



## Modelagem do Crescimento e da Colheita Periódica do Aguapé (*Eichhornia crassipes*) para Produção de Biocombustíveis

Luz Selene Buller<sup>1</sup>, Enrique Ortega<sup>2</sup>, Ivan Bergier Tavares de Lima<sup>3</sup>, Suzana Maria Salis<sup>3</sup>

**Resumo:** Este estudo analisou o crescimento do aguapé (*Eichhornia crassipes*) em sistemas fechados por meio da análise ecossistêmica permitindo assim o desenvolvimento de um modelo para a simulação do crescimento da biomassa do aguapé, remoção de nutrientes e efeitos da colheita. Os coeficientes obtidos na calibração dos modelos serão utilizados para avaliar as possibilidades de colher o aguapé em sistema aberto na região de Corumbá no Pantanal do Mato Grosso do Sul com a finalidade de destinação da biomassa para a produção de biocombustíveis. A biomassa retirada pode ser uma fonte de energia em processos de pirólise para a produção de óleo e briquetes de carvão.

**Palavras-chave:** Biomassa, desenvolvimento sustentável, energia renovável, modelo sistêmico

### Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Growth and Periodic Harvesting Modelling for Biofuel Production

**Abstract:** This study analyzed water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) growth in closed systems through the ecosystem analysis that allowed a model development to simulate biomass growth, nutrient removal and harvesting effects. Coefficients obtained in models calibration will be used to evaluate the possibility to harvest water hyacinth in open system in Corumbá region of Pantanal of Mato Grosso do Sul aiming the destination of biomass to biofuel production. Removed biomass can be an energy source for pyrolysis process to produce bio-oil and charcoal.

**Key-words:** Biomass, renewable energy, sustainable development, system model

### Introdução

A planície de inundação do Pantanal apresenta acesso limitado a fontes de energia. Algumas matérias-primas produzidas localmente podem contribuir para minimizar a carência energética da região. No Pantanal, um bioma ainda livre de grandes interferências antrópicas, é desejável que as novas fontes de energia sejam renováveis e não-poluentes. O desenvolvimento sustentável da região pode ser alicerçado no uso de tecnologias adequadas para o manejo de biomassa vegetal terrestre e aquática para a produção de energia e manutenção das características naturais dos ecossistemas (BERGIER et al., 2008).

O aguapé ou camalote (*Eichhornia crassipes*), planta aquática abundante no Pantanal, pode ser uma alternativa para a utilização de fontes locais de biomassa e a colheita pode ser uma nova atividade econômica para a população local. A elevada taxa de crescimento do aguapé e sua capacidade de remoção de nutrientes são elementos que caracterizam uma potencial fonte de biomassa para o processo de pirólise rápida de biomassa do qual derivam bio-óleo (que pode ser convertido em gás de síntese), finos de carvão e extrato ácido.

No Brasil existem pesquisas sobre modelos matemáticos aplicados ao estudo do crescimento e decomposição de macrófitas (BIANCHINI JR., 2003; CUNHA-SANTINO; BIANCHINI JR., 2006). Bianchini Jr. (2003) recomenda que a modelagem de crescimento de macrófitas considere a senescência das plantas e a ação da herbivoria e, também, que as simulações de alterações ambientais e de intervenções que envolvem plantas aquáticas sejam fundamentadas em estimativas precisas de biomassa, atividade fisiológica das plantas, contribuição das plantas na cadeia trófica, interações entre a decomposição da plantas e os ciclos biogeoquímicos e impactos no balanço de oxigênio.

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6121, 13083-862, Campinas, SP (selene@fea.unicamp.br)

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Engenharia de Alimentos, Responsável pelo Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal 6121, 13083-862, Campinas, SP (ortega@fea.unicamp.br)

<sup>3</sup>Pesquisadores da Embrapa Pantanal, Caixa Postal 109, 79332-900, Corumbá, MS (ivan@cpap.embrapa.br, smsalis@cpap.embrapa.br)

A modelagem de um ecossistema natural permite a análise do sistema na situação presente e a projeção de cenários. A modelagem e simulação são ferramentas valiosas para o entendimento de ecossistemas; o uso de modelos sistêmicos está cada vez mais presente no planejamento de ações para o desenvolvimento sustentável. Embora o universo seja complexo e o ser humano não possa visualizar em detalhes todas as interações e interligações, os mini-modelos permitem representar o funcionamento de sistemas (ODUM; ODUM, 2000). A modelagem do crescimento do aguapé e remoção de nutrientes em associação com a criação de peixes permite a identificação do nível sustentável de colheita. Os modelos desenvolvidos neste estudo e os resultados apresentados serão aprimorados para que se realizem inferências sobre quantidades e locais de colheita do aguapé.

### Material e Métodos

A diagramação do sistema utiliza a linguagem de fluxos de energia (ODUM; ODUM, 2000). O diagrama sistêmico permite identificar os estoques e os fluxos de energia e matéria, caracterizar a estrutura trófica de um sistema e definir as relações matemáticas para cada uma das variáveis de estado do sistema e os respectivos fluxos.

A quantificação do modelo requer que sejam estabelecidos coeficientes para as equações que serão usadas na simulação. O diagrama sistêmico (Figura 1) mostra o crescimento do aguapé, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, junto com a remoção de nutrientes da coluna de água e também a decomposição do aguapé que alimenta o sedimento com detritos. O movimento dos peixes agita o meio e coloca nutrientes do sedimento em suspensão na coluna de água reforçando a disponibilidade destes para a produção primária. Os estoques de biomassa de aguapé e de peixes, nutrientes e sedimento são as variáveis de estado selecionadas. A colheita periódica está representada por um dispositivo “liga-desliga” para indicar que é acionada por sensores relacionados à quantidade de biomassa acumulada e interrompida após certo nível de colheita, esta requer uma fonte externa, mão-de-obra, para sua realização. Para simular o modelo sem colheita e sem peixes, os diagramas requerem a supressão dos elementos não considerados sendo os demais laços e interações do sistema mantidos.

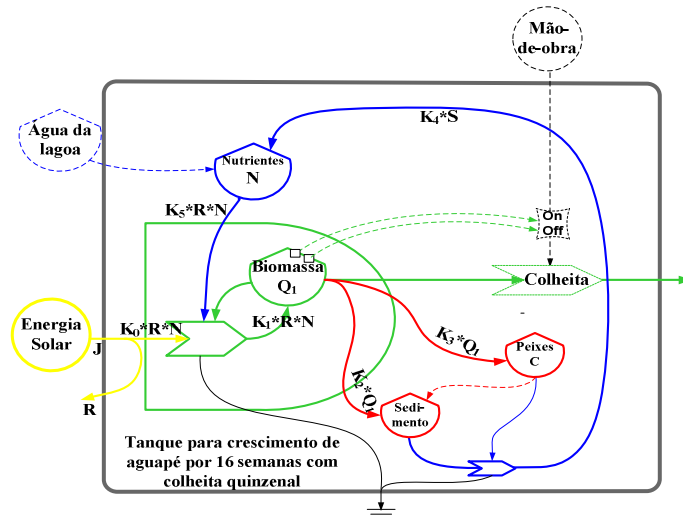
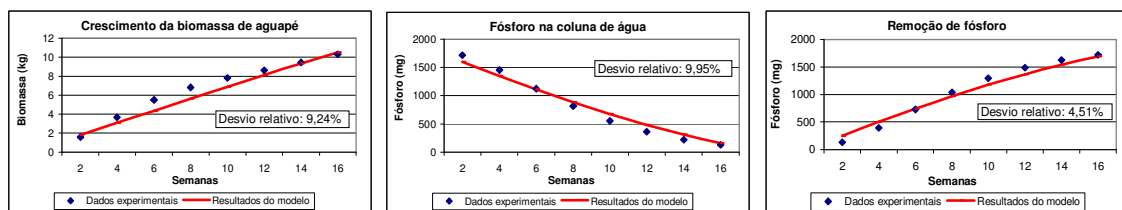


Figura 1. Diagrama sistêmico (modelo 1)

Foram desenvolvidos três modelos: modelo 1 com colheita periódica e peixes, modelo 2 sem colheita e sem peixes e modelo 3 sem colheita e com peixes. Os modelos foram desenvolvidos primeiramente em planilha eletrônica de cálculos e após a obtenção de coeficientes com boa aproximação entre os resultados dos modelos e os dados experimentais (Figura 2), desenvolveu-se um programa para simulação em linguagem Basic para Windows (True Basic Bronze versão 5.5). Os incrementos dos estoques e os estoques finais foram calculados por método iterativo tanto na planilha de cálculos como no programa para simulação.

Os dados experimentais usados para verificar os modelos foram obtidos de uma pesquisa sobre crescimento e colheita periódica de aguapé em associação com carpas, em uma região tropical no Sul da Índia, na qual, 18 tanques foram instalados durante 16 semanas em lagoa que recebia esgoto doméstico (SAHA; JANA, 2003). O experimento monitorou crescimento de biomassa, remoção de nutrientes, com e sem colheita periódica de aguapé, com e sem associação com carpas. O ambiente inicial era altamente eutrófico, caracterizado por elevados níveis de fósforo, nitrogênio e carbono. O estoque inicial de biomassa de aguapé era de 590 g (massa úmida) por tanque de ensaio com capacidade de 500 l (área correspondente a 0,79 m<sup>2</sup>), a qual ocupava apenas 40% da superfície total a fim de permitir espaço para o crescimento. Em alguns tanques, foram introduzidos alevinos de carpas herbívoras e onívoras. Considerou-se para a modelagem que não houve morte de nenhum destes alevinos que cresceram durante todo o tempo dos ensaios até o nível experimental observado por Saha e Jana (2003). Para a modelagem do sistema considerou-se somente um nutriente, o fósforo contido no estoque de nutrientes. Uma consideração adicional foi que em sistema com criação de peixes, a sedimentação do fósforo é de, no máximo, 10%, o que está de acordo com os dados experimentais (SAHA; JANA, 2003) que apontam carga de fósforo de 14 mg.100 g<sup>-1</sup> de sedimento. O aguapé foi colhido quinzenalmente para reduzir a biomassa até a quantidade inicial (590 g por tanque de 500 litros). A capacidade de suporte máxima obtida no sistema sem colheita foi avaliada em 2,5 a 2,7 kg por tanque de ensaio (SAHA; JANA, 2003); valor próximo ao constatado por Mitsch (1975) que simulou que a decomposição do aguapé em condições de alta densidade populacional, acima de 2,67 kg.m<sup>-2</sup>, se iguala à produção de biomassa.

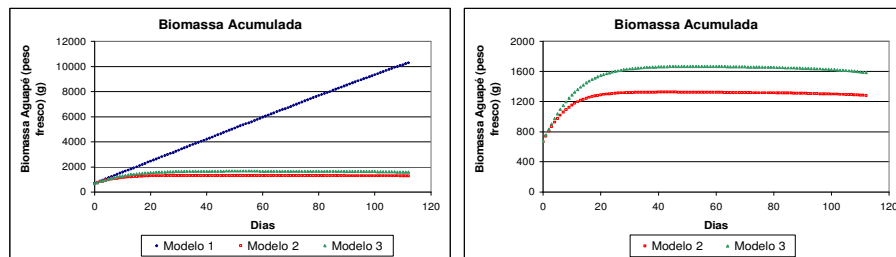


**Figura 2.** Comparação dos resultados do modelo 1 com os dados experimentais

### Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para o crescimento da biomassa demonstram que a colheita periódica aumenta a produtividade do aguapé em sistemas fechados. O principal resultado está relacionado ao rendimento obtido na produção de biomassa em virtude da colheita periódica. Na figura 3 observa-se que o perfil de crescimento do sistema com colheita periódica aponta para um crescimento muito acima do nível obtido sem colheita. As curvas para os sistemas sem colheita são sigmoidais correspondendo ao modelo de crescimento populacional logístico enquanto no sistema com colheita periódica a curva é exponencial, corresponde ao modelo exponencial de crescimento populacional.

A exportação de ilhas de aguapé para o sistema fluvial no Pantanal, por indução de ventos e chuva, seria equivalente à "colheita" no modelo de sistema fechado desenvolvido. Os resultados sugerem que a exportação de ilhas de biomassa das lagoas para os rios em direção à bacia de drenagem poderia aumentar a produtividade de biomassa nas baías, pois, as plantas mais jovens permaneceriam nas lagoas e as mais velhas e menos eficientes que se desprendem são exportadas para os rios. O nível de senescência natural dos camalotes e a ação de herbivoria serão considerados para avaliação da disponibilidade de biomassa excedente que, eventualmente, pode ser utilizada sem prejuízo ao ecossistema.



**Figura 3.** Comparação do crescimento da biomassa de aguapé

A produtividade do sistema com colheita é 6 vezes maior do que nos sistemas sem colheita; nestes, o crescimento da biomassa do aguapé alcança o máximo de aproximadamente 1.600 kg enquanto o sistema com colheita resulta em 10.500 kg de biomassa acumulada no mesmo período de 16 semanas ou 112 dias. O crescimento excessivo do aguapé nos sistemas sem colheita causa acumulação de matéria orgânica e decréscimo no nível de oxigênio na coluna de água mantendo a eutrofização do ambiente, além disto, o crescimento é limitado ao espaço livre existente no sistema de estudo. A maior produtividade de biomassa em sistemas com colheita implica na necessidade de esforços humanos, mão-de-obra, desnecessária em sistema sem retirada de biomassa.

A calibração se consegue variando os parâmetros (coeficientes) até conseguir uma boa concordância entre os valores calculados e os dados observados. Os coeficientes obtidos foram ajustados até que os resultados do modelo comparados com os dados experimentais indicassem boa aproximação entre as curvas. Para a validação do modelo contra dados experimentais observa-se o comportamento das variáveis de estado nos sistemas em estudo simulando-os, o que permite mensurar a confiabilidade do modelo. A validação dos modelos desenvolvidos e futuros aprimoramentos para representação de sistema aberto se dará sobre dados de pesquisas em campo que estão, atualmente, sendo realizadas por pesquisadores da Embrapa Pantanal.

### Conclusões

Os modelos desenvolvidos apresentaram um bom ajuste com os dados experimentais disponíveis e, aparentemente, interpretam as interações entre crescimento, colheita, senescência do aguapé e crescimento de peixes. Estes, apoiarão o desenvolvimento dos modelos de sistema aberto e respectivos programas de simulação para determinar o nível sustentável de colheita nas regiões de Corumbá e Ladário e em outras zonas do Pantanal.

O modelo 1 (com colheita periódica e peixes) pode ser análogo à dinâmica de crescimento e exportação de camalotes nas baías da planície de inundação do Rio Paraguai, onde o aguapé se desenvolve intensamente em virtude do pulso de inundação que promove a reciclagem de matéria orgânica terrestre.

A estratégia de colheita da biomassa excedente de aguapé pode ser uma fonte de matéria-prima para a produção de bio-óleo e gás de síntese no Pantanal. É recomendável avaliar a sustentabilidade da cadeia produtiva da pirólise de aguapé usando a análise de ciclo de vida da cadeia completa junto com a Análise Emergética e a avaliação socioeconômica convencional.

### Agradecimentos

Ao Sr. Thomas Maresca pelas orientações sobre a linguagem True Basic.

### Referências

BERGIER, I.; ISHII, I.H.; SALIS, S.M.; PELLEGRIN, L.A.; RESENDE, E.K.; TOMÁS, W.M.; SOARES, M.T.S. **Cenários de desenvolvimento sustentável no Pantanal em função de tendências hidroclimáticas.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 20p. (Embrapa Pantanal, Documentos, 98)

BIANCHINI Jr., I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003. p. 87-126.

CUNHA-SANTINO, M.B.; BIANCHINI Jr., I. Modelos matemáticos aplicados aos estudos de decomposição de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**, v.10, n.2, p.154-164, 2006.

MITSCH, W.J. **Systems analysis of nutrient disposal in cypress wetlands and lake ecosystems in Florida**. 1975. 421 p. Tese (Doutorado) - University of Florida, Gainesville, Florida.

ODUM, H.T.; ODUM, E.C. **Modeling for all scales: an introduction to system simulation**. Gainesville, Flórida: Academic Press, 2000. 458 p.

SAHA, S. (Das); JANA, B.B. Fish-macrophyte association as a low-cost strategy for wastewater reclamation. **Ecological Engineering**, v.21, p.21-41, 2003.