



CUSTOS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DO SETOR DE TRANSPORTE DA PARAÍBA VIA REFLORESTAMENTOS

Ana Carla Bezerra LIMA¹, Valderi Duarte LEITE², Carlos Roberto LIMA³

¹Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, Universidade do Estado da Paraíba, Patos, Paraíba, Brasil.

²Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

³Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, Paraíba, Brasil.

*E-mail: anacarla_blima@hotmail.com

Recebido em junho/2015; Aceito em outubro/2015.

RESUMO: Evidências científicas indicam que as concentrações atmosféricas de CO₂ estão muito acima dos níveis contabilizados em 1990. Questões ambientais associadas às emissões dos poluentes provenientes de combustíveis fósseis apresentam problemas globais, tais como, toxicidade do ar e os gases de efeito estufa (GEE). O sequestro de carbono com plantio de florestas promove a absorção de grandes quantidades de gás carbônico (CO₂) presentes na atmosfera. Para diminuir seus efeitos foram criados mecanismos de redução de emissões de gases do efeito estufa através dos mercados de carbono. Esse processo natural ajuda a diminuir consideravelmente a quantidade de CO₂ na atmosfera e cada hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver de 150 a 200 toneladas de carbono. Pesquisas científicas têm comprovado que grande parte do aquecimento global é de origem antropogênica e, por isso a própria ação humana pode e deve intervir no sentido de reduzir e mitigar as emissões. O presente trabalho tem por objetivos estimar as áreas de reflorestamentos necessárias para a efetiva mitigação das emissões de gás carbônico (CO₂) do setor de transporte rodoviário do estado da Paraíba, bem como avaliar os custos por tonelada de CO₂ sequestrada em função das essências florestais e dos custos para reflorestar um hectare. Os melhores resultados foram obtidos com o híbrido comercial *Eucalyptus urograndis*, os resultados para a média dos híbridos experimentais na Chapada do Araripe - PE foram um pouco inferior, mas ambos foram superiores aos obtidos com a jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) plantada na Chapada do Apodi - CE. Tais comentários se aplicam as estimativas de áreas e dos custos por tonelada de CO₂ sequestrada (mitigada).

Palavra-chave: Emissões de Carbono, Efeito Estufa, Aquecimento Global, Mitigação, Reflorestamentos.

COST ESTIMATES FOR MITIGATION OF CO₂ EMISSIONS OF TRANSPORTATION OF PARAÍBA THROUGH REFORESTATION

ABSTRACT: Scientific evidences indicate that the atmospheric CO₂ concentrations are approximately 16% above of the levels entered in 1990. Ambient questions associates to the emissions of the pollutants proceeding from fossil fuels present global problems, such as, toxicity of air and the gases of effect greenhouse (GHG). To lessen its effects were created mechanisms to reduce greenhouse gas emissions through carbon markets. The carbon sequestration with plantation of forests promotes the absorption of great amounts of carbonic gas (CO₂) presents in the atmosphere. This natural process helps considerably to diminish the amount of CO₂ in the atmosphere and each hectare of forest in development is capable to absorb of 150 the 200 tons of carbon. Scientific research has proven that great part of the global heating is of anthropogenic origin and; therefore, the proper action human being can and must intervene in the direction to reduce the emissions and to mitigate the emissions not prevented. The present work has for objectives to esteem the areas of necessary reforestations for the effective mitigation of the carbonic gas emissions (CO₂) of the sector of road transport of the Paraíba State, Brazil, as well as to evaluate the costs for ton of CO₂ sequestered in function of the forest essences and the costs to reforest one hectare. The best ones resulted had been gotten with commercial hybrid *Eucalyptus urograndis*, the results for the average of the experimental hybrids in the Chapada do Araripe, Pernambuco State, Brazil had been a little inferior, but both had been very superior to the gotten ones with *Mimosa tenuiflora* planted in the Chapada do Apodi, Ceará State. Such commentaries if apply for the estimates of areas and costs for ton of CO₂ sequestered (mitigated).

Keywords: Carbon Emissions, Greenhouse Global Warming Mitigation, Reforestation.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da demanda energética mundial é atendida através dos combustíveis fósseis, com aproximadamente 85%, sendo estes responsáveis por 40% das emissões de CO₂, considerando-se o carvão mineral como fonte principal destas emissões (CARAPELUCI; MILAZZO, 2003). A previsão para o total de emissões de CO₂ (dióxido de carbono) chega a 46,7 bilhões de toneladas em 2030, com crescimento anual médio de 2,3% no período de 2003 a 2030 (BEN, 2006). Para diminuir este número, foram criados mecanismos de redução de emissões de gases do efeito estufa através dos mercados de carbono (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2014a).

O sequestro de carbono com plantio de florestas promove a absorção (mitigação) de grandes quantidades de gás carbônico (CO₂) presentes na atmosfera. Naturalmente realizada pelas árvores, é a forma mais comum de sequestro de carbono. Na fase de crescimento, as árvores demandam uma quantidade muito grande de carbono para se desenvolver e acabam tirando CO₂ do ar. Esse processo natural ajuda a diminuir consideravelmente a quantidade de CO₂ na atmosfera e, segundo o Instituto Brasileiro de Florestas – IBF (2014), cada hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver de 150 a 200 toneladas de carbono. Goldemberg (1998); Gut (1998); Lima (2000); Nogueira et al. (2000); Silva Lora (2000); Dutra (2002); Lima et al. (2003); Nogueira; Silva Lora (2003); e Lima et al. (2004), tem proposto a mitigação das emissões de carbono por meio de reflorestamentos, como uma alternativa técnica e econômica viável e, social e ambientalmente desejável.

O Brasil está dando um passo à frente na estruturação de um mercado confiável de emissões, a exemplo do que ocorre na Europa. Lá, uma usina de energia térmica, por exemplo, deve obedecer a um teto de emissões pré-estabelecido. Cabe à usina comprovar às autoridades que cumpriu a meta de emissões e ao Organismo de Verificação de Inventários de Gases de Efeito Estufa (OVV) atestar que a declaração é verdadeira. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), por meio da decisão de Diretoria nº 254, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 22 de agosto de 2012, exige que empreendimentos de um leque amplo de atividades apresentem seus inventários de gases de efeito estufa (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2014b).

Pesquisas científicas têm comprovado que grande parte do aquecimento global é de origem antropogênica e, por isso a própria ação humana pode e deve intervir no sentido de reduzir as emissões e de mitigar as emissões não evitadas (YU, 2004). O presente trabalho tem por objetivos estimar as áreas de reflorestamentos necessárias para a efetiva mitigação das emissões de gás carbônico (CO₂) do setor de transporte rodoviário do estado da Paraíba, bem como avaliar os custos por tonelada de CO₂ sequestrada em função das essências florestais e dos custos para reflorestar um hectare.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho tem como ponto de partida as determinações das estimativas de emissões anuais de CO₂ realizadas por Castro (2011), para os combustíveis automotivos (Gasolina C; Álcool hidratado e Diesel),

consumidos no estado da Paraíba no período entre janeiro de 2000 e agosto de 2010 (11 anos), utilizando o método “top down”, o qual é recomendado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), e devidamente descrito em CASTRO (2011); (Figura 1).

No período do estudo de Castro (2011) foram emitidas, no total, 18817622,41 toneladas de CO₂, ou seja, emitiu-se em média 1746152,10 toneladas ano⁻¹ de CO₂. Esta média anual de emissões de CO₂ será utilizada para se estimar as áreas de reflorestamentos necessárias para o efetivo sequestro ou mitigação destas emissões.

Para se determinar as estimativas das áreas de reflorestamentos para a efetiva mitigação (sequestro) das emissões de CO₂ serão utilizados parâmetros (variáveis) silviculturais e tecnológicos de três espécies florestais: a jurema preta (*Mimosa tenuiflora* [Willd.] Poir.), nativa), eucalipto (híbridos de *Eucalyptus* spp., exótica) e o clone comercial de *E. urograndis*, (Tabela 1).

Os dados silviculturais e tecnológicos da jurema preta (*M. tenuiflora*) foram obtidos de plantios comerciais realizados, com mudas produzidas a partir de sementes pela empresa CARBOMIL, na Chapada do Apodi, em Limoeiro do Norte – CE (ASSOCIAÇÃO DE PLANTAS DO NORDESTE – APNE, 2008). Já para o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) foram obtidos de experimentos florestais implantados na Estação Experimental de Araripina, do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, localizada na Chapada do Araripe, em Araripina – PE (SILVA, 2012), conduzidos sob a responsabilidade do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido - CPATSA, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, localizada em Petrolina - PE.

Para o Eucalipto foram utilizados dados médios de híbridos utilizados neste experimento do CPATSA/EMBRAPA (SILVA, 2012). Como também de plantios comerciais, com clones específicos (*E. urograndis*), realizados por empresas prestadoras de serviços florestais em áreas de Mata Atlântica no sul do estado da Bahia. As estimativas dos custos por tonelada de carbono sequestrada (R\$/ton. CO₂) serão determinadas a partir das informações de mercado fornecidas por profissionais que atuam em empresas prestadoras de serviços silviculturais do sul da Bahia, bem como também de profissionais que atuam no estado da Paraíba (informações pessoais).

Ao se entrar com os dados da Tabela 1, em uma planilha Microsoft Excel[®] (2010), devidamente formatada, obteremos como saída às taxas de sequestro de CO₂ para cada uma das espécies em estudo em toneladas de CO₂ ha⁻¹ano⁻¹. Na sequência e na mesma planilha, a determinação das áreas de reflorestamentos, em hectares (ha), necessárias para o efetivo sequestro (mitigação) das emissões médias anuais de CO₂ é realizada ao dividirmos a emissão média anual pela taxa anual de sequestro de CO₂ das espécies utilizadas no presente trabalho.

Para a determinação das estimativas de custos por tonelada de CO₂ sequestrada (mitigada) há que se considerar o ciclo florestal de 7 anos, ou seja um mesmo hectare ficará por 7 anos consecutivos sequestrando o CO₂ atmosférico, via reações de fotossíntese, e fixando-o na madeira. Portanto a taxa de sequestro de CO₂ deve ser multiplicada por 7 para se obter o total de toneladas sequestradas (estoques) durante o ciclo florestal. O custo

por tonelada de CO₂ sequestrada é obtido ao se dividir o custo para reflorestar (implantação e manutenções anuais) um hectare (R\$ ha⁻¹) pelo total de toneladas de CO₂ sequestrada durante o ciclo florestal.

Na determinação das estimativas de custos por tonelada de CO₂ sequestrada foram consideradas informações de mercado dos custos de implantação e de manutenções anuais para se reflorestar um hectare. Os custos por hectare considerados foram de R\$4.500,00; R\$5.700,00 e R\$6.500,00. Tais custos são distribuídos ao

longo do ciclo florestal desta forma: 77% na implantação; 7% com manutenções no ano da implantação; 4% no ano 1; 2% no ano 2; 3% no ano 3; 2% no ano 4; 3% no ano 5 e, 2% no ano 6. Se aplicarmos estes percentuais ao custo de R\$5.700,00/ha teremos: R\$4.389,00 na implantação; R\$399,00 na manutenção no ano da implantação; R\$228,00 no ano 1; R\$114,00 no ano 2; R\$171,00 no ano 3; R\$114,00 no ano 4; R\$171,00 no ano 5 e R\$114,00 no ano 6.

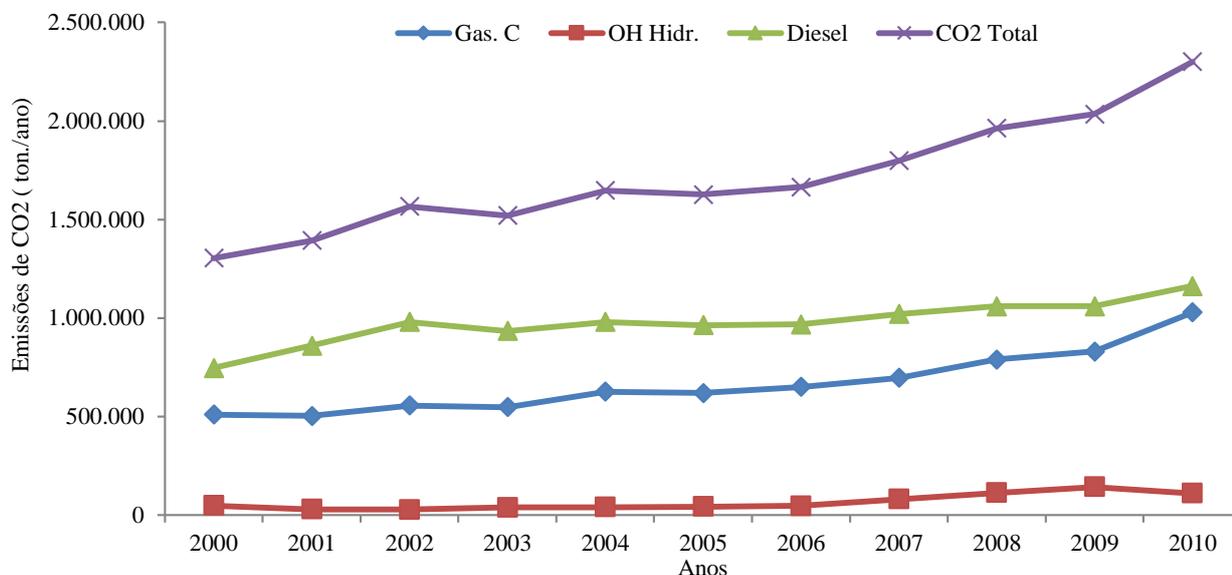


Figura 1. Evolução anual das emissões de CO₂ por tipo de combustível e total, no estado da Paraíba, no período de janeiro de 2000 a agosto de 2010. Elaboração própria a partir dos dados de CASTRO (2011).

Tabela 1 – Valores das variáveis silviculturais e tecnológicas das espécies utilizadas para as determinações das estimativas de áreas de reflorestamentos necessárias para a efetiva mitigação das emissões de CO₂.

Variáveis	Jurema preta	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>E. urograndis</i>	Unidades
Ciclo	7	7	7	Anos
IMA	18,56	42,68	52	m st/ha/ano
Massa	0,23	0,46	0,49	Ton./m st
Percentual de C	0,45	0,45	0,45	%
Coefficiente CO ₂ /C	3,667	3,667	3,667	
Emissão de CO ₂	1746152,10	1746152,10	1746152,10	Toneladas/ano

Ciclo = ciclo florestal adotado; IMA = incremento médio anual; Massa = massa do metro estere de madeira; C = Carbono; CO₂ = Dióxido de Carbono; m st = metro estere (metro de madeira empilhada) e ha = hectare (área).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentadas, em função dos parâmetros silviculturais e tecnológicos adotados, as taxas de sequestro de CO₂, que para a espécie jurema preta foi de 6,93 toneladas há⁻¹ ano⁻¹, para os híbridos de eucaliptos na Chapada do Araripe foi em média de 32,27 toneladas há⁻¹ ano⁻¹ e, para os clones comerciais de *E. "urograndis"* foi em média de 42,05 toneladas há⁻¹ ano⁻¹.

Como consequências das suas respectivas taxas de sequestro de CO₂ as estimativas de áreas de reflorestamentos necessárias para a efetiva mitigação das emissões anuais médias de CO₂ foram de 251.883,76 hectares para a jurema preta, de 54.109,02 hectares para o eucalipto (média dos híbridos) e, de 41.529,74 hectares para o clone comercial de *E. "urograndis"*.

Em função da sinergia positiva, entre os parâmetros incremento médio anual (IMA) e a densidade do metro estere, para os híbridos de eucalipto e para o clone de *E. "urograndis"*, estes possuem uma maior taxa de

sequestro de CO₂ e, como consequência necessitaríamos de áreas de reflorestamento 4,66 vezes menor para os híbridos na Chapada do Araripe ou, ainda, 6,07 vezes menor em relação ao clone de *E. "urograndis"* no sul da Bahia. Em outras palavras, caso opte-se por utilizar a espécie jurema preta a área necessária para mitigar as mesmas emissões médias anuais de CO₂ terá que ser 365,51% maior que se utilizasse os híbridos de eucaliptos e de 506,51% maior quando em relação ao clone comercial de *E. "urograndis"*.

Também como saída temos as estimativas dos custos por tonelada de CO₂ sequestrada (mitigada), os quais constam na Tabela 3, apresentada e comentada a seguir. As considerações realizadas em relação às estimativas das áreas de reflorestamentos se refletem nos custos por tonelada de CO₂ sequestrada, ou seja, que os custos são 6,07 e 4,67 vezes menores que os resultantes da espécie Jurema preta (*M. tenuiflora*) cultivada na Chapada do Apodi - CE, em relação aos resultantes do híbrido

comercial de *E. urograndis* cultivado no sul do estado da Bahia e aos resultantes para a média dos híbridos experimentados na Chapada do Araripe – PE, respectivamente. Para o clone do híbrido comercial de *E. urograndis* encontramos as menores estimativas de custos por tonelada de CO₂ sequestrada e, o menor valor foi

estimado em R\$15,29 ao considerarmos o custo por hectare reflorestado de R\$4.500,00. E as maiores estimativas de custos foram obtidas para a Jurema preta (*M. tenuiflora*) e, o maior valor foi estimado em R\$133,99 ao considerarmos o custo por hectare reflorestado de R\$6.500,00.

Tabela 2. Parâmetros (Variáveis) de saída da planilha, destacando-se as taxas anuais de sequestro de CO₂ e as estimativas de áreas de reflorestamentos em função das espécies consideradas.

Variáveis	Jurema preta	<i>Eucalyptus ssp.</i>	<i>E. urograndis</i>	Unidades
Estoque Volumétrico	129,92	298,76	364	m ³ /ha
Estoque Mássico	29,41	136,89	178,36	Ton./ha
Estoque Carbono	13,23	61,60	80,26	Ton. C/ha
Estoque de CO ₂	48,53	225,90	294,32	Ton. CO ₂ /ha
Taxa de Sequestro de CO ₂	6,93	32,27	42,05	Ton. CO ₂ /ha/ano
Áreas Estimadas	251883,76	54109,02	41529,74	ha

Tabela 3. Parâmetros (Variáveis) de saída da planilha, destacando-se os custos por tonelada de CO₂ sequestrada, em função das espécies estudadas e dos custos para reflorestar um hectare.

Variáveis	Jurema preta	<i>Eucalyptus ssp.</i>	<i>E. Urograndis</i>	Unidades
Ciclo	7	7	7	ano
Taxa	6,93	32,27	42,05	ton. CO ₂ /ha/ano
Estoque	48,51	225,89	294,35	ton. CO ₂ /ha
Custos/ha				
4.500,00	92,76	19,92	15,29	R\$/ton. CO ₂
5.700,00	117,50	25,23	19,36	R\$/ton. CO ₂
6.500,00	133,99	28,78	22,08	R\$/ton. CO ₂

Embora os custos por tonelada de CO₂ sequestrada estimados para os híbridos de *Eucalyptus ssp.* experimentais na Chapada do Araripe – PE serem superiores as do híbrido comercial de *E. urograndis*, estes são muito inferiores aos estimados para a Jurema preta (*M. tenuiflora*). Os custos por tonelada de CO₂ sequestrada estimados para os híbridos de *Eucalyptus ssp.* na Chapada do Araripe – PE, bem como os estimados para o híbrido comercial de *E. urograndis*, mesmo quando consideramos o maior custo por hectare (R\$6500,00), apresentam custos inferiores à média dos praticados atualmente pelo mercado internacional, que são de US\$17,09 por tonelada de CO₂ sequestrada, que ao câmbio atual corresponde a R\$38,46. Já a Jurema preta (*M. tenuiflora*) apresentou custos muito superiores à média internacional.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os híbridos de eucaliptos demonstraram maior potencial para mitigação das emissões de CO₂, quer na Chapada do Araripe – PE ou no sul da Bahia, em função de uma sinergia positiva entre o seu incremento médio anual (IMA) e a massa do metro estere de madeira nas condições avaliadas. Os melhores resultados foram obtidos com o híbrido comercial *E. urograndis*, os resultados para a média dos híbridos experimentais na Chapada do Araripe foram um pouco superiores, mas ambos foram muito inferiores aos obtidos com a Jurema preta (*M. tenuiflora*) plantada na Chapada do Apodi – CE. Tais comentários se aplicam para as estimativas de áreas e de custos por tonelada de CO₂ sequestrada (mitigada).

Embora a Jurema preta tenha tido os resultados muito inferiores aos dos híbridos de Eucaliptos é a mais indicada para os sertões do semiárido, os quais apresentam solos rasos e pedregosos, muitas vezes com afloramentos rochosos, com a pluviosidade baixa e muito

irregular. Situações em que a quase totalidade dos *Eucalyptus ssp.* experimentados não tem apresentado uma sobrevivência que justifiquem as suas utilizações em tais condições. Se observarmos as condições fisioclimáticas do estado da Paraíba podemos fazer a seguinte recomendação: os híbridos de *Eucalyptus* avaliados são indicados para plantios nas regiões da Zona da Mata, podendo adentrar no Agreste limítrofe com a Zona da Mata e em alguns sítios nos Brejos de Altitudes. Já a Jurema preta, por ser uma nativa, pode ser utilizada em toda a região do Sertão Paraibano (Depressão Sertaneja).

É de extrema necessidade a realização de pesquisas, com a Jurema preta e outras espécies nativas, visando à seleção de matrizes para a produção de sementes, melhoramentos genéticos (hibridação e clonagem), visando ganhos de produção e produtividade na busca por custos mais próximos aos praticados pelo mercado de carbono.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO DE PLANTAS DO NORDESTE (APNE). **Avaliação dos plantios de jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Mart.) Benth.) da empresa Carbomil Química S.A. Limoeiro do Norte - CE.** Recife: APNE, 2008. 18 p.
- CARAPPELLUCI R., MILAZZO A. Membrane systems for CO₂ capture and their integration with gas turbine plants. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A, Journal of power and energy**, London, v.217, n.5, p.505-517, out. 2003.
- CASTRO, H. P. **Inventário de emissões de dióxido de carbono produzidas por veículos automotivos no estado da Paraíba durante os últimos 11 anos.** 2011.

- 30f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade do Estado da Paraíba, Campina Grande, 2011.
- DUTRA, A. F. **Análise das emissões de Carbono (CO₂) pelas termelétricas do Estado de Mato Grosso do Sul e proposta para sua mitigação.** 2002. 35 f. Monografia. (Especialização em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Sequestro de carbono.** Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/blog/sequestro-de-carbono/>>. Acessado em ago. 2014.
- INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Mercado de Carbono.** Informações atualizadas em julho de 2013. Acessado em: 05/08/2014a. Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/#mercado_de_carbono#ixzz39nYBJdta>. Acesso em ago. 2014. (a)
- INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Brasil dá um passo à frente para um mercado confiável de emissões de gás efeito estufa.** Acessada em 05/07/2014b. Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/noticias/noticia=737744>>. Acesso em ago. 2014. (b)
- GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento.** São Paulo: EDUSP, 1998. 235p.
- GUT, F. O mercado e o sequestro de carbono. **Revista Silvicultura**, São Paulo, v.19, n.75, p.42-48, jun. 1998.
- LIMA, C. R. Energia, sociedade e desenvolvimento sustentável: o caso de Água Clara – MS. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., Campinas, 2000. **Anais...** Campinas: NIPE/UNICAMP, 2000.
- LIMA, C. R. et al. Emissões de carbono (CO₂) da UTE PB e o reflorestamento como medida mitigadora. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBEF/SBS, 2003.
- LIMA, C. R. et al.. Emissões de Carbono (CO₂) pelas Termelétricas do Estado de Mato Grosso do Sul e sua Mitigação via Reflorestamentos. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Org.). **Fixação de Carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas.** Curitiba: AM Impressos, 2004. p.169-175.
- NOGUEIRA, L. A. H. et al. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações.** Brasília: ANEEL, 2000. 144p.
- NOGUEIRA, L.A. H. et al. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações.** 2ª Ed. Rio de Janeiro : Interciência, 2003. 199p.
- SILVA LORA, E. E. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte.** Brasília: ANEEL, 2000. 503p.
- SILVA, J. A. A. **Eucalyptus como fonte energética no Polo Gesseiro do Araripe – PE.** Recife: ITEP, 2013. 29p.
- YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas.** São Paulo: Annablume, 2004. 23 p.