



Avaliação do Ciclo de Vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil

Leticia De Santi Barrantes¹, Marília Ieda Da Silveira Folegatti-Matsuura², José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira³, Cássia Maria Lie Ugaya⁴

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná, leticia.desantib@gmail.com

²Embrapa Meio Ambiente

³Embrapa Florestas

⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná, bolsista Produtividade CNPq

Resumo. Diversas são as vantagens do uso da biomassa florestal para a geração de energia. O Brasil apresenta condições edafoclimáticas que permitem o alcance de altas produtividades dos plantios florestais e, em função disso, o uso da madeira como biomassa apresenta significativa participação no balanço energético nacional. Para avaliar o desempenho ambiental desta atividade no Brasil por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), dados de inventário são requeridos, os quais não estão disponíveis nas bases de dados de inventários e nem na literatura. Estudos revelam que muitas são as variáveis que influenciam os resultados de impacto dos manejos florestais, como o clima local, a espécie cultivada, o uso pretendido da madeira e as operações abrangidas, o que indica que a regionalização dos dados é importante. Assim, uma Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi desenvolvida para 1 m³ de madeira, a partir de dados primários relativos a um polo concentrador da atividade no Brasil, usando o método CML. Os resultados foram analisados a fim de se propor melhorias no seu desempenho ambiental. A AICV mostrou que as operações de corte e extração da madeira, as quais compõem a etapa de colheita, juntamente com o carregamento, são as mais contribuintes para os impactos, em especial a extração. Em função disso, a simulação dos impactos da extração com “forwarder”, ao invés de trator agrícola, mostrou menor geração de impactos em todas as categorias analisadas, caracterizando assim um ponto de possível melhoria para o desempenho do sistema. Além disso, o conjunto de dados do corte com motosserra que abrange o consumo de óleo de soja foi adaptado através da substituição deste insumo para óleo lubrificante mineral, consumo pelo equipamento no local. Esta mudança acarretou em diversas alterações nas contribuições aos impactos desta operação, confirmando que a adaptação de conjuntos de dados é uma tarefa importante para a regionalização de estudos, o que os torna mais próximos da realidade. Concluiu-se, assim, que o sistema de manejo florestal da região tem como ponto crítico a etapa de colheita e que a ACV deve ser utilizada como uma ferramenta iterativa, na busca de resultados próximos da realidade.

Palavras-chave. Avaliação do Ciclo de Vida, Inventário do Ciclo de Vida, eucalipto, lenha, energia

Introdução

Diversas são as vantagens do uso da biomassa para a geração de energia como, por exemplo, o curto período de renovação dos seus hidratos de carbono com relação à renovação dos hidrocarbonetos fósseis e o aproveitamento indireto da energia solar. Dentre os tipos de biomassa utilizados com este fim, está a biomassa de origem florestal, que apresenta significativa importância no contexto nacional, já que ocupa a posição de terceira maior fonte de energia renovável no Brasil, de acordo com o balanço energético nacional de 2015 (BRASIL, 2015), e no contexto internacional, onde abrange 6,5% da produção de madeira para energia em todo o mundo, segundo dados estatísticos da FAO (FAOSTAT, 2013).

Isso se deve às condições favoráveis existentes no país, que permitem o alcance de produtividades cerca de dez vezes maiores do que países temperados (WFI, 2008; VALVERDE et al., 2004). Neste sentido, a avaliação do desempenho ambiental da produção florestal para energia mostra-se importante, em especial a partir da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que permite a identificação de pontos críticos e a proposição de melhorias ao longo de toda a cadeia produtiva.

Estudos de ACV de florestas na literatura revelam que o desempenho da produção florestal pode variar significativamente em função das variáveis: material genético dos indivíduos, condições ambientais do local, práticas de manejo envolvidas (que variam com o uso pretendido) e condições socioeconômicas da região.



Assim, é importante que os conjuntos de dados utilizados sejam representativos de um local para que os resultados estejam próximos da realidade.

Para análise da atividade no Brasil, tais conjuntos de dados não são encontrados na literatura ou nas bases de dados de ICV, tais como ELCD, US LCI e Spine. A base de dados suíça,ecoinvent, bastante reconhecida e utilizada internacionalmente, contém conjuntos de dados de produção florestal abrangendo a produção de madeira para energia, contudo não são relativos ao Brasil. O conjunto de dados que esta base de dados contempla para florestas no Brasil refere-se à *Araucária angustifolia*, que representa menos de 10% da silvicultura nacional, de acordo com os dados da ABRAF (2013) e IBA (2014). Esses relatórios revelam que mais de 70% da silvicultura no Brasil é feita com espécies de Eucalipto, mais de 20% com Pinus e apenas o restante abrange, juntamente com outras espécies, o Pinheiro do Paraná.

Assim, buscou-se no presente trabalho avaliar a atividade florestal de maneira regionalizada e, para tanto, a criação de um conjunto de dados representativo foi necessária, o qual teve como foco a região de Itapeva (SP), que representa um dos três polos de concentração da atividade de florestas plantadas para energia no Brasil. Buscou-se, ainda, a proposição de melhorias para o sistema a partir dos resultados de impacto encontrados.

Metodologia

Considerando as três regiões concentradoras da produção de madeira para energia no Brasil - i) região central de Minas Gerais; ii) região entre o sul de São Paulo (SP) e o norte do Paraná (PR) e iii) Rio Grande do Sul (BUSCHINELLI, 2014) - o polo entre SP e PR foi selecionado para realização do presente estudo. Para tanto, a região de Itapeva foi foco da coleta de dados. Entrevistas foram realizadas com nove produtores da região. A partir das informações coletadas, um sistema de produção modal, conforme definido por Moreira et al. (2015), foi delineado para representar o manejo florestal da região. Este modal se caracteriza por uma região de produtividade alta (IMA de 50 m³/ha ano no primeiro corte), com elevado nível de uso de fertilizantes, mas com um sistema de colheita semi-mecanizado, de eficiência operacional menor do que os sistemas mecanizados. A distância de transporte da madeira para os clientes está dentro de uma distância considerada economicamente viável para a produção florestal. Vale lembrar que os outros polos serão analisados em estudos futuros.

O conjunto de dados do ciclo de vida foi então construído com base nas informações validadas e representativas da produção de madeira para energia no polo de Itapeva (SP). Para tanto, os dados coletados em função da produção de 1 metro estéril ou de 1 hectare de plantação foram convertidos e as escolhas metodológicas a seguir foram levadas em conta.

- Unidade de análise: 1 m³ de madeira (com 25 % de umidade após secagem ao ar livre);
- Modelos de emissão: Nemecek e Schnetzer (2012) para as emissões resultantes da aplicação de fertilizantes, pesticidas e metais pesados e Levová e Pflster (s/d) para as emissões de água;
- Absorção de CO₂ na biomassa: contabilizados por estequiometria;
- Cobertura temporal/geográfica: 2014 a 2016/Região de Itapeva (SP);
- Sistema de produto: abrange a produção da madeira de eucalipto, desde a etapa da produção de mudas em viveiros até a madeira seca (ao ar livre) carregada nos veículos rodoviários.

As fronteiras consideradas no sistema podem ser observadas na Figura 1. É abrangido no estudo o manejo de um ciclo completo das plantações de eucalipto na região de Itapeva, o qual tem duração total de 14 anos, sendo composto por duas rotações (cortes) aos 7 e 14 anos, caracterizado por 6 etapas:

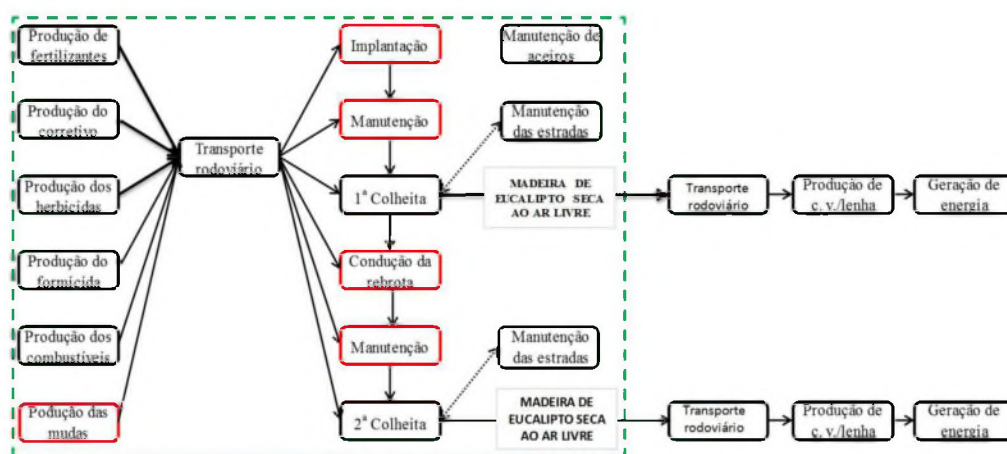
- Implantação: abrange operações de adubação, preparo do solo manual juntamente com a abertura das covas, plantio e dessecação durante o primeiro ano;
- Primeira manutenção: abrange o combate à formiga realizado em anos alternados, desde o ano 2 até o ano 6;
- Primeira colheita: no ano 7, quando os indivíduos já alcançaram diâmetro e alturas desejados iniciam-se as operações de colheita, com a realização de capinas manual e química, seguida pelo tombamento das árvores propriamente dito, que é feito com motosserra. Nesta etapa é também realizada a extração da madeira e o carregamento do veículo de transporte, feitas com trator 4 x 4 acoplado a uma carreta auto carregável e um carregador florestal, respectivamente;

- Condução da rebrota: após a primeira colheita, os tocos de eucalipto rebrotam, dois a três brotos são selecionados e as operações de adubação e dessecação são realizadas novamente, a fim de que o povoamento se reestabeleça;
- Segunda manutenção: abrange a mesma operação e frequência de combate à formiga realizada na primeira manutenção;
- Segunda colheita: abrange as mesmas operações e equipamentos utilizados na primeira colheita, mas com uma queda de produtividade esperada em torno de 20% em relação à primeira colheita.

A implantação da infraestrutura não foi considerada, já que a atividade está muito bem estabelecida na região há mais de 20 anos e, dessa forma, as estradas florestais e os aceiros recebem apenas manutenção:

- Manutenção de estradas florestais: é feita no ano da colheita, para facilitar o escoamento do produto e movimentação dos funcionários, assim, foram considerados dois eventos desta atividade no ciclo produtivo. São utilizados para tanto moto niveladora e retroescavadeira, a fim de nivelar o terreno e adicionar brita sobre as estradas;
- Manutenção de aceiros: é feita anualmente com o objetivo de manter a segurança dos talhões, reduzindo os riscos de incêndio, logo foram considerados 14 eventos. Os mesmos equipamentos da manutenção de estradas são utilizados para os aceiros, para nivelamento do terreno.

Figura 1: Fronteiras do sistema de produto consideradas no presente estudo.



*Quadrado pontilhado em verde = fronteiras do sistema; **Caixas em vermelho = dados primários coletados em campo; ***c.v.= Carvão vegetal; ****Flecha pontilhada = atividade paralela e não subsequente.

A produção e transporte dos insumos e matérias-primas são também abrangidos nas fronteiras do sistema (Figura 1). Utilizou-se para essas etapas do ciclo de vida a base de dados ecoinvent versão 3.2, que acarretou no uso de dados secundários globais. As caixas em vermelho sinalizam dados que foram utilizados de forma totalmente regionalizada, ou seja, gerados a partir de dados primários. A flecha pontilhada indica que a manutenção de estradas ocorre em paralelo à atividade de colheita. Já a atividade de manutenção de aceiros não está ligada a nenhuma outra atividade, pois ocorre de forma independente, anualmente.

Como citado anteriormente, a fronteira do sistema termina com o carregamento dos veículos de transporte que posteriormente entregam o produto para empresas cerâmicas, cimenteiras, de secagem de grãos e siderúrgicas, onde a lenha é transformada em carvão vegetal para geração de vapor nas caldeiras ou é queimada em forma de lenha para geração de calor.

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) deste conjunto de dados foi realizada a partir do método mais utilizado nos estudos semelhantes da literatura: CML, com o conjunto de normalização World 2000.

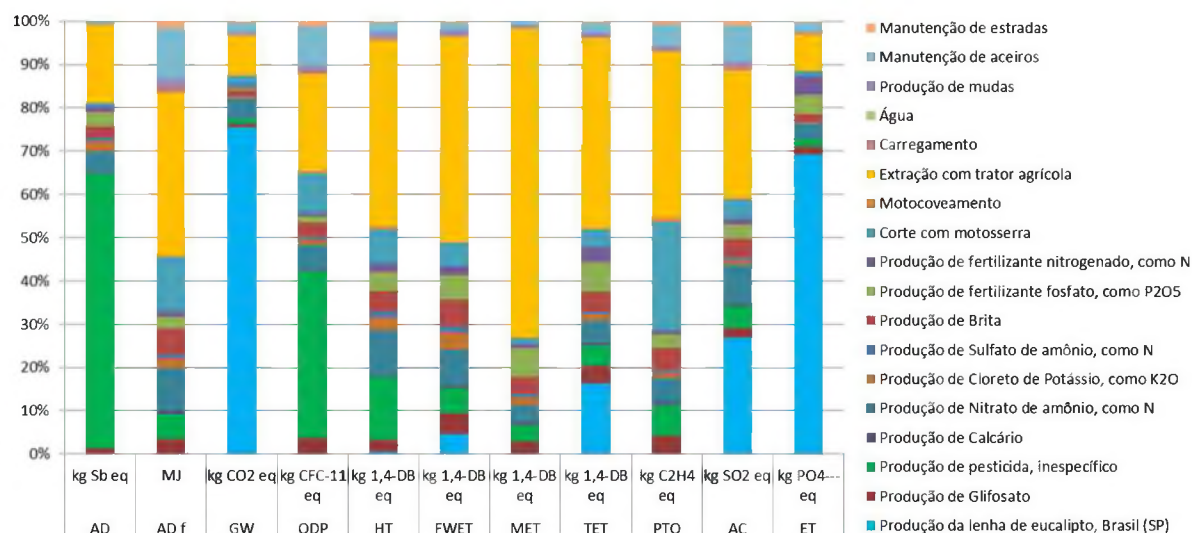
Resultados

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

O conjunto de dados primários e representativos da silvicultura de eucalipto praticada no polo de produção localizado em Itapeva (SP) foi utilizado para a realização da AICV. Os primeiros resultados foram obtidos a partir dos conjuntos de dados das operações mecanizadas originais disponíveis na base de dados e revelaram que a etapa florestal da produção da lenha de eucalipto no local estudado tem contribuição significativa aos impactos de Aquecimento global, Oxidação fotoquímica, Eutrofização, Acidificação e Ecotoxicidade terrestre.

Especificamente para o impacto de Aquecimento global e de Oxidação Fotoquímica, a principal causa deste resultado é o óleo de soja envolvido na etapa de corte com motosserra. Em função disso, o conjunto de dados original relativo a esta operação foi adaptado através da substituição do óleo de soja por óleo lubrificante mineral, que está adequado à realidade do local. Os resultados obtidos após a regionalização podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Resultado da AICV pelo método CML v. 3.02, para 1 m³ de madeira de eucalipto produzida no polo de produção de Itapeva (SP).



*AD = Depleção abiótica; ADf = Depleção abiótica fóssil; GW = Aquecimento global; ODP = Depleção da camada de ozônio; HT = Toxicidade humana; FWET = Ecotoxicidade de água fresca; MET = Ecotoxicidade de água marinha; TET = Ecotoxicidade terrestre; PTO = Oxidação fotoquímica; AC = Acidificação; EU = Eutrofização.

Os resultados obtidos (Figura 2) revelam que a etapa florestal da produção da lenha de eucalipto no local tem contribuição de 64,5% ao potencial de Aquecimento global, 15,8% a Ecotoxicidade Terrestre, 22,7% a Acidificação e 63,2% a Eutrofização. Quanto ao impacto de Aquecimento global, as principais causas desta contribuição são:

- Decorrentes do uso do transporte, trator e trailer agrícola correspondente à extração da madeira, principalmente em função do aço contido no maquinário;
- À partir do fertilizante nitrogenado de Nitrato de Amônio adicionado no plantio devido ao consumo de ácido nítrico em sua produção;
- Resultado do corte com motosserra, principalmente em função do consumo de gasolina.

O potencial de Eutrofização apresenta um comportamento semelhante, já que a etapa mais contribuinte é o Transporte, trator e trailer agrícola, devido o consumo de alumínio no maquinário, além da produção dos fertilizantes nitrogenado e fosfatado. É importante ressaltar que o sistema aporta três tipos de fertilizantes

nitrogenados, sendo um proveniente da fonte Nitrato de amônio, outro de Sulfato de amônio e um terceiro de Monoamônio Fosfato (MAP). Como o MAP não se encontra disponível na base de dados, um conjunto de dados relativo à fertilizante nitrogenado sem fonte especificada foi utilizado. O mesmo ocorreu com o fertilizante fosfatado Superfosfato Simples.

Os resultados evidenciam que o processo de Transporte, trator e trailer agrícola apresenta influência maior que 30% em 7 de 11 categorias de impacto. Como já mencionado, este processo reflete a operação de extração da madeira, que juntamente com o corte e o carregamento compõe a etapa de colheita dentro do manejo florestal. Quando somadas as contribuições referentes à extração e corte, obtém-se que mais de 50% das categorias de ADf, HT, FWET, MET e PTO são causadas por essas operações. As principais razões são: o consumo de diesel para ADf; o consumo de aço e alumínio envolvido no trator para HT, FWET, MET e PTO. TET e AC também mostram contribuições significativas, com 47,5% e 36,4%, respectivamente. Neste caso, as altas contribuições são principalmente influenciadas pelo alumínio contido no trator.

Este resultado está em concordância com o estudo de González-García et al. (2009), no qual os autores observaram que as operações de extração e colheita são as maiores responsáveis por três, de quatro categorias de impacto analisadas na produção de eucalipto na Espanha. Contudo, este sistema abrange a realização de tais operações com o uso de dois veículos pesados florestais, o *harvester* para o corte e o *forwarder* para a extração. Os mesmos apresentam porte e rendimento maior do que os utilizados no local de estudo, onde o corte é feito com motosserra e a extração com trator.

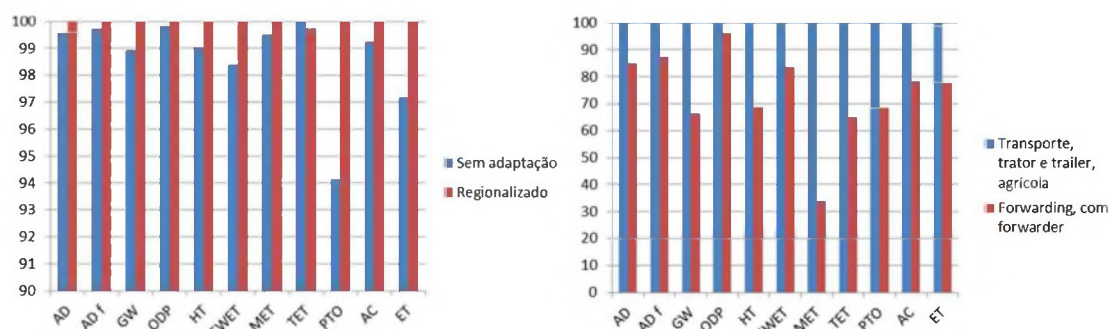
Quanto ao desempenho dos impactos de Depleção abiótica e de Depleção da camada de ozônio, é possível observar na Figura 2 que o formicida apresenta grande responsabilidade. Como relatado por Boaretto e Forti (1997), em plantios de Pinus e de Eucalipto, as formigas cortadeiras destacam-se como as principais pragas, sendo mais críticas durante as fases de pré-corte, em área de reforma ou condução, e a fase imediatamente após o plantio ou início da condução da rebrota. Assim, o manejo florestal da região estudada apresenta um alto consumo deste insumo ao longo dos 14 anos do ciclo total da floresta.

Contudo, o composto utilizado no Brasil para combate a formigas em plantios florestais não está disponível na base de dados, acarretando no uso de um conjunto de dados genéricos para pesticidas, o que pode influenciar o resultado do desempenho da atividade, já que este é um insumo bastante importante envolvido em manejos florestais.

Refinamento dos dados e sugestão de melhorias

Por ser uma ferramenta iterativa, a ACV permite que os resultados de um estudo possam ser retrabalhados buscando resultados mais próximos da realidade. A adaptação da quantidade e do tipo de óleo consumido no corte, já mencionada anteriormente, foi feita a partir dos dados primários da região de Itapeva e dos dados secundários de eficiência do óleo mineral e vegetal. Assim, além de comportamentos diferentes encontrados na contribuição aos impactos, é possível ver na Figura 3 a seguir que a regionalização deste fluxo causou redução à contribuição de quase todas as categorias, com exceção da TET, que aumentou.

Figura 3. À esquerda, mudança da contribuição aos impactos causada pela regionalização do processo de Corte com motosserra. À direita, mudança da contribuição causada pela substituição do trator por *forwarder* na operação de extração da madeira.





Já que a etapa de extração da madeira mostrou-se claramente como um ponto crítico do sistema, um cenário com *forwarder* foi simulado a fim de buscar melhorias para o sistema. A diferença de rendimento dos equipamentos foi levada em conta sendo de 40 metros estéreis por hora para o *forwarder* (UFV, 2016) e do trator florestal de 38 metros estéreis por hora. O resultado desta nova análise comparativa mostrou ganhos importantes para o desempenho ambiental do sistema, como pode ser observado na Figura 3, o cenário com o emprego do *forwarder* apresenta menor contribuição a todos os impactos com relação ao emprego do trator florestal.

Dias e Arroja (2012) compararam três cenários de diferentes intensidades em Portugal, onde o menos intensivo e o intermediário utilizam motosserras e tratores na colheita, e o intensivo *harvesters* e *forwarders*. Os autores observaram que o intermediário apresenta contribuição 9% menor ao potencial de aquecimento global que o intensivo, e que o menos intensivo apresenta contribuição 55% menor que o mais intensivo. Este resultado não está em concordância com o encontrado no presente estudo já que o potencial de GWP é menor com a utilização do *forwarder* ao invés de trator, contudo, o trator apresenta porte semelhante ao *forwarder* e a operação de corte manteve-se com motosserra, o que pode estar influenciando os resultados. O potencial de PTO apresentou resultado semelhante à Dias e Arroja (2012), que observaram que ele reduz com a utilização de maquinário pesado, em função de a combustão ocorrer de forma completa.

Conclusão

Os resultados da avaliação dos impactos da produção de 1 m³ de lenha de eucalipto no Brasil revelaram que as etapas que compõe a colheita, mais especificamente o corte e a extração, são as mais ambientalmente impactantes do sistema. Isso pode ser atribuído ao manejo relativamente simples encontrado no local, que faz com que as operações de colheita que envolvem maquinários constituídos de aço e alumínio e que consomem combustíveis fósseis, se destaquem.

Simulando um cenário de extração com *forwarder* em substituição ao trator, tem-se ganho ambiental em todas as categorias de impacto, indicando assim um ponto de possível melhoria para o sistema. Contudo, este resultado contradiz o resultado encontrado para o potencial de aquecimento global de uma atividade semelhante na Espanha e por isso ele será mais bem analisado em estudos futuros. De antemão pode-se concluir que os diversos fatores envolvidos na atividade florestal influenciam fortemente os resultados e por isso a regionalização dos conjuntos de dados é importante.

A reavaliação dos impactos da etapa de corte a partir da adaptação do tipo de óleo consumido pelo motosserra também mostrou variações nas contribuições para quase todos os impactos, comprovando que é importante que os resultados de um estudo de ACV sejam retrabalhados em busca de desempenhos cada vez mais próximos da realidade. Além disso, a adaptação de um conjunto de dados já disponível é muito menos demandante de esforços, tempo e recursos do que as tarefas de coleta de dados e análise de inventário. Assim, ressalta-se que os praticantes da ACV utilizem a técnica como uma ferramenta iterativa, regionalizando cada vez mais seus resultados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, à Embrapa Meio Ambiente e à Embrapa Florestas pelo auxílio financeiro, à PRé Consultants pela licença do software, aoecoinvent pela licença da base de dados, aos produtores e empresas florestais da região pelo fornecimento das informações e a Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP) – Campus de Itapeva pela cessão do local para realização das reuniões com os especialistas.



Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF (2013) Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBA (2014). Disponível em: http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf.
- BOARETTO, M. A. C.; FORTI, L. C. (1997) Perspectivas no controle de formigas cortadeiras. Série técnica IPEF. V. 11, n. 30, pp. 31-46.
- BUSCHINELLI, C. (2014) Projeto analisa desempenho socioambiental da produção de eucalipto. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2301345/projeto-analisa-desempenho-socioambiental-da-producao-de-eucalipto>>.
- DIAS, A. C.; ARROJA, L. (2012) Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. Journal of Cleaner Production. V. 37, pp. 368-376.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, S; BERG, S.; MOREIRA, M. T.; FELJOO, G. (2009) Evaluation of forest operations in Spanish eucalypt plantations under a life cycle assessment perspective. Scandinavian Journal of forest research. V. 24, pp. 160-172.
- LÉVOVÁ, T.; PFISTER, S. Good practice for life cycle inventories – modelling of water use. Ecoinvent Centre.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; MATSUURA, M. I. da S. F.; BARRANTES, L. de S.; SIMIONI, F. J.; BUSCHINELLI, C. C. de A. (2015) Análise de viabilidade econômica de um sistema de produção modal de eucalipto para lenha na região de Itapeva, SP. Embrapa Florestas: Colombo, 8p (Comunicado Técnico nº 365).
- NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. (2012) Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Data v3. 0.
- BRASIL. (2015) Balanço Energético Nacional. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompleatas.aspx>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO, Statistics Division – FAOSTAT (2013). Disponível em <http://faostat3.fao.org/browse/F/FO/E>.
- WORLD FOREST INTITUTE – WFI (2008). US markets for Brazilian softwood moulding & plywood. Disponível em http://www.worldforestry.org/wp-content/uploads/2015/11/braziliansoftwood_m.camargo.pdf.
- VALVERDE, S. R.; SOARES, N. S.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; NEIVA, S. A. (2004) O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil. Biomassa & Energia. V. 1, n. 4, pp. 393-403.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV (2016). Colheita florestal. Disponível em <ftp://www.ufv.br/Dea/Disciplinas/Haroldo/ENG337/Apostila_Colheita_Florestal.pdf>.