



Perda da Biodiversidade Devida ao Impacto Climático do Uso do Solo na ACV: Estudo de Caso de Regionalização de Dados de Transferência de Carbono na Mata Atlântica

M. V. Lange^a, C. M. L. Ugaya^b

a. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, marcela_lange@yahoo.com.br

b. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, cassiaugaya@utfpr.edu.br

Resumo

O uso do solo leva a diversos impactos na natureza, de tal forma que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do uso do solo deveria incluir ao menos os impactos na biodiversidade, na produção biótica e nas funções regulatórias do ambiente natural. Esse estudo está focado no efeito climático do uso do solo, determinado pelas transferências de carbono entre a vegetação/solo e a atmosfera, considerando a emissão e re-absorção pela superfície terrestre, com o objetivo de geração de dados utilizáveis para a avaliação da perda da biodiversidade. Atualmente existem métodos para uso em ACVs, com dados para as principais regiões biogeográficas mundiais. Considerando, entretanto, que a transferência de carbono é muito específica às características das microrregiões e, ainda, a existência de uma divisão mais detalhada de cada país em biomas - cada um deles com diferenças significativas em espécies, dinâmica ecológica, condições ambientais e interações ecológicas - propõe-se a regionalização dos dados para os biomas brasileiros, considerando os principais usos do solo. Como forma de exemplificação e validação dessa regionalização de dados, o estudo está focado na obtenção de dados de transferência de carbono para o Bioma Mata Atlântica. Para isso, inicialmente, foram coletados e tabelados dados referentes aos estoques de carbono no solo e na vegetação, para cada um dos estratos do bioma Mata Atlântica. Em seguida, foram realizados procedimentos de cálculo, que consideram não só a quantidade transferida, mas também a permanência do carbono na atmosfera, para finalmente determinar valores de transferência de carbono para o ar devido à implantação de pastagens nos diferentes estratos, expressos em carbono equivalente da combustão fóssil. A partir desse estudo de caso, concluiu-se que os dados regionalizados são bastante diferentes dos dados genéricos anteriormente encontrados para florestas tropicais úmidas. Além disso, foram encontradas diferenças entre os valores de transferência de carbono para os vários estratos que compõem o mesmo bioma - Mata Atlântica. Dessa forma, é reforçada a necessidade de regionalizar os dados de transferência de carbono, a fim de torná-los mais realistas e confiáveis.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Transferências de carbono. Uso do solo. Perda da Biodiversidade.

1 Introdução

Uma das causas essenciais e que mais contribuem para a degradação ambiental e a perda de biodiversidade é a produção de bens e serviços e respectivos consumos (MAXWELL *et al.*, 2006). Tendo em vista que os impactos ambientais estão intimamente ligados aos fluxos elementares que ocorrem em toda a cadeia de

valores e consumo dos produtos, torna-se fundamental que se conheçam e considerem todos os impactos no ciclo de vida (AMMENBERG & SUNDIN, 2003).

O uso de alguns modelos de caracterização tem permitido relacionar os fluxos elementares às categorias de impacto, como as mudanças climáticas, a acidificação e a toxicidade humana, entre outras, permitindo o uso na AICV. Apesar de altamente relevante, no entanto, a biodiversidade ainda é uma categoria de impacto pouco acessada pela AICV, carecendo de fatores de caracterização e meios de relacioná-la às várias categorias de impacto consideradas (LANGE & UGAYA, 2010). Desta forma, é de extrema relevância qualquer iniciativa de estudo que busque formas alternativas para inclusão da perda da biodiversidade na AICV.

Segundo o Secretariado da CDB (2006 e 2010), um dos principais fatores que afetam diretamente a biodiversidade são as mudanças climáticas. Seus impactos já são percebidos e estão projetados para se tornarem uma ameaça cada vez mais significativa nas próximas décadas (SECRETARIADO DA CDB, 2010). São citados alguns deles: alterações das densidades das espécies; alterações nas distribuições, em latitude e altitude; alterações comportamentais, como na migração, reprodução e floração; mudanças na morfologia; e redução na diversidade genética (SODHI *et al.*, 2009).

Sendo o impacto climático fator de influência direta sobre a biodiversidade, a partir de dados de impacto climático pode-se chegar a dados de perda de biodiversidade. Na **Fig. 1** são mostrados os caminhos ambientais da modelagem que relaciona os gases de efeito estufa aos danos causados à saúde humana e ao ecossistema na metodologia ReCiPe de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (GOEDKOOOP *et al.*, 2009). A perda de biodiversidade é dada na unidade espécies.ano e esse viés da metodologia foi desenvolvido a partir de um modelo baseado no trabalho de Thomas *et al.* (2004). O estudo prevê a extinção de espécies em escala global a partir de três cenários, usando a relação espécies-área e compilando dados de alterações na distribuição e extinções de espécies em função das mudanças climáticas, provenientes de vários estudos regionais (BAKKENES *et al.*, 2002; BEAUMONT & HUGHES, 2002; ERASMUS *et al.*, 2002; MIDGLEY *et al.*, 2002; PETERSON *et al.*, 2002; WILLIAMS *et al.*, 2003).

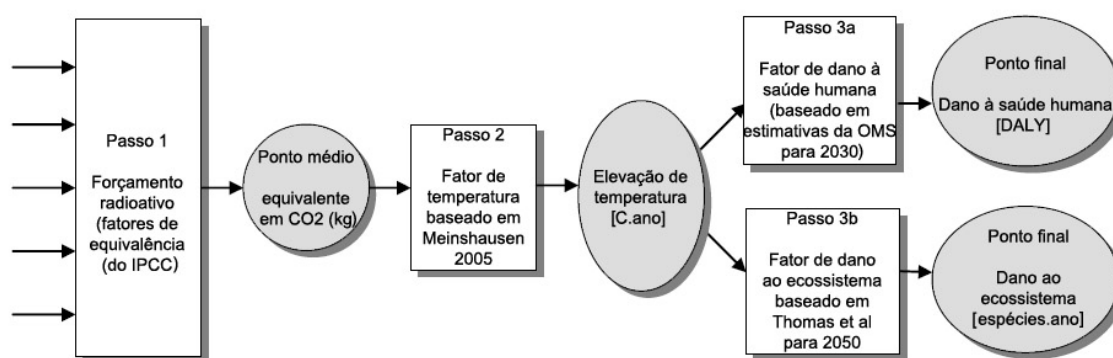


Fig. 1. Caminhos ambientais da modelagem de efeitos dos gases do efeito estufa e de seu impacto nas mudanças climáticas, na metodologia ReCiPe (GOEDKOOOP *et al.*, 2008)

Na ACV, uma das principais categorias de impacto que leva a impactos climáticos é o uso do solo, categoria de ponto médio, que resulta em diversos outros danos ao meio ambiente. Um dos meios pelos quais o uso do solo influencia no impacto climático é a alteração de fluxos de CO₂ entre o solo e a atmosfera, tratada como emissões de CO₂, que desempenha um papel importante no forçamento radiativo (IPCC, 2007).

Müller-Wenk & Brandão (2010) quantificaram a influência do uso do solo nas transferências de CO₂ entre a atmosfera e o solo/vegetação para cada uma das principais zonas biogeográficas da Terra (florestas tropicais, florestas temperadas, florestas boreais, pradarias tropicais e pradarias temperadas) e para cada um dos principais tipos de uso do solo pelo homem (solo urbano, floresta, pasto e solo agrícola).

O estudo citado trabalhou com dados gerais para as principais zonas biogeográficas mundiais. A **Fig. 2** mostra uma ampliação do Brasil no mapa de biomas mundiais seguindo classificação de Udvardy (1975). Comparando esse mapa com o mapa mostrado na **Fig. 3**, que mostra os biomas brasileiros (WWF, ?), observa-se que a última traz uma classificação muito mais detalhada.

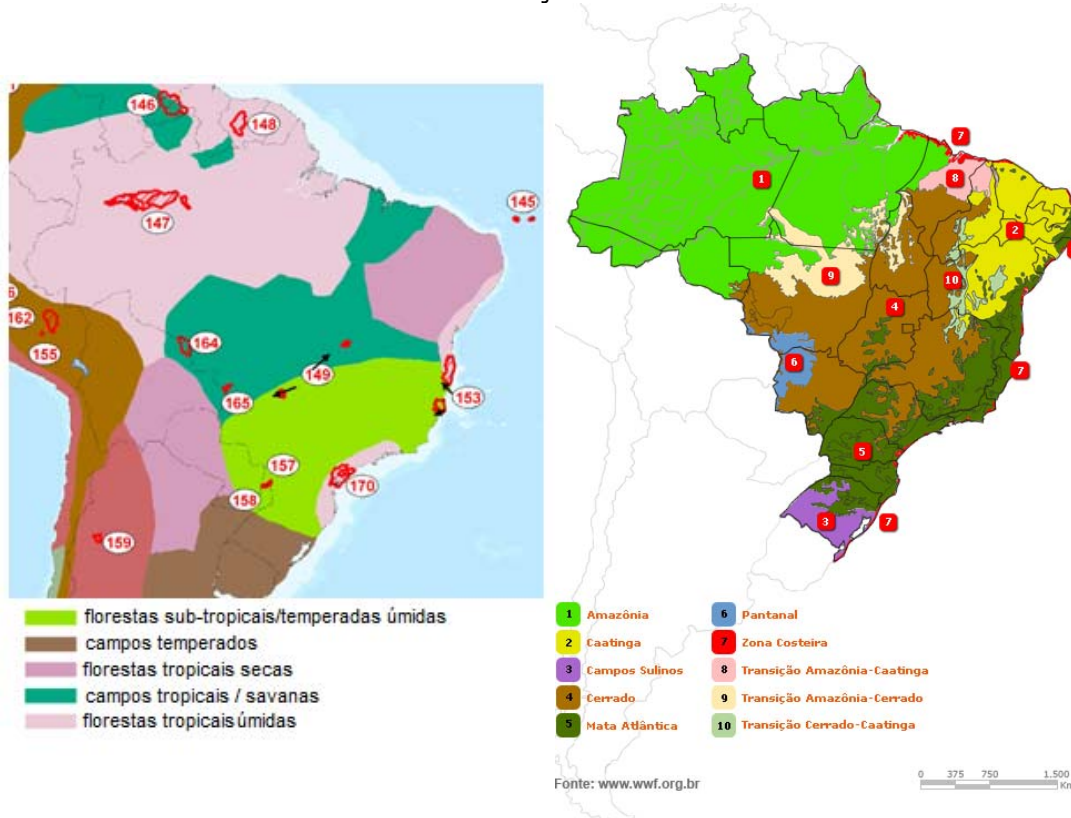


Figura 2 (esq.). Biomas de Udvardy no Brasil
Adaptado de World Heritage Sites & Udvardy Biomes in South America (UNEP, 2004)

Figura 3 (dir.). Biomas brasileiros (Fonte: WWF, ?)

Essa divisão mais detalhada dos biomas brasileiros mostra que existem diferenças significativas – em espécies, dinâmica ecológica, condições ambientais, interações ecológicas – entre áreas distintas, as quais são consideradas como fazendo parte de uma mesma zona biogeográfica pela classificação mais generalista, em nível global. Essa constatação sugere que dados mais regionalizados de fluxos de carbono seriam mais próximos da realidade e por isso mais confiáveis.

Como exemplo, pode-se citar o caso da ACV do biodiesel. A transformação do solo para o cultivo de oleaginosas tais como a soja e a palma leva a transferências de quantidades diferentes de carbono para atmosfera, se o cultivo estiver locado na Amazônia ou no Cerrado brasileiros. Pode-se citar ainda o caso da carne bovina, no qual as transformações do solo em pastagem geram também diferentes transferências de carbono para a atmosfera, dependendo do bioma em que a transformação ocorre.

Considerando a grande relevância da quantificação da influência climática da mudança de uso do solo de maneira mais regionalizada, o objetivo deste estudo consiste em contribuir para a avaliação da perda de biodiversidade causada pelas mudanças climáticas em ACVs de forma regionalizada. Para tanto, será quantificada a influência do uso do solo sobre as transferências de CO₂ entre a atmosfera e o solo/vegetação para um dos biomas brasileiros, a Mata Atlântica, focando na transformação inerente à criação de pastagens.

2 Metodologia

A **Tab. 1** mostra um fluxograma com uma síntese dos procedimentos metodológicos necessários à realização do trabalho, baseados em Müller-Wenk & Brandão (2010)

Tabela 1. Procedimentos metodológicos necessários à realização do trabalho

	Dados a serem obtidos	Unidade	Descrição do procedimento
1	Estoques de carbono em cada bioma ou estrato do bioma	Mg C/ha	Levantamento de dados
2	Estoques de carbono em solos transformados (para agricultura, pasto, áreas urbanas)	Mg C/ha	Levantamento de dados
3	Transferência de carbono devida a mudança do uso do solo ($T_{C\ atm}$)	Mg C/ha	Cálculo: $T_{C\ atm} = E_{Ci} - E_{Cf}$ Sendo: E_{Ci} = estoque de carbono no uso inicial do solo E_{Cf} = estoque de carbono no uso final do solo
4	Retorno anual de carbono para cada tipo de bioma (por restauração da vegetação natural potencial)	Mg C/ha ano	Levantamento de dados
5	Tempo de relaxamento (t_r)	Anos	Cálculo: $t_r = T_{C\ atm} / R_{C\ anual}$ Sendo: $R_{C\ anual}$ = retorno anual de carbono
6	Tempo de permanência do carbono no ar ($P_{C\ ar}$)	Anos	Cálculo: $P_{C\ ar} = t_r / 2$
7	Fator de duração (fd)	sem unidade	Cálculo: $fd = P_{C\ ar} / 157$
8	Quantidade de carbono transferida ao ar, em carbono equivalente da combustão fóssil (C_{eq})	Mg C/ha	Cálculo: $C_{eq} = T_{C\ atm} / fd$

Inicialmente, foram coletados e organizados em tabelas dados referentes aos estoques de carbono no solo e na vegetação, em megagrama ou tonelada de carbono por hectare, para cada um dos estratos do bioma Mata Atlântica a partir de Tiepolo *et al.* (2002).

Em seguida, assumindo-se hipóteses de porcentagens de transferências de carbono da vegetação e do solo para a atmosfera devidas às transformações do solo e dados de retorno anual de carbono por restauração de floresta para o bioma considerado, foram calculados os tempos de relaxamento (tempos necessários para as forças da natureza reverterem a transformação, ou seja, reabsorverem todo o CO₂ emitido) e as médias imputáveis de permanência do carbono no ar (tempos médios de permanência no ar, referindo-se às quantidades de carbono, e não às

moléculas individuais) para os estratos do bioma considerado e para os principais tipos de transformação relativos à implantação de pastagens.

Então, foram definidos fatores de duração, determinados pela razão entre a permanência do carbono originário do uso do solo no ar, para cada estrato de floresta, e a permanência do carbono no ar originário da combustão fóssil. A partir desses fatores de duração, foram determinados valores de transferência de carbono para o ar relativos ao uso do solo nos diferentes estratos, expressos em carbono equivalente da combustão fóssil. Esses valores resultantes podem ser somados ao carbono originário da combustão fóssil e utilizados diretamente na ACV, podendo resultar em dados de impacto climático e impacto na biodiversidade.

3 Resultados e discussão

A **Tab. 2** mostra estimativas de estoques de carbono na vegetação dos diferentes estratos do Bioma Mata Atlântica. Nota-se que as florestas aumentam seu potencial de armazenamento de carbono ao longo do seu desenvolvimento, ou seja, florestas avançadas armazenam maior quantidade de carbono que florestas jovens.

Tabela 2. Estimativas de estoques de carbono na vegetação (valores por estrato do bioma Mata Atlântica, em megagramas ou toneladas de carbono por hectare)

Bioma	Estrato	Vegetação (Mg C/ha)	Fonte	Metodologia utilizada
Mata Atlântica	Floresta submontanha	135,89	Tiepolo <i>et al.</i> (2002)	Winrock International (MacDicken, 1997)
	Floresta de planície	106,81		
	Floresta de várzea	64,12		
	Floresta avançada/média	106,19		
	Floresta secundária média	101,96		
	Floresta secundária jovem	42,89		

A **Tab. 3** mostra estimativas de estoques de carbono na vegetação em estratos artificialmente transformados no Bioma Mata Atlântica.

Tabela 3. Estimativas de estoques de carbono na vegetação (valores por tipo de pasto no bioma Mata Atlântica, em megagramas ou toneladas de carbono por hectare)

Bioma	Estrato	Vegetação (Mg C/ha)	Fonte	Metodologia utilizada
Mata Atlântica	Pasto	1,4	Tiepolo <i>et al.</i> (2002)	Winrock International (MacDicken, 1997)
	Pasto com arbustos	1,6		

A **Tab. 4** mostra valores de transferência de carbono, calculados com base nos dados apresentados nas Tabelas 2 e 3; valores de retorno anual de carbono para florestas em regeneração depois de cessado o uso do solo, retirados do WBGU (1998); valores de tempo de relaxamento, calculados com base nos dados de transferência de carbono e retorno anual de carbono; e, por fim, valores do tempo de permanência média do carbono no ar, calculados com base nos valores de tempo de relaxamento.

A **Tab. 5** mostra valores de fatores de duração, calculados com base nos dados de permanência média do carbono no ar (da Tabela 4) e de permanência do carbono de origem da combustão fóssil no ar (da Figura 6; IPCC, 2007); e de transferência

de carbono para o ar, em carbono equivalente da combustão fóssil, calculados com base nos valores de transferência de carbono para o ar (da Tabela 4) e dos fatores de duração.

Tabela 4. Tempos de relaxamento e permanência média imputável do carbono no ar para os principais tipos de transformação do solo na Mata Atlântica

Bioma	Estrato	Tipo de transformação precedente	Transferência de carbono (Mg C/ha)	Retorno anual de carbono (Mg C/ha ano) (WBGU, 1998) ⁽¹⁾	Tempo de relaxamento (ano)	Permanência média do carbono no ar (ano)
Mata Atlântica	Floresta submontanha	Para pasto	$135,89 - 1,4 = 134,49$	2,45	54,89	27,45
		Para pasto com arbustos	$135,89 - 1,6 = 134,29$	2,45	54,81	27,41
	Floresta de planície	Para pasto	$106,81 - 1,4 = 105,41$	2,45	43,02	21,51
		Para pasto com arbustos	$106,81 - 1,6 = 105,21$	2,45	42,94	21,47
	Floresta de várzea	Para pasto	$64,12 - 1,4 = 62,72$	2,45	25,60	12,80
		Para pasto com arbustos	$64,12 - 1,6 = 62,52$	2,45	25,52	12,76
	Floresta avançada/média	Para pasto	$106,19 - 1,4 = 104,79$	2,45	42,77	21,39
		Para pasto com arbustos	$106,19 - 1,6 = 104,59$	2,45	42,69	21,35
	Floresta secundária média	Para pasto	$101,96 - 1,4 = 100,56$	2,45	41,04	20,52
		Para pasto com arbustos	$101,96 - 1,6 = 100,36$	2,45	40,96	20,48
	Floresta secundária jovem	Para pasto	$42,89 - 1,4 = 41,49$	2,45	16,93	8,47
		Para pasto com arbustos	$42,89 - 1,6 = 41,29$	2,45	16,85	8,43

⁽¹⁾ Metade da taxa anual de retorno de carbono por crescimento de florestas tropicais da América do Sul: $4,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (WBGU, 1998), considerando que transformações de floresta para pastagens transferem para o ar 100% do carbono da vegetação e 0% do carbono do solo (que permanece razoavelmente protegido pela cobertura vegetal permanente de grama), e, portanto, que apenas a vegetação em regeneração atua no retorno de carbono (MÜLLER-WENK & BRANDÃO, 2010). Considerou-se metade do valor fornecido pelo WBGU porque acredita-se que uma restauração puramente natural geraria apenas 50% desse retorno (MÜLLER-WENK & BRANDÃO, 2010).

Tabela 5. Bioma Mata Atlântica: transferências de carbono para o ar, fatores de duração e carbono transferido ao ar em equivalentes à combustão fóssil para os mais importantes tipos de transformação e ocupação do solo

Estrato	Tipo de transformação	Mg de C por hectare transferidas para o ar pela transformação	Fator de duração (fd)	Mg de C por hectare transferidas ao ar, em carbono equivalente da combustão fóssil (Ceq)
Floresta submontanha	Para pasto	134,49	$27,45/157 = 0,1748$	23,51
	Ocupação como pasto por 1 ano	134,49	$1/157 = 0,0064$	0,86
	Para pasto com arbustos	134,29	$27,41/157 = 0,1746$	23,45
	Ocupação como pasto com arbustos por 1 ano	134,29	$1/157 = 0,0064$	0,86
Floresta de planície	Para pasto	105,41	$21,51/157 = 0,1370$	14,44
	Ocupação como pasto por 1 ano	105,41	$1/157 = 0,0064$	0,67
	Para pasto com arbustos	105,21	$21,47/157 = 0,1368$	14,39
	Ocupação como pasto com arbustos por 1 ano	105,21	$1/157 = 0,0064$	0,67
Floresta de várzea	Para pasto	62,72	$12,80/157 = 0,0815$	5,11
		62,72	$1/157 = 0,0064$	0,40
	Para pasto com arbustos	62,52	$12,76/157 = 0,0813$	5,08
		62,52	$1/157 = 0,0064$	0,40
Floresta avançada/média	Para pasto	104,79	$21,39/157 = 0,1362$	14,27
		104,79	$1/157 = 0,0064$	0,67
	Para pasto com arbustos	104,59	$21,35/157 = 0,1360$	14,22
		104,59	$1/157 = 0,0064$	0,67
Floresta secundária média	Para pasto	100,56	$20,52/157 = 0,1307$	13,14
		100,56	$1/157 = 0,0064$	0,64
	Para pasto com arbustos	100,36	$20,48/157 = 0,1304$	13,09
		100,36	$1/157 = 0,0064$	0,64
Floresta secundária jovem	Para pasto	41,49	$8,47/157 = 0,0539$	2,24
		41,49	$1/157 = 0,0064$	0,27
	Para pasto com arbustos	41,29	$8,43/157 = 0,0537$	2,22
		41,29	$1/157 = 0,0064$	0,26

4 Conclusões

O estudo de caso com o Bioma Mata Atlântica permitiu verificar que é possível regionalizar dados de transferência de carbono para a atmosfera em função do uso do solo e que esses novos dados encontrados são bastante diferentes dos dados genéricos anteriormente encontrados por Müller-Wenk & Brandão (2010) para florestas tropicais.

Os resultados de transferência de carbono encontrados, em equivalentes de

carbono emitido por combustão fóssil, variam de 2,24 a 23,51 Mg C/ha para transformação de floresta para pasto no bioma Mata Atlântica, dependendo do estrato considerado, ao passo que Müller-Wenk & Brandão (2010) trazem o valor de 39,1 Mg C/há para o mesmo tipo de transformação, em uma situação generalista de floresta tropical úmida.

Somente a partir desses dados obtidos a partir do estudo de caso, pode-se perceber que não só variam os valores encontrados para transferência de carbono pelo uso do solo entre diferentes áreas nacionais englobadas a princípio dentro de um mesmo bioma mundial, mas também variam os valores encontrados para diferentes estratos dentro de um mesmo bioma brasileiro. É reforçada, assim, a necessidade de regionalizar os dados de transferência de carbono, a fim de torná-los mais realistas e confiáveis.

5 Referências

Ammenber, J.; Sundin, E., 2005. Products in environmental management systems: Drivers, barriers and experiences. *Journal of Cleaner Production*. 13, 4, 405-415.

Bakkenes, M., Alkemade, J. R. M., Ihle, F., Leemans, R. & Latour, J. B., 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology*. 8, 390–407.

Beaumont, L. J. & Hughes, L., 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Global Change Biology*. 8, 954–971.

Erasmus, B. F. N., van Jaarsveld, A. S., Chown, S. L., Kshatriya, M. & Wessels, K., 2002. Vulnerability of South African animal taxa to climate change. *Global Change Biology*. 8, 679–693.

Goedkoop, M.; Heijungs, R; Huijbregts, M.; Schryver, A. de; Struijs, J.; Zelm, R. Van., 2009. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation.

IPCC, 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Working Group 1, Report "The Physical Science Basis.

Lange, M. V., Ugaya, C. M. L., 2010. A biodiversidade na AICV: conquistas e lacunas fundamentadas nos preceitos da convenção sobre diversidade biológica. II Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida. Florianópolis. 6p. (in press).

MacDicken, K., 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for agricultural development, Arlington, VA.

Maxwell, D., Sheate, W., Vorst, R., 2006. Functional and Systems Aspects of the Sustainable Product and Service Development Approach for Industry. *Journal of Cleaner Production*. 14, 1466–1479.

Midgley, G. F., Hannah, L., Rutherford, M. C. & Powrie, L. W., 2002. Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot. *Global Ecol. Biogeogr.* 11, 445–451.

Müller-Wenk, R.; Brandão, M., 2010. Climatic impact of land use in LCA – carbon transfers between vegetation/soil and air. *The International Journal of Life Cycle*

Assessment. 15, 172-182.

Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., Stockwell, D. R. B., 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416, 626–629.

Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica, 2006. Panorama da Biodiversidade Global 2. Montreal, 81 + vii páginas.

Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica, 2010. Panorama da Biodiversidade Global 3. Montreal, 94 páginas.

Sodhi, N. S., Brook, B. W., Bradshaw, C. A. J., 2009. Causes and consequences of species extinctions. In: *Princeton Guide to Ecology* (S. A. Levin, ed.), Princeton University Press, 514-520.

Tiepolo, G., Calmon, M. & Feretti, A.R., 2002. Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil. In: *International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring*. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute. 153, 98-115.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Barend F. N., Erasmus, B. F. N., Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B, Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L., Williams, S. E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427.

Williams, S. E., Bolitho, E. E. & Fox, S., 2003. Climate change in Australian tropical rainforests: an impending environmental catastrophe. *Proc. R. Soc. Lond. B* 270, 1887–1892.

WBGU. German Advisory Council on Global Change, 1998. *The Accounting of Biological Sinks and Sources Under the Kyoto Protocol - A Step Forwards or Backwards for Global Environmental Protection?* Special Report, Bremerhaven.

WWF, ? . Questões Ambientais: Biomas Brasileiros http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/biomas/ acessado em Janeiro/2011.