ou toras encontrados no transecto.

A necromassa é um componente significativo dos ecossistemas florestais, e representa 10 a 20% da biomassa acima do solo em florestas maduras (BROWN, 2002). A grande maioria das referências sobre material orgânico morto refere-se a levantamentos de serapilheira, que considera o material fino depositado no chão da floresta, incluindo além de material lenhoso fino, também folhas, em grande quantidade, flores e sementes. Nesta miscelânea, não incluem-se galhos com diâmetro maior que 10 cm e nem árvores caídas.

Portanto, serapilheira e necromassa constituem abordagens diferentes com pouca coincidência de materiais.

Em reflorestamentos, a deposição varia entre 6,9 e 8,7 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, no entanto o acúmulo no piso em plantios de Pinus pode chegar a até 91 Mg.ha<sup>-1</sup>. Para Floresta Ombrófila Mista os valores são de 6,8 a 8,7 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, bem inferior ao obtido para outras fitofisionomias florestais (BRITZ *et al.*, 2006).

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo de carbono do aplicativo InVEST é potencialmente aplicável, considerando-se as condições específicas observadas na área de estudo. No entanto, questões básicas como a inclusão de árvores mortas e galhos caídos no cômputo da necromassa, não são consideradas, conduzindo a possíveis subestimativas deste componente de carbono nos cálculos de sequestro e estoque do modelo.

A modelagem dos dados requer que as pesquisas básicas sejam direcionadas para a sua aplicabilidade no conjunto. As tecnologias evoluem para que esteja disponível o maior detalhamento nas classes de uso do solo, mas não se dispõe de dados específicos de carbono para cada classe.

No cenário nacional não há, em geral, disponibilidade de dados para o uso do modelo em escala de detalhe (maior que 1:100.000); entretanto, o modelo demonstra ser de grande utilidade para a avaliação em escala de paisagem.

## REFERÊNCIAS

- ALBERGONI, L. **Caracterização do uso e cobertura da terra como subsídio para análise de paisagem e de vulnerabilidade de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista**. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivas para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 469-475, mai./jun. 2003.
- BALBINOT, R.; VALÉRIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de Pinus spp em diferentes idades do sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- BERNOUX, M., CARVALHO, M. D. S; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BRITZ, R. M. de; BORGIO, M.; TIEPOLO, G.; FERRETTI, A.; CALMON, M.; HIGA, R. **Estoque e incremento de carbono em florestas e povoamentos de espécies arbóreas com ênfase na Floresta Atlântica do Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas. 165p. 2006.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. The Storage and Production of Organic Matter in Tropical Forests and Their Role in the Global Carbon Cycle. **Biotropica**, Washington, v. 14, n. 3, p. 161-187, 1982.
- BROWN, S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 363-372, 2002. Disponível em <http://www.winrock.org/ecosystems/files/2002ForestCarbon.pdf>

Acesso em 16/12/2011.

CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1-11, 1997. Disponível em <http://www.winrock.org/ecosystems/files/rootbiomassallocationintheworldsuplandforests1997.pdf>. Acesso em 26/07/2012.

DIAS, A.C.; M. LOURO, M; ARROJA, L.; CAPELA, I. Carbon estimation in harvested wood products using a country specific method: Portugal as a case study. **Environmental Science & Policy**, v. 10, n. 3, p. 250-259, 2007. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/journal/14629011/10/3>. Acesso em 25/07/2012.

GREEN, C, AVITABILE, V.; FARRELL, E. P.; BYRNE, K. A. Reporting harvested wood products in national greenhouse gas inventories: Implications for Ireland. **Biomass and Bioenergy**, v. 30, n. 2, p. 105-114, 2006. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09619534/30/2>. Acesso em 25/07/2012.

HIGA, R. C. V.; XAUD, H. A. M.; ACCIOLY, L. J. de O.; LIMA, R. M. B. de; VASCONCELOS, S. S.; RODRIGUES, V. G. S.; CARVALHO, C. J. R. de; SOUZA, C. R. de; LEONIDAS, F. das C.; TONINI, H.; FERRAZ, J. B. S.; XAUD, M. R.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M. de; COSTA, R. S. C. da Estoque de biomassa em florestas plantadas, sistemas agroflorestais, florestas secundárias e Caatinga. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 105-158.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use**. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, L., Ngara, T., Tanabe K. (eds). Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 2006. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. Acesso em 24/07/2012.

MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005. Disponível em <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2005/vol28n2/25-DV04211.pdf>. Acesso em 23/07/2012.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. de F. F; KLAUBERG FILHO, O; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.de; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **R. Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.217-224, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n2/a04v32n2.pdf>. Acesso em 20/07/2012.

MALHI, Y. R.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. J.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMAO, R.; SILVA, J. N.; LEZAMA, TERBORGH, J.; MARTINEZ, R. V.; VINCETI, B. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1107-1138, 2006. Disponível em <http://www.geog.ox.ac.uk/~ymalhi/publications/publications2006/2006-gcb-biomass.pdf>. Acesso em 22/07/2012.

MINER, R. The 100-Year Method for Forecasting Carbon Sequestration in Forest Products in Use. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. 20 p., 2006. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/2167274117366751/fulltext.pdf>. Acesso em 20/07/2012.

NELSON, E.; MENDOZA, G.; REGETZ, J.; POLASKY, S; TALLIS, H.; CAMERON, D.R.; CHAN, K.M.; DAILY, G. C.; GOLDSTEIN, J.; KAREIVA, P.; LONSDORF, E. NAIDOO, R.; RICHETTS, T. H.; SHAW, M. R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 1, p. 4-11, 2009. Disponível em <http://www.deepdyve.com/lp/ecological-society-of-america/modeling-multiple-ecosystem-services-biodiversity-conservation-adN5vILGO1>. Acesso em 20/07/2012.

GOLDSTEIN, J. H.; CALDARONE, G.; DUARTE, T.K.; ENNAANAY, D; HANNAHS, N; MENDOZA, G; POLASKY, S; WOLNY, S.; DAILY, G. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions **PNAS**, v. 109, n. 19, p. 7565-7570. 2012. Disponível em <http://www.pnas.org/content/early/2012/04/17/1201040109.full.pdf+html>. Acesso em 23/07/2012.

MULLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T. de; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 11-17, dez. 2009. Edição Especial. Disponível em <http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/41>. Acesso em 29/07/2012.

NEWTON, A. C. **Forest Ecology and conservation. A Handbook of Techniques**. Oxford: Oxford University Press, 454 p. 2007.

NETO, M. S.; VENZKE FILHO, S. de P.; PICCOLO, M. de C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema direto em Tibagi (PR). I – Sequestro de carbono no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, n.33, p.1013-1022, 2009.

PAULINO, V. T.; BRAGA, G. J.; LUCENA, M. A. C.; GERDES, L. COLOZZA, M. T. **Sustentabilidade de pastagens consorciadas – ênfase em leguminosas forrageiras**. II Encontro técnico sobre leguminosas forrageiras, Instituto de Zootecnia, Nova Odesa, SP, 55 p. 2008. Disponível em <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/SUSTENTABILIDADEPASTAGENS Consorciadas.pdf>. Acesso em 04/05/2012.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, Jan./Feb. 2010.

RUESCH, A.; GIBBS, H. K. New IPCC tier-1 global biomass carbon map for the year 2000. Disponível: [http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/global\\_carbon/carbon\\_documentation.html](http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/global_carbon/carbon_documentation.html). Acesso em 7/7/2012.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L.F.; SCHUMACHER, M.V.; MELLO, A.A.de. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 3, p.33-40, jul./set. 2003.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 1997. 588 p.

STOKLAND, J. N. The coarse woody debris profile: an archive of recent forest history and an important biodiversity indicator. **Ecological Bulletins**, v. 49, p. 71-84, 2001.

SMITH, J. E.; HEATH, L. S.; SKOG, K. E.; BIRDSEY, R. A. Methods for Calculating Forest Ecosystem and Harvested Carbon with Standard Estimates for Forest Types of the United States. **Gen. Tech. Rep. NE-343**. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 2006. 216 p. Disponível em <http://treearch.fs.fed.us/pubs/22954>. Acesso em 23/07/2012.

SKOG, K. E.; PINGOUD, K.; SMITH, J. E. Method Countries Can Use to Estimate Changes in Carbon Stored in Harvested Wood Products and the Uncertainty of Such Estimates. **Environmental Management** v. 33, Supplement 1, p. S65–S73, 2004.

TALLIS, H.T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.D.; WOOD, S.A.; SHARP, R.; NELSON, E.; ENNAANAY, D.; WOLNY, S.; OLWERO, N.; VIGERSTOL, K.; PENNINGTON, D.; MENDOZA, G.; AUKEMA, J.; FOSTER, J.; FORREST, J.; CAMERON, D.; ARKEMA, K.; LONSDORF, E.; KENNEDY, C.; VERUTES, G.; KIM, C.K.; GUANNEL, G.; PAPPENFUS, M.; TOFT, J.; MARSIK, M.; BERNHARDT, J. **InVEST 2.0 User's Guide**. The Natural Capital Project, Stanford, 275 p., 2011.

TIESSEN, H.; FELLER, C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GARIN, P. Carbon Sequestration and Turnover in Semiarid Savannas and Dry Forest. **Climatic Change**, v. 40, n. 1, p. 105-117, 1998. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/gr96w53662537540/>. Acesso em 23/07/2012.

VALÉRIO, A. F. **Quantificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de Pinus elliottii Eng. com diferentes idades**. 123 f. Dissertação. Unicentro, Irati, 2009.

VAN WAGNER, C. E. **Practical aspects of the line intersect method**. Information Report PI-X-12. Chalk River - Canada: Canadian Forestry Service, 1982. 18 p.

VAN WAGNER, C. E. The line intersect method in forest fuel sampling. **Forest Science**, n. 14, p. 20-26, 1968. Disponível em <http://saf.publisher.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1968/00000014/00000001/art00007>. Acesso em 28/11/2011.

WALTER, M. K. C.; ZULLO JUNIOR, J.; WEILL, M. de A.M.; DENARDIN, J.E. **Estimativa do estoque de carbono em áreas de soja visando análise de cenários de linha de base para projetos de créditos de carbono**. Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009. 5p.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do estado do Paraná Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 7-17, 2005.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 9, p. 169-181, 2009.

WOLDENDORP, G; KEENAN, R. J.; BARRY, S.; SPENCER, R. D. Analysis of sampling methods for coarse woody debris. **Forest Ecology and Management**, v. 198, p. 133 - 148. 2004. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704003639>. Acesso em 22/11/2011.

ZANCHI, F. B.; WATERLOO, M. J.; AGUIAR, L. J. G.; RANDOW, C. von; KRUIT, B.; CARDOSO, F. L.; MANZI, A. O. Estimativa do índice de área foliar (IAF) e biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n2, p. 335-348, 2009. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672009000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672009000200012&script=sci_arttext). Acesso em 25/07/2012.