

PRODUÇÃO DE ALFACE HIDROPÔNICA: UMA ABORDAGEM PELA DINÂMICA DE SISTEMAS

Sessão Temática: Modelagem Sistêmica e Simulação

Ademir Oliveira Santos¹ (UNEMAT) eng.ademir@gmail.com

Benedito Leão Ribeiro Neto¹ (UNEMAT) blrneto@hotmail.com

Diane Sulzbacher Zwirtes¹ (UNEMAT) dianesz12@hotmail.com

Rodolfo Benedito da Silva¹ (UNEMAT) rodolfoengenheiro@hotmail.com

Willian Hajime Yonenaga² (UNEMAT) willian.yonenaga@gmail.com

RESUMO

A hidroponia garante, de certa maneira, um mercado paralelo aos produtos ofertados convencionalmente, onde se articula maior qualidade e confiança de consumo, favorecendo o bem-estar do consumidor. Apresenta-se um estudo, via simulação computacional, os fenômenos sistêmicos e a viabilidade econômica da prática hidropônica na produção de alface, bem como apresentar aos produtores resultados que evidenciem vantagens em relação ao custo-benefício desta atividade, para a localidade de Barra do Bugres - MT. O estudo de caso foi realizado junto a um pequeno produtor, durante os meses de Maio a Julho do ano de 2008. Neste sistema, o empreendedor conta com todos os elementos para desenvolver esta atividade.

Palavras – chave: hidroponia, dinâmica de sistemas, viabilidade econômica.

1. Acadêmico (a) do curso de Engenharia de Produção Agroindustrial – UNEMAT. Rua A, s/n, Cohab São Raimundo, CEP 78390-000, caixa postal 92.2008, Barra do Bugres/MT.

2. Docente do curso de Engenharia de Produção Agroindustrial – UNEMAT. Rua A, s/n, Cohab São Raimundo, CEP 78390-000, caixa postal 92.2008, Barra do Bugres/MT.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, sendo um componente básico de saladas preparadas nos domicílios domésticos quanto comercialmente (MORETTI & MATTOS, 2005). Originária do Mediterrâneo foi uma das primeiras hortaliças cultivadas pelo homem. Atualmente é explorada em todo território nacional, tanto em solo como em sistemas hidropônicos, sendo a principal cultura utilizada em hidroponia no país (SOARES, 2002).

A produção hidropônica desta hortaliça no Brasil vem ganhando cada vez mais espaço devido à melhor utilização da área, precocidade na colheita, utilização mais eficiente de nutrientes, melhor qualidade do produto, possibilitando ainda o controle de fatores ambientais, que tornam limitantes seu cultivo em determinadas épocas do ano.

A hidroponia, termo derivado de duas palavras de origem grega, hidro = água e ponia = trabalho, técnica que, segundo Furlani (1998), está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal, especialmente de hortaliças, pois é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa, contendo apenas os elementos minerais necessários aos vegetais. A hidroponia é uma ciência jovem, sendo utilizada como atividade comercial há apenas quarenta anos (RESH, 1997). Nesse curto período de tempo adaptou-se a diversas situações, desde o cultivo no ar, em estufas altamente especializadas passando por submarinos atômicos para obter verduras frescas para sua tripulação, porém, pode ser utilizada por países em desenvolvimento para prover a produção intensiva de alimentos em áreas limitadas.

Com relação ao retorno financeiro desta atividade, o produtor deve considerar os custos dos insumos, energia elétrica, quantidades de alfaces vendidas, bem como o período de maturação do vegetal. Muitas vezes, o produtor não considera todas estas variáveis e toma decisões equivocadas. Uma das ferramentas existentes para auxiliar os administradores na tarefa de gerenciar o sistema é a metodologia de Dinâmica de Sistemas (FORRESTER, 1961). Através de um ambiente computacional e baseado na teoria geral dos sistemas e em equações

diferenciais, é possível modelar um sistema e verificar o comportamento de suas variáveis ao longo do tempo (FORD, 1999).

O objetivo deste artigo é demonstrar a aplicabilidade da metodologia de Dinâmica de Sistemas em um cultivo hidropônico e apresentar a viabilidade econômica da mesma. A partir da simulação, podem-se visualizar os fenômenos sistêmicos da atividade e analisar questões de custos e receitas.

1. CULTIVO HIDROPÔNICO

A hidroponia constitui-se em uma técnica de produção de plantas na qual o solo é substituído por uma solução nutritiva composta de água e elementos minerais (FURLANI, 1998). O cultivo hidropônico da alface utiliza a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT). Nela a solução nutritiva flui sobre os canais de cultivo, onde se alojam as raízes, irrigando-as e fornecendo oxigênio e nutrientes para as plantas (STAFF, 1998). A estrutura básica para este sistema de cultivo é o tanque de solução nutritiva, conjunto moto-bomba, tubulação de distribuição de solução nutritiva, canais de cultivo, tubulação coletora e temporizador (STAFF, 1998).

Ao contrário do que se imagina, o cultivo hidropônico de plantas é uma técnica de cultivo antigo. O crescimento de plantas em meio aquoso nos oceanos é anterior ao seu crescimento na terra. Arquivos hieroglíficos antigos datados de centenas de anos antes de Cristo descrevem o crescimento de plantas na água ao longo do rio Nilo. O arroz tem sido cultivado na água desde tempos imemoráveis na China. Muitos crêem que, como ferramenta de cultivo, a hidroponia começou na antiga Babilônia, nos famosos jardins suspensos, considerados uma das sete maravilhas do mundo antigo (SOARES, 2002).

Atualmente, o cultivo hidropônico é praticado na Holanda, Alemanha, Itália, Espanha, Suécia, Japão, Austrália, Estados Unidos, México e áreas vizinhas da América Central. A NASA tem empregado essa técnica para cultivar hortaliças em viagens espaciais longas, e pretende usar a tecnologia desenvolvida em sua estação espacial em Marte (RESH, 1997).

No Brasil, o cultivo comercial de hortaliças e plantas ornamentais, usando técnicas de hidroponia, é de introdução recente, e vem se expandindo rapidamente nas proximidades dos grandes centros urbanos, onde as terras agricultáveis são escassas e caras e onde há grande demanda por produtos hortícolas. Em tais regiões, a produção de hortaliças é realizada em sua maior parte sob cultivo protegido, caso em que o cultivo hidropônico apresenta-se como alternativa vantajosa. Ciclos de produção mais curtos, possibilidade de uso do espaço vertical na casa de vegetação, maior produtividade, menor necessidade de mão-de-obra, menores riscos de salinização do meio de cultivo e de poluição do lençol freático com nitrato figuram entre as principais vantagens da hidroponia (FURLANI, 1998).

Em geral, dá-se o nome de cultivos hidropônicos àqueles em que a nutrição das plantas é feita por meio de uma solução aquosa que contém todos os elementos essenciais ao crescimento em quantidades e proporções definidas e isenta de quantidades elevadas de elementos potencialmente tóxicos.

Os cultivos hidropônicos podem ser realizados em soluções nutritivas aeradas, sem a presença de qualquer tipo de substrato, ou usando substratos quimicamente pouco ativos, como areia, cascalho e argila expandida para dar sustentação adequada às plantas (RESH, 1997).

A solução nutritiva pode ser fornecida por fluxo contínuo ou intermitente (NFT), subirrigação, ou gotejamento. No Brasil, o sistema NFT (Nutrient Film Technique) é empregado em quase todos os cultivos hidropônicos. O uso da subirrigação e do gotejamento são pouco expressivos.

A utilização da hidroponia tem se expandido nos últimos anos como forma de aumentar a produção. Vários fatores contribuem para que esta técnica seja um negócio promissor, pois segundo Faquin et al. (1996), a hidroponia apresenta uma série de vantagens tais como produção em pequenas áreas, utilização de baixa quantidade de água e fertilizantes, redução do número de operações durante o ciclo da cultura, antecipação da colheita e redução drástica de defensivos agrícolas. Por outro lado, o alto investimento inicial e a necessidade de treinamento especializado são os pontos que dificultam a adoção da hidroponia.

Os custos de implantação de um sistema hidropônico para alface, segundo Faquin et al. (1996) e Martins e Silva (1997) são bastante variáveis, especialmente em função da estrutura utilizada. Geralmente, esse custo é estimado em 15 a 20 mil Reais para uma estrutura capaz de produzir dez mil cabeças por mês. De acordo com Furlani (1998), os custos são variáveis, em função da estrutura a ser utilizada e, geralmente, os custos de instalação estão em torno de R\$ 5,00 a R\$ 20,00 por metro quadrado. O autor relata ainda, que de acordo com informações de diversos produtores o custo de produção de uma planta de alface tem oscilado entre 10 e 15 centavos de Real.

2. DINÂMICA DE SISTEMAS

Dinâmica de Sistemas (DS) foi criada nos anos 50 pelo professor Jay W. Forrester. Esta metodologia usa a simulação computacional para relacionar a estrutura de um sistema com o seu comportamento no tempo. Sua origem remonta a estudos realizados sobre a tomada de decisões relativas a inventario e recrutamento de pessoal para a General Eletric, na década de 1950 (FORRESTER, 1961).

Devido às características de nosso cérebro, nós temos problemas em relacionar as causas e efeitos de um sistema, principalmente quando os dois estão distantes no tempo e no espaço, e em transmitir todo o conhecimento contido em nossas mentes. E nós apresentamos dificuldade em relatar nossos modelos mentais de forma compreensível. Além disso, segundo Meadows et al. (1972), tais modelos mentais criados por nossas percepções são demasiadamente simples se comparados com a realidade de onde foram abstraídos. Isto porque o cérebro pode acompanhar apenas um número limitado das complicadas interações simultâneas que determinam a natureza do mundo real.

Dinâmica de Sistemas supre essas deficiências, na medida em que ela capta as informações da estrutura de um sistema, formaliza-as em um modelo computacional e, a partir disso, a simulação retorna o comportamento gerado pela estrutura (COVER, 1996). Segundo Faulin (2004), a estrutura de um sistema é difícil de ser identificada. Para Folledo (2000), tal estrutura é dividida em quatro “níveis de pensamento sistêmico”: eventos, padrões de eventos, estruturas sistêmicas e visões compartilhadas. Geralmente acostumamo-nos a atentar apenas

nos dois primeiros níveis, pois são mais visíveis. Porém, os reais pontos de alavancagem do sistema se situam nos níveis que tratam da sua estrutura e das visões compartilhadas. As ferramentas de Dinâmica de Sistemas auxiliam os tomadores de decisão a visualizarem tais níveis que se mostram ocultos.

Atualmente, os pacotes de simulação em Dinâmica de Sistemas são fáceis de usar, como será demonstrado nas próximas seções.

2.1. Componentes do modelo

Em DS, um modelo é construído com basicamente quatro componentes: estoques, fluxos, auxiliares e conectores.

Os estoques (níveis) são variáveis de estado e podem ser considerados como repositórios onde algo é acumulado, armazenado e potencialmente passado para outros elementos do sistema (DEATON & WINEBRAKE, 2000). Eles fornecem uma visão de como está o sistema em qualquer instante do tempo. E quaisquer mudanças nos estoques, que ocorrem devido à ação dos fluxos, demandam um certo tempo, ou seja, não são instantâneas (COVER, 1996). No software Stella, os estoques podem também exercer a função das estruturas de fila, esteira rolante e forno.

Os fluxos, por sua vez, são variáveis de ação, e podem alterar os estoques, aumentando ou diminuindo seus volumes.

Os auxiliares servem para formular os dados para definir as equações dos fluxos. Eles servem para combinar, através de operações algébricas, os fluxos, estoques e outros auxiliares. São usados para modelar as informações, e não o fluxo físico, sendo capazes de se alterar instantaneamente, sem atrasos (COVER, 1996).

Os conectores representam as inter-relações entre todos os componentes do sistema. São essas inter-relações que ligam os componentes que formarão uma expressão matemática (DEATON & WINEBRAKE, 2000).

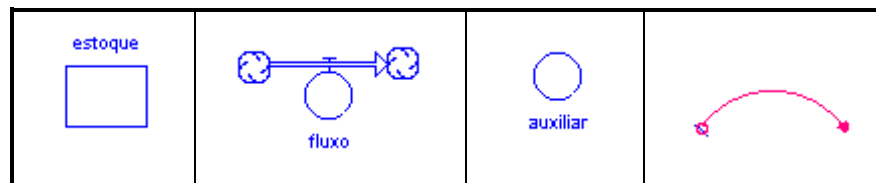


Figura 1. Componentes utilizados na modelagem.

Ao se modelar com estes quatro componentes um pacote de simulação, deve-se seguir as seguintes regras (FLOOD & JACKSON, 1991):

- Um estoque pode somente ser precedido por um fluxo.
- Um estoque pode ser seguido por um auxiliar ou um fluxo.
- Um auxiliar pode ser seguido por outro auxiliar ou por um fluxo.
- Um fluxo deve ser seguido por um estoque.
- Um estoque não pode ser diretamente afetado por outro estoque.

Ao se estruturar tais componentes para espelhar um sistema real, obtêm-se um diagrama de estoque e fluxo.

2.2. Simuladores Computacionais

Os algoritmos relacionados à metodologia de Dinâmica de Sistemas podem ser implementadas em qualquer linguagem procedimental, como C, Delphi ou Pascal. Com os avanços na área de informática, atualmente há diversos pacotes computacionais disponíveis no mercado. Dentre as vantagens de se utilizar tais simuladores pode-se citar: (REIBSTEIN & CHUSSIL, 1999).

- ▶ **Compressão do tempo:** As simulações aceleram o tempo, reduzindo o tempo real dos fenômenos a serem analisados. Ou seja, o comportamento de vários anos de um sistema pode ser verificado em segundos.
- ▶ **Custo reduzido:** Como a simulação é feita no ambiente computacional, não é necessário construir o sistema fisicamente para verificar seu comportamento.
- ▶ **Promove a criatividade:** Devido à inexistência de riscos, os gerentes podem experimentar como seria o comportamento do sistema em situações incertas, desagradáveis, inesperadas ou não-convencionais.

- ▶ Permite fazer experiências: O processo de criação e implementação de simulações dá aos tomadores de decisão insights práticos. Além dos resultados, o processo de criação e implementação de uma simulação é um treinamento para os administradores.
- ▶ Unifica pontos de vista divergentes: Os administradores desenvolvem uma visão comum do sistema em uma linguagem computacional.

Segundo Schwartz (2006), os cenários gerados pelos simuladores não realizam previsões, mas ajudam as pessoas a aprender. O propósito dos cenários é auxiliar as pessoas a mudar a visão da realidade, para combiná-la mais intimamente com a realidade como ela é, e como ela será. Eles fazem com que os tomadores de decisão *repercebam* e questionem suas suposições sobre a forma como o mundo funciona.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado junto a um pequeno produtor no município de Barra do Bugres - MT, entre os meses de Maio e Julho do ano de 2008.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), a população da cidade de Barra do Bugres - MT é de aproximadamente 32.490 habitantes. Barra do Bugres possui hoje em torno de 10 pontos de venda de produtos alimentícios. Destes, apenas 02 supermercados e 01 mercado vendem alfaces hidropônicas deste produtor. Além deste canal de distribuição, as alfaces também são vendidas diretamente à comunidade.

A área total da estufa considerada tem 650 m², sendo esta do tipo capela, com estrutura em pilares pré-fabricados e pé-direito de 2,85 m. A cobertura das estufas foi feita com plástico de polietileno aditivado com espessura de 0,0002 m. As bancadas de sustentação foram feitas com madeira e as calhas de produção com canos de PVC branco de 0,10 m, cortados ao meio no sentido longitudinal, forradas com filme plástico e recobertas com isopor, com orifícios de 0,05 m de diâmetro espaçados a 0,25 m entre plantas.

A produção de alface mensal média ultrapassa 4800 pés, utilizando a técnica de cultivo em fluxo laminar de nutrientes (NFT - Nutrient Film Technique), produção essa que depende do manejo adequado e conseqüente minimização de perdas; sendo o manejo

realizado por monitoramento diário do pH (mantido entre 5,5 e 6,5), da condutividade elétrica da solução nutritiva, utilizando condutivímetro portátil (mantida entre 2,0 e 2,5 mS.cm⁻¹), do nível de oxigênio (O₂) da solução nutritiva pela aeração artificial (recirculação da água dentro do reservatório), da temperatura por termômetros de máximas e mínimas instalados nas estufas. No sistema NFT utilizado, a circulação da solução nutritiva é realizada por um período de quinze minutos com quinze minutos de intervalo, desde o amanhecer até o anoitecer e, durante a noite, a solução circula por quinze minutos com intervalos de dois a três minutos, sendo que tais intervalos são controlados por um temporizador.

Os cálculos necessários para a obtenção dos custos de produção foram obtidos em entrevista feita com o proprietário e acompanhamento semanal na propriedade. Pesquisas de preços de mercado dos itens que compõem os custos fixos e variáveis foram feitas em Cuiabá-MT e, em seguida, procedeu-se à execução da análise de custos de produção da propriedade em questão, de acordo com Hoffmann et al. (1987). Os dados utilizados na simulação são:

Plantio	Plantio semanal (600 nas terças-feiras e mais 600 nas quintas-feiras)
Maturação	Corresponde ao período de 50 dias do plantio a colheita
Vendas Supermercado	110 pés de alface por dia considerando sábados e domingos
Vendas ao Consumidor	43 pés de alface por dia considerando sábados e domingos
Preço Mercado	R\$0,50 para supermercados
Preço Consumidor	R\$0,66 para consumidor
Energia	R\$ 200,00 / mês
Potássio	R\$ 112,00 / 40dias
Cálcio	R\$ 25,00 / mês
Cloro	R\$ 4,00 / mês
Ferro	R\$ 70,00 / 50dias
Magnésio	R\$ 26,00 / 80dias
Semente Americana	R\$ 0,02 / Semente

TABELA 1. Dados do sistema utilizados no modelo.

Os valores das outras variáveis do modelo são obtidos via simulação, através de relações matemáticas dos valores acima citados.

O modelo do sistema de hidroponia estudado é apresentado abaixo na forma de diagrama de estoque e fluxo:

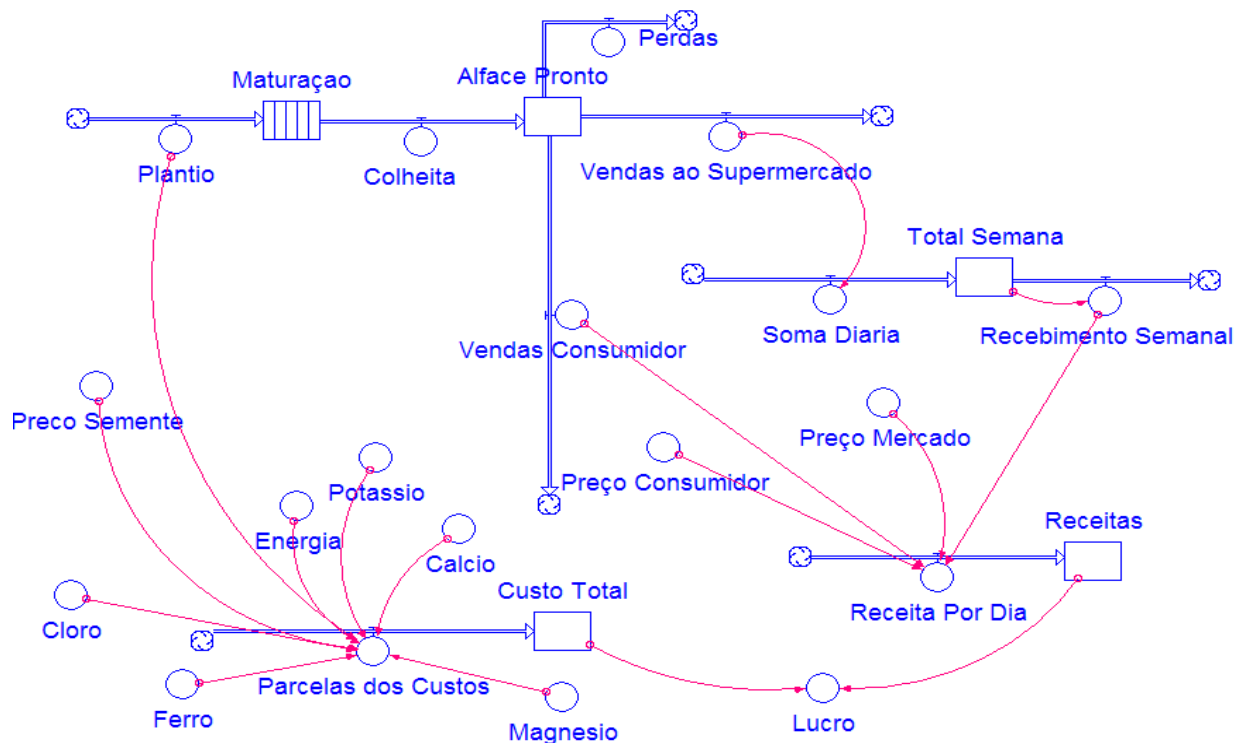


Figura 2. Diagrama de estoque e fluxo do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas simulações por um período de 180 dias e as saídas gráficas com o comportamento de algumas variáveis são apresentadas abaixo.

No gráfico 1, a curva maturação indica a quantidade de alfaces que estão em fase de maturação. A partir do dia 50, todos os espaços disponíveis para alocar os pés são ocupados e, a partir deste ponto, o sistema entra em um regime de equilíbrio (a quantidade de alfaces colhidas se iguala à quantidade de alfaces plantadas). Já a curva da alface pronta demonstra a quantidade de alfaces disponível para a venda. Tal curva surge após o dia 50, quando os primeiros pés plantados são colhidos. Nota-se ainda um desajuste entre oferta e demanda de alface, ou seja, a oferta é um pouco maior que a demanda. Tal fato é observado no crescimento da curva alface pronta. Os picos desta curva espelham o fenômeno de colheita e venda das alfaces. Sua tendência ascendente se refere ao registro das alfaces colhidas, mas que não foram vendidas e consequentemente estragados.

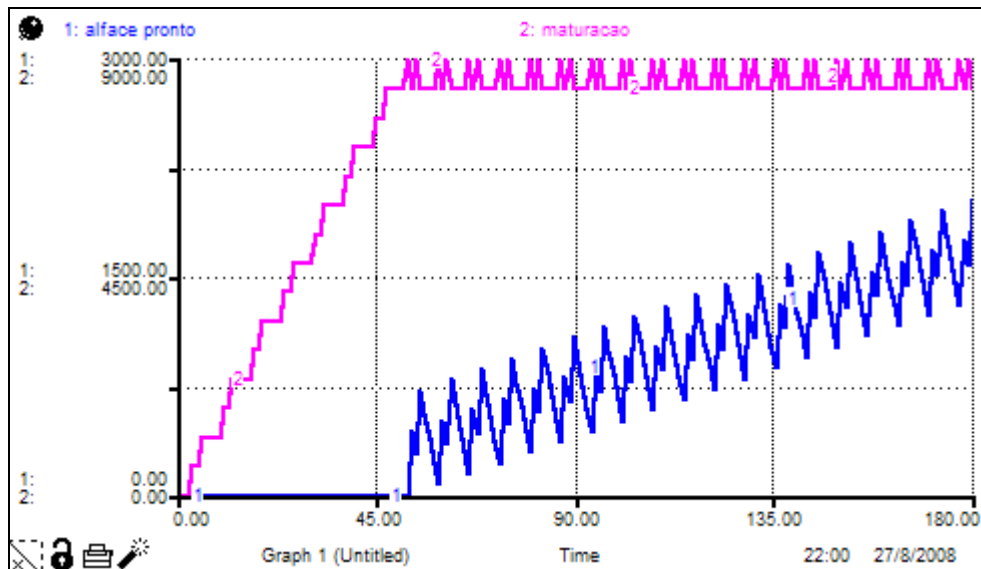


Gráfico 1. Quantidade de vegetais no sistema.

No gráfico 2, é apresentada a simulação dos custos e receitas do sistema. Os custos são auferidos nas datas em que são adquiridas matérias-primas e quando há pagamentos de conta de energia, conforme os dados da tabela 1. As receitas são obtidas a partir do dia 50. As receitas advindas das vendas diretas ao consumidor são recebidas à vista. Já as receitas provenientes dos supermercados são recebidas semanalmente. Tal fenômeno é observado na curva receitas, onde os saltos correspondem aos valores pagos pelos supermercados. Ao final de 180 dias, a receita obtida atinge R\$10000,00.

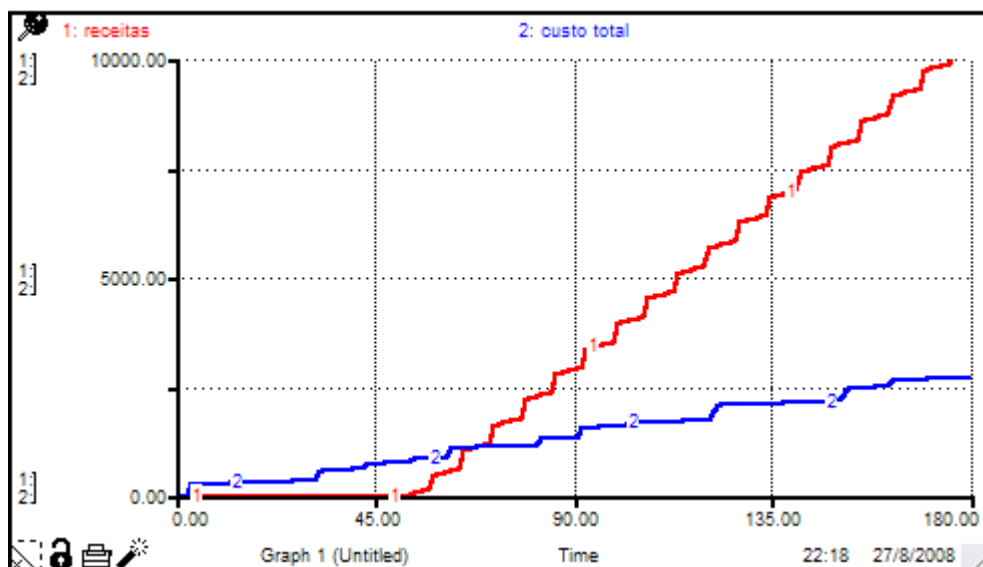


Gráfico 2: Receitas e custos do empreendimento.

O gráfico 3 ilustra o comportamento da variável lucro ao longo do tempo. Nota-se um resultado negativo no início da simulação, mas, a partir do momento em que as alfaces são colhidas e vendidas, o lucro acumulado se torna crescente, atingindo o valor de R\$8000,00 após 180 dias.

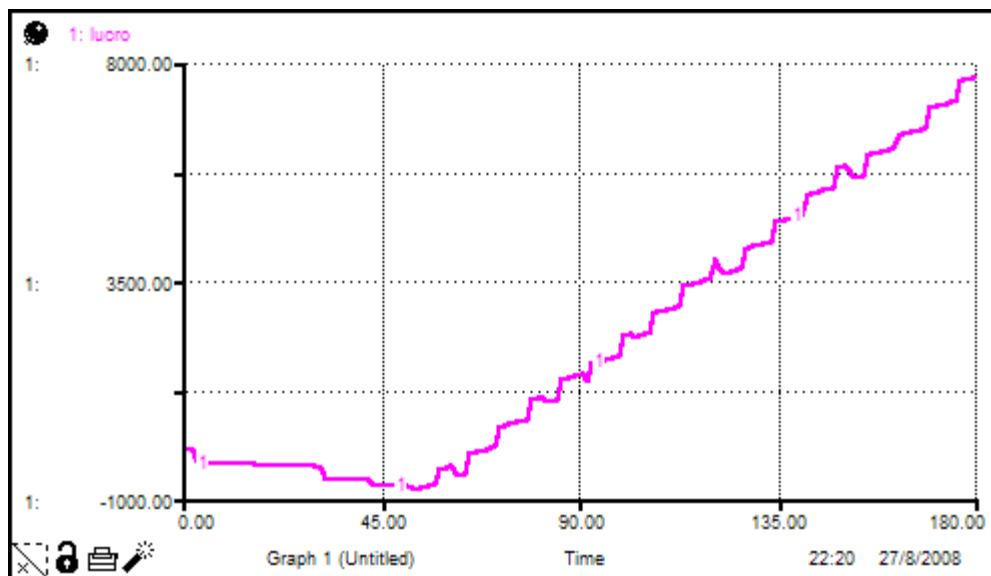


Gráfico 3: Comportamento do lucro acumulado do sistema.

Deste modo, os gráficos que descrevem o comportamento das variáveis do sistema ao longo do tempo mostram que o sistema hidropônico estudado é viável economicamente. Com a estrutura construída, o empreendedor passa a obter uma receita constante após o primeiro ciclo de maturação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou a aplicabilidade da visão sistêmica em um ambiente de hidroponia. Através da simulação em Dinâmica de Sistemas foi possível analisar os pontos relacionados ao retorno financeiro da atividade, mostrando que a atividade é viável do ponto de vista econômico. Além disso, o modelo se apresenta como uma boa ferramenta de comunicação, permitindo-se visualizar questões relacionadas ao período de crescimento,

inter-relacionamento entre as variáveis, não linearidade, bem como o comportamento das diversas variáveis ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COVER, J. **Introduction to System Dynamics**. Powersim Press, 1996.

DEATON, M. L.; WINEBRAKE, J. J. **Dynamic Modelling of Environmental Systems**. Springer-Verlag, 2000.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; VILELA, L.A.A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50p.

FAULIN, E. J. **O uso do System Dynamics em modelo de apoio a comercialização. Uma aplicação à agricultura familiar**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2004.

FOLLEDO, M. **Raciocínio Sistêmico: Uma boa forma de se pensar o meio ambiente**. Ambiente & Sociedade, Campinas, ano III, n. 6 e 7, p. 105-143,2000.

FORD, A. **Modelling the Environment**. Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. The MIT Press, 1961.

FLOOD, R.L.; JACKSON, M. C. **Creative Problem Solving: Total Systems Intervention**. John Wiley & Sons, 1991.

FURLANI, P.R. **Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 30p. (Documentos IAC, 168).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2008) – **Estatísticas da População**. Disponível em: <
<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 10/08/2008.

MEADOWS, D.L.; MEADOWS, D.H.; RANDRES, J.; BEHRENS III, W. W. **Limites ao Crescimento**. Editora Perspectiva, 1972.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. **Processamento mínimo de alface crespa**. Comunicado Técnico 25: Embrapa Hortaliças, 2008. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/serie_documentos/publicacoes2006/cot_36.pdf>. Acesso em 13/08/2008.

REIBSTEIN, D. J.; CHUSSIL, M.J. **Primeiro a lição, depois o teste: usando simulações para analisar e desenvolver estratégias competitivas**. In DAY, G. S.; REIBSTEIN, D. J. “A Dinâmica da Estratégia Competitiva.” Editora Campus, 1999.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. 4.ed. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, 1997. 509 p.

SCHWARTZ, P. **A arte da visão de longo prazo: Planejando o futuro em um mundo de incertezas**. Editora Best Seller, 2006.

SOARES, I. **Alface; cultivo hidropônico**. Fortaleza: Editora UFC. 2002. 50p.

STAFF, H. **Hidroponia**. 2^a ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 101p. (Coleção Agroindústria; v. 11).