

OTIMIZAÇÃO SISTEMA INTEGRADO

Projeto de Mestrado
Bruno de Lima Santos
Leandro Colombi Resendo

TRABALHOS EXISTENTES

Os principais trabalhos se concentram na alocação de terras e na rotação de culturas, dentro do eixo de grandes disposições de terras (latifúndios). Sob a ótica de propriedades menores (nem sempre familiares), 6 abordagens são comuns.

1

Modelagem a partir do trabalho disponível (família, contratos e externos). Otimiza o lucro ao se organizar as diferentes formas de trabalho (dentro e fora) da propriedade.^[1]

2

Modela separadamente cultivo e criação de animais, otimizando o lucro obtido (receita menos custo de ração/adubo). Computa resíduos como impacto ambiental.^[2]

3

Aplicação de DEA e/ou MFA. Técnicas de integração lavoura-pecuária são naturalmente utilizadas, porém não otimizadas o que gera poucos impactos.^[3, 5]

4

Alocação de terras para venda ou consumo interno (ração), incluindo cenários de incerteza devido mudanças climáticas que afetam diferentes tipos de cultivos.^[4]

5

Alocação de terras utilizando consórcio, de modo a aproveitar a combinação de culturas para superar restrições de solo, identificado através de modelos de simulação prévios.^[6]

6

Otimização de lucro da rotação de culturas com foco na produção orgânica, considerando o *trade-off* de maior valor agregado em troca da baixa produtividade.^[7]

LACUNAS EXISTENTES

A alocação de terras é feita em nível macro (total utilizado dentro do período de tempo)^[4], o que não condiz com a necessidade de alocação dinâmica e consumo mensal da agricultura familiar.

Animais e pessoas comem diariamente, porém colheitas são feitas em outro período de tempo. É preciso considerar esta granularidade temporal para que o resultado do modelo seja aplicável.

Abordar a possibilidade de trabalho fora da propriedade no fim se traduz na diáspora rural. Esta variável introduz viés e gera resultados esperados, dado o resultado da tendência de alocar as pessoas fora da propriedade.^[1]

Aceitar o *trade-off* de produtos com maior valor agregado^[7] é um alto risco, uma vez que, sem incentivo político, os pequenos agricultores não conseguem acessar diretamente o consumidor.^[8]

LACUNAS EXISTENTES

A integração lavoura-pecuária é comum^[3, 5], porém são relatados baixos lucros e desempenho porque falta um modelo de leve em consideração a integração dos insumos e produtos^[8].

Considerar os resíduos (animais e vegetais) como impacto ambiental^[2] é desconsiderar a possibilidade de reutilização em sistema fechado, substituindo a rotação de culturas^[8].

Pequenos agricultores buscam a diversificação (e integração por consequência) por causa da incerteza do trabalho^[4], porém não existem modelos que atendam suas necessidades^[8].

Sistemas de simulação são caros e complexos para serem utilizados pela agricultura familiar^[6], o que gera um sentimento maior de desamparo destes agricultores^[5].

PROPOSTA DO PROJETO

Desenvolver um modelo especializado em integração lavoura-pecuária com granularidade temporal. Isto significa equacionar o uso cíclico de resíduos e produtos gerados por todas as atividades (cultivo e criação de animais), definindo o consumo da família (segurança alimentar) como restrição necessária.

Para os cultivos e animais, serão escolhidos os mais adequados para a agricultura familiar. Neste sentido, testes de cenários com diferentes culturas, disponibilidade de animais e situação climática (favorável ou desfavorável) serão executados para a avaliação dos resultados e desempenho do modelo.

CONTRIBUIÇÕES

ALOCAR TERRAS NO TEMPO

Esta é uma forma de suprir uma das lacunas, fazendo com que as atividades (e por consequência a terra) seja utilizada no tempo.

- O principal ganho da alocação dinâmica no tempo é deixar visível o delay entre produção e consumo, permitindo que a família tenha visibilidade de quando começará consumir interno ou comprar externo.

MODELAGEM DA INTEGRAÇÃO

O uso dos recursos (insumos, produtos e resíduos) são definidos como parte do sistema, dando a opção de compra quando não disponível.

- Os trabalhos existentes utilizam o esterco apenas como uma forma de abater o a compra de ração. Este modelo define os resíduos como parte dos recursos.

SEGURANÇA ALIMENTAR E TRABALHO

Parte dos produtos deve ser consumo das famílias, eliminando a necessidade de trabalho externo.

- O trabalho externo é uma forma de aumentar o lucro, porém não condiz com a realidade da agricultura familiar brasileira. Garantir segurança alimentar é prioritário.

INPUTS

1. Quantidade de meses avaliados no plano
2. Quantidade de cultivos disponíveis
3. Quantidade de animais disponíveis
4. Quantidade de “mini lotes”
5. Área de um “mini lote”
6. Quantidade de pessoas na família
7. Necessidade alimentar da família de cultivos, carnes de animais e produtos de animais

OBS.: A criação da instância “mini lote” tem como objetivo discretizar a área disponível para utilização (cultivo ou criação de animais). Assim, para uma determinada área L , define-se um tamanho de mini lote e a partir dele se encontra a quantidade de mini lotes.

VARIÁVEIS DE DECISÃO

LC: minilote l ocupado pela plantação j no mês i

LA: minilote l ocupado pelo animal k no mês i

VC: quantidade em kg do cultivo j produzido e vendida no mês i

EC: quantidade em kg do cultivo j produzido e estocado no mês i

CC: quantidade em kg do cultivo j comprado no mês i

PC: quantidade em kg do cultivo j produzido que é utilizado para consumo dos moradores no mês i

RC: quantidade em kg do cultivo j produzido que é utilizado para alimentação do animal k no mês i

FC: quantidade em kg de fertilizante comprado no mês i

CA: quantidade de lotes do animal k comprados para criação no mês i

VA: quantidade de lotes do animal k vendidos no mês i

AA: quantidade de lotes do animal k abatidos para consumo no mês i

PA: quantidade de carne do animal k comprada para consumo no mês i

RA: quantidade em kg de ração comprada para o animal k no mês i

VP: quantidade (unidade específica) de produto gerado pelo animal k vendido no mês i

AP: quantidade (unidade específica) de produto gerado pelo animal k consumido no mês i

CP: quantidade (unidade específica) de produto do animal k comprado no mês i

PARÂMETROS

PAC: valor em R\$ / kg do adubo utilizado nas plantações
TCC: tempo (meses) que a cultura j leva para colheita
PYC: quantidade colhida em kg / minilote da cultura j
VCC: valor em R\$ / kg de compra da cultura j
VVC: valor em R\$ / kg de venda da cultura j
CCC: custo em R\$ / minilote para plantar a cultura j
CEC: custo em R\$ / (kg . mês) para armazenar a cultura j
RAC: requisito em kg / (m² . mês) de adubo que a cultura j necessita
AAC: indica que a plantação j pode alimentar o animal k (binário)
TCA: meses que um animal k precisa para estar pronto para abate
CCA: custo em R\$ / (lote animal) de compra do animal k para crescer
PRA: valor em R\$ / kg da ração do animal k
VCA: valor em R\$ / kg de compra da carne do animal k
VVA: valor em R\$ / (lote animal) de venda de um lote do animal k
RRA: requisito em kg / (lote animal . mês) de ração para o animal k
PYA: massa em kg de um lote de animal k crescido
RAA: requisito de área em m² para criar um lote de animal k
TCP: meses que um animal k precisa para começar a gerar produtos
PYP: quantidade de produto (unidade específica) / mês gerada pelo animal k
VCP: R\$ / (unidade específica) de compra do produto gerado pelo animal k
AGA: kg / (lote animal . mês) de esterco para adubação gerado pelo animal k
VVP: valor em R\$ / (unidade específica) de venda do produto do animal k

FUNÇÃO OBJETIVO

Considerando que as necessidades dos membros da família são atendidos, objetiva-se maximizar o excedente da produção (cultivos e animais). Como as unidades não são condizentes, todos os produtos são convertidos para valores monetários. Assim, o excedente é tudo o que é produzido subtraído de tudo o que é gasto, consumido pela família ou utilizado no ciclo de integração.

Maximizar FO = (

- + Valor das plantações vendidas
- + Valor dos animais vendidos
- + Valor dos produtos animais vendidos
- Custo dos animais comprados
- Custo operacional das plantações realizadas
- Custo de compra de fertilizantes
- Custo de compra de rações
- Custo de compra das plantações realizadas
- Custo de armazenamento de plantações colhidas

)

FUNÇÃO OBJETIVO

A implementação em CPLEX da função objetivo é:

```
maximize (  
    sum(j in J, i in I) VC[i][j] * VVC[j]  
    + sum(k in K, i in I) VA[i][k] * VVA[k]  
    + sum(k in K, i in I) VP[i][k] * VVP[k]  
    - sum(k in K, i in I) CA[i][k] * PYA[k] * VCA[k]  
    - sum(j in J, i in I, l in L) LC[l][i][j] * CCC[j]  
    - sum(i in I) FC[i] * PAC  
    - sum(k in K, i in I) RA[i][k] * PRA[k]  
    - sum(j in K, i in I) CC[i][j] * VCC[j]  
    - sum(j in J, i in I) EC[i][j] * CEC[j]  
);
```

Em que,

I = conjunto de meses no planejamento

J = conjunto de plantações disponíveis

K = conjunto de animais disponíveis

L = conjunto de minilotes existentes

RESTRIÇÕES

A área (representada pelos minilotes) ocupada pelos animais ou plantações não deve ser maior do que a área disponível.

```
forall(i in I)
sum(l in L, j in J) LC[l][i][j] + sum(l in L, k in K) LA[l][i][k]
<= mini_batches;
```

Antes do tempo, nenhum animal pode ser abatido, vendido ou gerar produto.

```
forall(k in K, i in I: i < TCA[k]) VA[i][k] == 0;
forall(k in K, i in I: i < TCP[k]) AA[i][k] == 0;
forall(k in K, i in I: i < TCP[k]) AP[i][k] == 0;
```

Cada animal requer uma quantidade mínima de espaço, o que significa uma quantidade mínima de minilotes.

```
forall(i in I, k in K)
RAA[k] * (CA[i][k] - VA[i][k] - AA[i][k]) == sum(l in L)
LA[l][i][k];
```

RESTRIÇÕES

Um mesmo minilote não pode ser ocupado simultaneamente por diversas culturas ou animais.

```
forall(i in I, l in L)
sum(j in J) LC[l][i][j] + sum(k in K) LA[l][i][k] <= 1;
```

Quando o minilote é ocupado por uma cultura, ele deve ser ocupado até o momento da colheita.

```
forall(j in J, i in I: i > TCC[j], l in L)
sum(a in (0 .. (i - TCC[j] + 1))) LC[l][i][j] >= LC[l][i - TCC[j]]
[j] * (TCC[j] - 1);
```

Toda plantação que for colhida em um mês deve ser estocada ou vendida.

```
forall(j in J, i in I: i >= TCC[j])
sum(l in L) LC[l][i-TCC[j]][j] * PYC[j] == EC[i][j] + VC[i][j];
```

RESTRIÇÕES

Os produtos animais de um mês devem ser consumidos ou vendidos.

```
forall(k in K, i in I: i >= TCP[k])  
AP[i][k] + VP[i][k] == PYP[k] * sum(a in 0 .. (i - TCP[k]))  
(CA[a][k] - VA[a][k] - AA[a][k]);
```

Os animais abatidos ou vendidos em um mês devem ser inferiores ao estoque de animais.

```
forall(k in K, i in I: i >= TCA[k])  
AA[i][k] + VA[i][k] <= sum(a in 0 .. (i - TCA[k])) (CA[a][k] -  
VA[a][k] - AA[a][k]);
```

O consumo de plantações pela família ou pelos animais deve ser inferior ao estoque existente.

```
forall(j in J, i in I: i == 0)  
PC[i][j] + sum(k in K) RC[i][j][k] <= EC[i][j];
```

```
forall(j in J, i in I: i > 0)  
PC[i][j] + sum(k in K) RC[i][j][k] <= sum(a in (0..i)) EC[a][j]  
- sum(a in (0..(i-1))) (PC[a][j] + sum(k in K) RC[a][j][k]);
```

RESTRIÇÕES

Cada cultivo precisa de uma quantidade de adubo, que pode ser comprado ou reaproveitado do esterco dos animais.

```
forall(j in J, i in I)
FC[i] + sum(k in K, a in 0..i) (AGA[k] * (CA[a][k] - VA[a][k] -
AA[a][k])) >= RAC[j];
```

Cada animal precisa de uma quantidade de ração, que pode ser comprada ou consumida do estoque de cultivos.

```
forall(k in K, i in I)
RA[i][k] + sum(j in J) (RC[i][j][k] * AAC[j][k]) >= RRA[k];
```

A família precisa da sua segurança alimentar garantida em cultivos, carne animal e produtos animais.

```
forall(i in I, j in J) PC[i][j] + CC[i][j] >= P * NAC[j];
forall(i in I, k in K) AA[i][k] * PYA[k] + PA[i][k] >= P * NAA[k];
forall(i in I, k in K) AP[i][k] + CP_[i][k] >= P * NAP[k];
```

REFERÊNCIAS

- [1] DITZLER, Lenora et al. A model to examine farm household trade-offs and synergies with an application to smallholders in vietnam. *Agricultural Systems*, 2019.
- [2] KARNER, Katrin et al. Computing stochastic pareto frontiers between economic and environmental goals for a semi-arid agricultural production region in austria. *Ecological Economics*, 2021.
- [3] KASHYAP, Poonam et al. Achieving food and livelihood security and enhancing profitability through an integrated farming system approach: A case study from western plains of uttar pradesh, india. *Sustainability*, 2022
- [4] BELLINGERI, A. et al. Development of a linear programming model for the optimal allocation of nutritional resources in a dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 2020.
- [5] ATAEI, Pouria et al. Strategic sustainability practices in intercropping-based family farming systems: study on rural communities of Iran. *Sci Rep*, 2023.
- [6] TERÁN-CHAVES, C. A. e POLO-MURCIA, S. M. Cropping pattern simulation-optimization model for water use efficiency and economic return. *Journal of Agricultural Engineering*, 2021.
- [7] ONG, N. R. et al. Application of Mixed Integer Linear Programming Approach on Crop Rotation Practices in Organic Farms in Central Luzon and Calabarzon, Philippines. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
- [8] GILLER, Ken E. et al. Small farms and development in sub-saharan africa: Farming for food, for income or for lack of better options? *Food Security*, 2021