ISSN 2764-3808
V. 25, Nº 47 | DEZEMBRO 2022

SÉRIE TÉCNICA IPEF

Duas décadas de cooperação científica CIRAD-ESALQ-IPEF

Anais de comemoração

Contribuição para a compreensão do funcionamento das plantações florestais tropicais de rápido crescimento

Jean-Paul Laclau
José Leonardo de Moraes Gonçalves
José Otávio Brito

IPEF
INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 1 04/05/2023 17:18:49

Série Técnica IPEF
n. 47, p. 3-7, Dezembro de 2022

Capítulo 1
Estudar os padrões ecofisiológicos para melhorar a sustentabilidade e o manejo das plantações de eucalipto de alta produtividade: O Programa Cooperativo EUCFLUX

Guillemot J., Le Maire G., Alvares C.A., Borges J., Chaves R., Figura M.A., De Jesus G.L., Leite F., Loos R.A., Moreira G., Silva V., Stahl J., Laclau J.P., Nouvellon Y., Bouillet J.P., Stape J.L., Campoe O.C.

CONTEXTO

As mudanças climáticas estão afetando profundamente o funcionamento das plantações de eucaliptos, principalmente por meio do aumento da frequência e duração das secas. Portanto, é crucial ampliar o conhecimento sobre os processos que controlam a produtividade florestal e suas relações com o uso de recursos (água, nutrientes e luz), a fim de garantir a sustentabilidade do manejo ao longo de sucessivas rotações.

Para atender a essa necessidade, o programa internacional EUCFLUX teve início em 2008. O programa EUCFLUX reúne o IPEF, o CIRAD, e várias universidades brasilheiras, como a Universidade de São Paulo/ESALQ, a Universidade de Lavras e a Universidade Estadual Paulista, tornando possível uma produção científica de alta quaçlidade e nível internacional. As empresas do IPEF atualmente filiadas ao programa EUCFLUX são Bracell, Cenibra, Dexco, Eldorado, Klabin, Suzano e Sylvamo. O foco principal do projeto é o monitoramento contínuo em alta resolução temporal do balanço de carbono e do balanço hídrico de uma plantação comercial de eucalipto na escala do ecossistema. O projeto também inclui muitos outros aspectos de pesquisa complementares, que são de interesse direto para o manejo das plantaçoes de Eucalipto sob o contexto de mudanças climaticas.

Os ganhos significativos de conhecimento da primeira fase do programa que terminou em 2017, com bases de dados e informações altamente confiáveis, suportaram e ainda vem suportando o aprimoramento do manejo sustentável de florestas plantadas no Brasil. Além de muitas respostas, os resultados alcançados durante a primeira fase apontaram para novas questões, motivando a continuidade do Programa Cooperativo EUCFLUX por mais uma rotação (2018-2026). O EUCFLUX, portanto, tem monitorado continuamente a mesma plantação comercial por mais de 13 anos, incluindo dois cortes e uma rotação completa (Figura 1), constituindo o maior banco de dados mundial desse tipo sobre o gênero Eucalyptus.

DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS CIENTÍFICOS E AVALIAÇÕES

As pesquisas integram o uso de diferentes sensores complementares de alta tecnologia para medir não apenas os balanços de carbono e água na escala do ecossistema, mas também todos os principais componentes ecofisiológicos envolvidos nestes ciclos (Figura 2). O EUCFLUX, portanto, torna possível medições ininterruptas da dinâmica de água no solo de forma detalhada até 10 m de profundidade. As emissões e sequestro de carbono

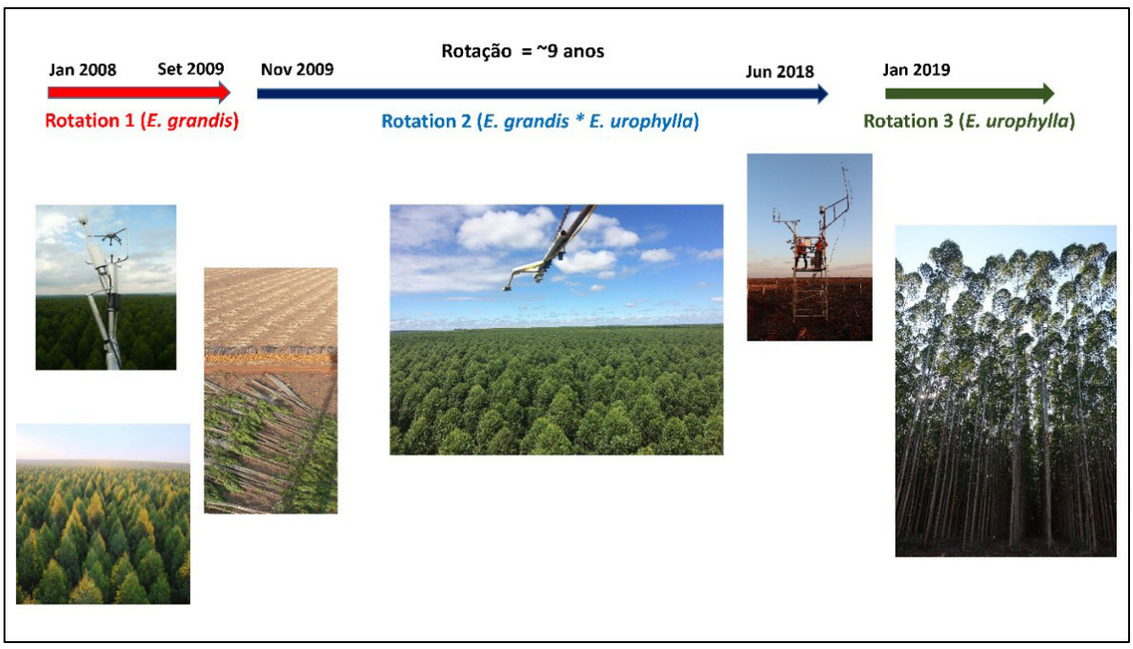

Figura 1. Linha do tempo do Programa Cooperativo EUCFLUX, que monitora sucessivas rotações de plantações comerciais de *Eucalyptus* desde 2008.

Figura 2. Apresentação geral da abordagem científica do projeto EUCFLUX e tecnologias utilizadas nos estudos científicos.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 4 04/05/2023 17:18:55

dos varios componentes do sistema solo-planta, a sazonalidade do índice de area folhar e o crecimento efetivo em madeira das árvores com alta resolução temporal. A alocação do carbono entre os diferentes componentes das árvores (folhas, galhos, troncos, sistema radicular) também é avaliada (Campoe et al., 2013). As medições dos balanços carbono e água na escala do ecossistema são feitas usando uma "torre de fluxo", um sistema "Eddy-covariance" (covariancia de vórtices) colocado acima do dossel. A torre possui ainda uma estação meteorológica completa, permitindo notavelmente a medição do balanço energético da floresta, bem como uma série de sensores ópticos. Esses dados de campo são usandos em conjunto com imagens de diferentes satélites em diferentes escalas espaço-temporais para desenvolvimento de técnicas e métodos no uso sensoriamento remoto para auxiliar tomadas de decisão sobre manejo em larga escala. Assim, o programa EUCFLUX trabalha em diferentes escalas, das folhas, das árvores, da floresta e a região para caracterizar o funcionamento das plantações de Eucalipto. Finalmente, modelos ecofisiológicos e empíricos são usados em combinação com dados de campo para upscaling e extrapolação de resultado (Attia et al., 2019).

A TORRE DE FLUXO

A torre de fluxo permite medir a quantidade de água, calor e carbono trocada entre a floresta e a atmosfera (Figura 3). Essas medições são feitas 20 vezes por segundo e, em seguida, integradas a cada meia hora. Além dos fluxos líquidos de carbono, também são calculados a produtividade primaria bruta e a respiração do ecossistema. Após um tratamento detalhado e rigoroso dos dados, é possível realizar balanços mensais e anuais para quantificar a quantidade de carbono sequestrada pela plantação, bem como a quantidade de água reciclada para a atmosfera. Desde o início do projeto, a quantidade de dados acumulados pela torre atingiu mais de 234.720 valores de fluxo de meia hora, o que representa mais

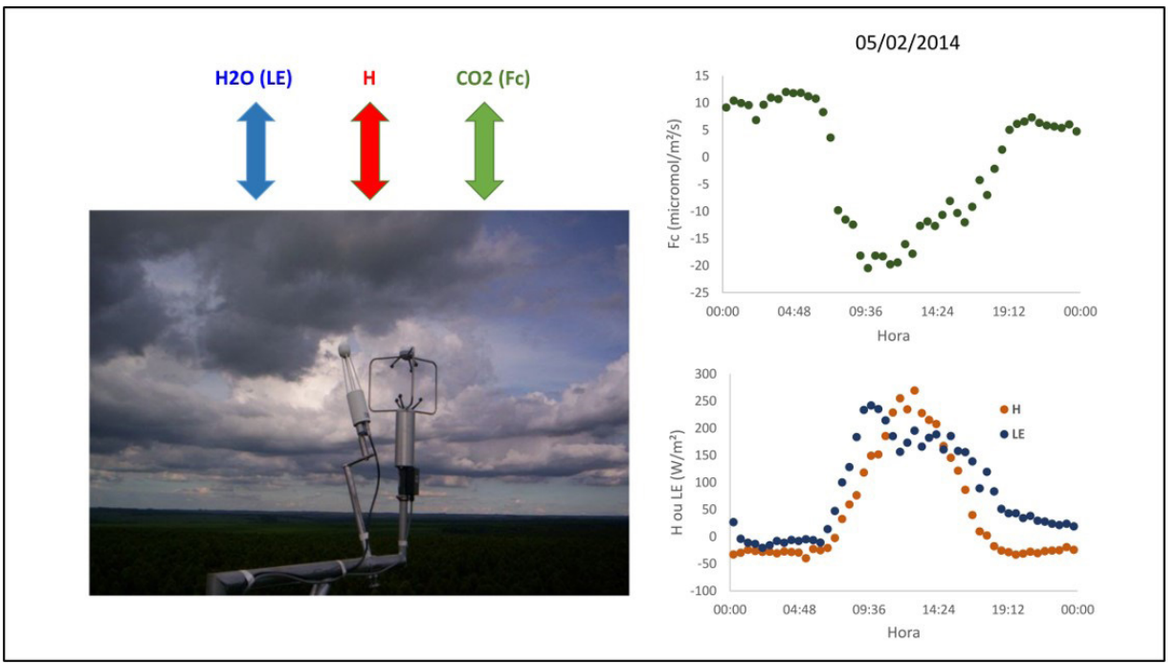

Figura 3. Foto do sistema "Eddy-covariance" da torre de fluxo e exemplo de fluxo de carbono (Fc), água (LE; fluxo de energia latente) e calor sensível (H) ao longo dum dia. Observa-se que a noite, a floresta emite carbono (Fc>0) pela respiração e transpira pouco. Durante dia, a floresta é um forte sumidouro de carbono (Fc<0). Por volta de 13 horas, a taxa de sequestro de carbono, a evapotranspiração e o fluxo de calor chegam ao máximo.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 5 04/05/2023 17:18:56

de 8.4 * 109 linhas de dados brutos. Essa base extraordinária permite que o programa responda pela primeira vez questões essenciais relacionadas ao manejo e sustentabilidade, como a quantidade de carbono emitida no momento do corte, o tempo necessário para que a plantação volte a ser um sumidouro de carbono após o plantio, e a quantitdade total de carbono sequestrado em uma rotação completa. Um outro avanço fundamental das pesquisas do programa é permitir a quantificação do efeito de rotações consecutivas sobre a disponibilidade de água no solo, quantificando sua importância para a recarga hídrica das camadas mais profundas do solo e do lençol freático. O banco completo de dados (incluindo as mediçoes de fluxos, meteorologia, índicio de área foliar e crecismento das árvores, umidade de solo, etc.) tambem é usado para melhorar nosso entendimento dos fatores que afetam a produtividade do povoamento, e para desenvolver modelos ecofisiologicos (e.g. Marsden et al., 2010; Christina et al., 2017) que podem ser usados na escala regional para simular a produtividade e os balanços de carbono e de água dos plantios de eucalipto (Attia et al., 2019).

O TESTE DE GENÓTIPOS

O Programa Eucflux possui ainda um Teste de Genótipos (Figura 4), permitindo generalizar e extrapolar os resultados para além do clone principal da área de estudo e quantificar as diferenças de funcionamento entre genótipos seminais e clonais produtivos plantado a larga escala no Brasil, bem como entre especies diferentes de eucalipto. O teste já estava implemantado na primeira fase, com 16 materiais. Atualmente (segunda fase) o teste foi ampliado e contém 25 materiais genéticos. Além disso, agora é possível comparar o funcionamento de 10 materiais manejados em sistema de alto fuste comparativamente ao sistema de talhadia.

O teste já permitiu grandes avanços em nosso conhecimento da variabilidade de absorção da luz, eficiência de uso da luz e produtividade entre genótipos (le Maire et al., 2019). Tambem foram estudadas as diferenças genotipicas de profundidade do sistema radicalar (Pinheiro et al., 2016). Atualmente o programa estuda as respostas ecofisiológicas e estratégias e tolerância à seca e o balanço hídrico da totalidade ou de parte desses genótipos, bem como aspectos essenciais para o seu funcionamento, como a anatomia da madeira ou a quantidade e distribuição de raízes finas.

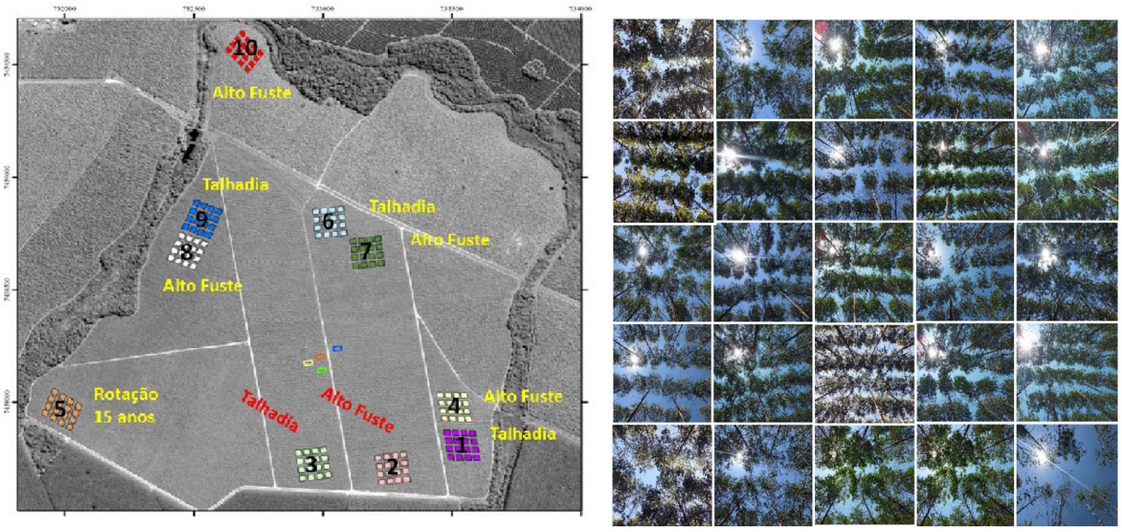

Figura 4. Mapa do teste de genótipos do EUCFLUX e fotos do dossel dos 25 materiais genéticos em sistema de alto fuste (outubro 2021).

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 6 04/05/2023 17:18:56

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Attia, A., Nouvellon, Y., Cuadra, S., Cabral, O., Laclau, J.-P., Guillemot, J., Campoe, O., Stape, J.-L., Galdos, M., Lamparelli, R., le Maire, G., 2019. Modelling carbon and water balance of Eucalyptus plantations at regional scale: Effect of climate, soil and genotypes. For. Ecol. Manage. 449. doi:10.1016/j.foreco.2019.117460

Campoe, O.C., Stape, J.L., Laclau, J.P., Marsden, C., Nouvellon, Y., 2012. Stand-level patterns of carbon fluxes and partitioning in a Eucalyptus grandis plantation across a gradient of productivity, in São Paulo State, Brazil. Tree Physiol. 32, 696–706. https://doi.org/10.1093/treephys/tps038

Christina, M., Nouvellon, Y., Laclau, J., Stape, J.L., Bouillet, J., Lambais, G.R., Maire, G., 2017. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. Funct. Ecol. 31, 509–519.

le Maire, G., Guillemot, J., Campoe, O.C., Stape, J.-L., Laclau, J.-P., Nouvellon, Y., 2019. Light absorption, light use efficiency and productivity of 16 contrasted genotypes of several Eucalyptus species along a 6-year rotation in Brazil. For. Ecol. Manage. 449. doi:10.1016/j.foreco.2019.06.040

Marsden, C., Nouvellon, Y., Laclau, J-P., Corbeels, M., McMurtrie, R.E., Stape, J-L., Epron, D., le Maire, G., 2013. Modifying the G'DAY process-based model to simulate the spatial variability of Eucalyptus plantation growth on deep tropical soils, Forest Ecology and Management, 301: 112–128.

Pinheiro, R.C., MS; Deus Jr, J. C., Nouvellon, Y., Campoe, O.C., Stape, J.L., Alo, L.L., Guerrini, I. A., Jourdan, C., Laclau, J-P., 2016. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedling and clones in Brazil. Forest Ecology and Management, 366:143–152.

IPEF_SERIE_TECNICA_v25n47.indb 7 04/05/2023 17:18:56