



---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Secretaria de Administração Estratégica  
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

## Seleção de Áreas Adaptativas ao Desenvolvimento Agrícola, Usando-se Algoritmos Genéticos

*Jaime Hidehiko Tsuruta  
Takashi Hoshi  
Yoshihiko Sugai*

***Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia  
Brasília, DF  
2001***

**Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:**

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa**

Secretaria de Administração Estratégica  
Parque Estação Biológica – PqEB – Av. W3 Norte (final)  
CEP 70770-901 – Brasília, DF  
Fone: (61) 448-4452  
Fax: (61) 347-4480

**Corpo editorial:**

Antônio Flávio Dias Ávila  
Antônio Raphael Teixeira Filho  
Ivan Sérgio Freire de Sousa – Presidente  
Levon Yeghanyantz

**Produção editorial e gráfica:**

Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia

**Copidesque:**

Francisco Martins

**Normalização bibliográfica:**

Zenaide Paiva do Rêgo Barros

**Editoração eletrônica:**

José Batista Dantas

**Projeto gráfico:**

Tênisson Waldow de Souza

**Tiragem: 500 exemplares**

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil.Catalogação-na-publicação.

Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia.

---

Tsuruta, Jaime Hidehiko.

Seleção de áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola,  
usando-se algoritmos genéticos / Jaime Hidehiko Tsuruta ; Takashi  
Hoshi ; Yoshihiko Sugai. – Brasília : Embrapa Comunicação para  
Transferência de Tecnologia, 2001.

48p. ; (Texto para Discussão ; 7).

1. Algoritmo genético – Agricultura – Uso. 2. Agricultura –  
Desenvolvimento. 3. Agricultura – Produção. I. Hoshi, Takashi.  
II. Sugai, Yoshihiko. III. Título. IV. Série.

**CDD 511.8**

---

© Embrapa 2001

# Apresentação

*Textos para Discussão* é um veículo utilizado pela Secretaria de Administração Estratégica – SEA –, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa –, para dinamizar a circulação de idéias novas e a prática de reflexão e de debate sobre aspectos relacionados à ciência, à tecnologia, ao desenvolvimento agrícola e ao agronegócio.

O objetivo da série é fazer com que uma comunidade mais ampla, composta de profissionais das diferentes áreas científicas, debata os textos apresentados, contribuindo para o seu aperfeiçoamento.

Os trabalhos trazidos a esta série poderão, em seguida, ser submetidos a publicação em qualquer livro ou periódico. Não se reserva aqui o direito de exclusividade de artigo ou monografia posta em discussão.

O leitor poderá apresentar comentários e sugestões, assim como debater diretamente com os autores, em seminários especialmente programados, ou utilizando qualquer um dos endereços fornecidos: eletrônico, fax ou postal.

O envio de trabalhos para esta coleção deve ser endereçado à Embrapa, Secretaria de Administração Estratégica, Parque Estação Biológica – PqEB, Av. W3 Norte (final), CEP 70770-901, Brasília, DF. Fax: (61) 347-4480.

Os usuários da Internet podem acessar os trabalhos pelo endereço <http://www.embrapa.br/novidades/publica/apresent.htm/>. Para os usuários do Sistema Embrapa, basta clicar em **novidades**, na Intranet.



***República Federativa do Brasil***

*Fernando Henrique Cardoso*  
***Presidente***

***Ministério da Agricultura e do Abastecimento***

*Marcus Vinicius Pratini de Moraes*  
***Ministro***

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa***

***Conselho de Administração***

*Márcio Fortes de Almeida*  
***Presidente***

*Alberto Duque Portugal*  
***Vice-Presidente***

*Dietrich Gehard Quast*  
*José Honório Accarini*  
*Sérgio Fausto*  
*Urbano Campos Ribeiro*  
***Membros***

***Diretoria Executiva da Embrapa***

*Alberto Duque Portugal*  
***Diretor-Presidente***

*Dante Daniel Giacomelli Scolari*  
*Elza Angela Battaglia Brito da Cunha*  
*José Roberto Rodrigues Peres*  
***Diretores-Executivos***

***Secretaria de Administração Estratégica***

*Mariza Marilena T. Luz Barbosa*  
***Chefe***



## Seleção de Áreas Adaptativas ao Desenvolvimento Agrícola, Usando-se Algoritmos Genéticos

*Jaime Hidehiko Tsuruta<sup>1</sup>*

*Takashi Hoshi<sup>2</sup>*

*Yoshihiko Sugai<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa, Ph.D. em Engenharia de Sistemas, Ibaraki University, Japão. Endereço: Embrapa/Sede/SEA, PqEB, Final W3 Norte. Caixa Postal 040315 CEP: 70770-901 Brasília, DF. Email: [tsuruta@sede.embrapa.br](mailto:tsuruta@sede.embrapa.br)

<sup>2</sup> Professor Titular da Universidade de Ibaraki, Doutor em Engenharia. Endereço: Dept. Computer & Information Sciences, Ibaraki University 1-12-4 Nakanarusawa-cho, Hitachi, 316 Japan. Email: [hoshi@cis.ibaraki.ac.jp](mailto:hoshi@cis.ibaraki.ac.jp)

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa/SEA, Doutor em Economia. Brasília, DF. Email: [sugai@sede.embrapa.br](mailto:sugai@sede.embrapa.br)

# Introdução

---



s questões de onde e como desenvolver regiões agrícolas e seus produtos podem ser tratadas como um problema de otimização que pode ser resolvido através da seleção de áreas adaptáveis ao desenvolvimento agrícola.

Atualmente, diversas informações geográficas referentes a grandes áreas podem ser obtidas de modo macroscópico, com base em dados de imagens de satélites de recursos naturais. Na agricultura, experimentos de seleção de áreas adaptáveis ao desenvolvimento agrícola podem ser vistos em grandes áreas, fundamentados em informações geográficas e também em informações relacionadas com solos e dados de pesquisas sobre clima.

Como exemplo, o trabalho de Inagaki et al., 1986, modela e esclarece um método de seleção para a produção de arroz. Esse trabalho define oito características do solo, e as condições de tais características, em que se expressa a relação entre as características do solo e a produtividade do arroz com o *minimum pathvector*, da teoria confiável do sistema coerente multicondicional.

Posteriormente, o custo de melhoramento das condições dessas características é estimado e, para enfrentar o problema geral de maximizar a produção agrícola e minimizar o custo total de desenvolvimento, a curva *Pareto* de Solução Ótima é obtida (Inagaki et al., 1987). Esse método de Inagaki et al. é eficiente, quando o número de áreas é pequeno. Contudo, em grandes regiões onde o número de áreas é enorme, existe dificuldade de se

encontrar a solução, em virtude do aumento no número de cálculos.

Assim, mesmo observando-se o problema de otimização em larga escala, a fusão com um método que solucionasse a otimização por aproximação se tornava indispensável. Com a finalidade de obter um método para resolver tal problema, o trabalho de Yamamoto & Hoshi (1996) mostra um experimento com a aplicação de algoritmos genéticos.

Nos algoritmos genéticos, cada cromossomo possui vários genes que representam as diversas variáveis correspondentes às características do solo da área de estudo. Os resultados obtidos com a introdução de alguns fenótipos para aumentar a aplicabilidade – com a função de avaliar e controlar as condições de restrições – foram comparados aos obtidos por Inagaki et al. (1986; 1987), e considerados toleráveis.

As metodologias aplicadas, contudo, eram eficientes para pequeno número de áreas e para monoculturas. Este trabalho selecionou áreas de desenvolvimento agrícola com abordagem de algoritmos genéticos aplicados a mais de uma cultura. Com esses algoritmos – que são parte dos modelos computacionais inspirados na natureza e usados para resolver problemas de busca e otimização – maximiza-se a renda líquida total das culturas plantadas.

A área de estudo está situada no município de Irai de Minas, MG, onde estudou-se a produção de duas culturas: soja e milho. Neste modelo, a produção das culturas decorre de aplicações de insumos básicos no solo (calcário e fertilizantes), além dos custos dos sistemas de produção.

As doses desses insumos foram ajustadas aos custos dos sistemas de produção da região e a implantação de sistemas de irrigação foi considerada, para evitar perdas na produção causadas por veranicos. Em virtude da evolução das pesquisas genéticas, rendimentos de novas variedades de sementes também foram considerados. Os resultados obtidos mostraram que a seleção de áreas de desenvolvimento agrícola – usando-se algoritmos genéticos e considerando-se mais de uma cultura – pode ser efetivada.

## Objetivo

---



Este estudo tem por objetivo selecionar áreas adaptativas de desenvolvimento agrícola, otimizando a renda líquida total das culturas plantadas por meio do uso de algoritmos genéticos aplicados a mais de uma cultura\*.

## Metodologia

---



Esta pesquisa seleciona áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola, utilizando métodos computacionais evolucionários, chamados de Algoritmos Genéticos (GAs). Tais algoritmos computacionais são muito

---

\* Neste trabalho estão incluídos a soja e o milho. Outras culturas estão sendo estudadas.

eficientes na busca de soluções ótimas, ou aproximadamente ótimas, numa grande variedade de problemas, pois não impõem muitas das limitações encontradas nos métodos tradicionais de busca. As vantagens de se usar GAs são:

- Não requerem conhecimentos ou informações de gradiente de uma superfície de resposta.
- Descontinuidades na superfície de resposta têm pouco efeito na performance geral da otimização.
- São resistentes à queda nas armadilhas de ótimos locais.
- Resolvem problemas de otimização de larga escala.
- Podem ser empregados em grande variedade de problemas de otimização (Schaffer, 1999).

Não existe uma definição rigorosa de algoritmos genéticos aceita por toda a comunidade da computação evolucionária. Goldberg (1989) define GAs como “algoritmos de busca baseados nos mecanismos de seleção natural e genética”, Whitley (1993) define como “uma família de modelos computacionais inspirados na evolução” e Beasley et al. (1993) definem como “métodos adaptativos que podem ser usados para resolver problemas de busca (*search*) e otimização”.

Os GAs formam a parte da área de sistemas inspirados na natureza, simulando os processos naturais e aplicando-os à solução de problemas reais. São métodos generalizados de busca e otimização que simulam os processos naturais de evolução, aplicando a idéia darwiniana de seleção.

De acordo com a aptidão e a combinação com outros operadores genéticos, são produzidos métodos de

grande robustez e aplicabilidade. Esses algoritmos estão baseados nos processos genéticos dos organismos biológicos, codificando uma possível solução de um problema de cromossomo composto por cadeia de *bits* e caracteres. Tais cromossomos representam indivíduos que são levados ao longo de várias gerações, na forma similar aos problemas naturais, evoluindo de acordo com os princípios de seleção natural e sobrevivência dos mais aptos, descritos pela primeira vez por Charles Darwin (1958; 1994) em seu livro *On the Origin of Species*, publicado em 1859.

Emulando-se esses processos, os GAs são capazes de ‘evoluir’ soluções de problemas do mundo real. Os GAs foram inicialmente propostos por John Holland (1975) da Universidade de Michigan, e sistematizados por David E. Goldberg (1989), ao modelar a evolução biológica. Recentemente, vários pesquisadores têm realizado estudos abrangendo uma variedade de tópicos (Whitley, 1993; Welstead, 1994; Back, 1996; Mitchell, 1997; Schaffer, 1999 e).

Os cromossomos, numa população de GAs, tipicamente tomam a forma de cadeia de *bits*. Cada *locus* do cromossomo tem dois alelos possíveis: 0 (zero) e 1 (um). Cada cromossomo pode ser considerado como um ponto no espaço de busca de uma solução de candidatos.

Os GAs processam as populações de candidatos sucessivamente, substituindo uma população por outra. Muito frequentemente, os GAs requerem uma função de adaptação, também chamada de função de avaliação (*evaluation*), que assinala um escore para cada

cromossomo da população atual. A adaptação de um cromossomo depende de quão bem o cromossomo resolve o problema.

O princípio básico do funcionamento dos GAs é que um critério de seleção vai fazer com que, depois de muitas gerações, o conjunto inicial de cromossomos gere cromossomos mais aptos. A seleção natural garante que os cromossomos mais bem adaptados se propaguem para as futuras populações. Além do critério de seleção, os cromossomos mais adaptados são procurados também através de operadores genéticos: mutação e recombinação.

A forma mais simples de um algoritmo genético envolve, assim, três tipos de operadores: seleção, cruzamento (ponto simples), e mutação.

**Seleção** – Este operador seleciona cromossomos na população para reprodução. Os mais adaptados são selecionados mais vezes, para se reproduzirem.

**Cruzamento (*crossover*)** – Este operador escolhe aleatoriamente um *locus*, e intercambia as seqüências antes e depois desses *locus* entre dois cromossomos, a fim de criar dois descendentes. Por exemplo, os *strings* 10000100 e 11111111 poderiam cruzar depois do segundo *locus*, produzindo dois descendentes 10111111 e 11000100.

Este operador cruzamento imita grosseiramente a recombinação biológica entre dois cromossomos simples (*haploid*). O cruzamento não é geralmente aplicado a todos os pares de indivíduos selecionados. Uma escolha

aleatória é feita, onde geralmente a probabilidade de cruzamento ( $p_c$ ) situa-se na faixa de 0,6 a 1,0 (Beasley et al., 1993).

Se o cruzamento não é aplicado, os descendentes são simplesmente produzidos pela duplicação dos genitores, proporcionando a cada indivíduo uma oportunidade de passar com seus genes sem ser perturbado.

**Mutação (*mutation*)** – Este operador aleatoriamente muda (*flip*) alguns *bits* de um cromossomo. Por exemplo, o *string* 00000010 poderia ser mudado na terceira posição, produzindo 00100010. Podem ocorrer ocorrer em cada posição de *bit* de uma *string* sob alguma probabilidade ( $p_m$ ), geralmente muito pequena (ex., 0,001) (Beasley et al., 1993). A mutação é aplicada em cada indivíduo depois do cruzamento.

O tradicional ponto de vista é que o cruzamento é mais importante pela rapidez em explorar um espaço de busca, enquanto a mutação fornece uma pequena busca aleatória, ajudando a garantir que nenhum ponto do espaço de busca tenha probabilidade zero de ser examinado.

Definido claramente um problema a ser resolvido e uma representação de cadeia de *bits* para soluções candidatas, um algoritmo genético simples funciona da seguinte maneira:

- i) Inicia com a geração aleatória de uma população de  $n$  cromossomos com  $m$ -bits.
- ii) Calcula o valor de adaptação  $f(x)$  de cada cromossomo na população.

iii) Repete os seguintes passos até  $n$  descendentes terem sido criados:

- a) Seleciona um par de cromossomos genitores dentro da população atual, com a probabilidade de seleção sendo diretamente proporcional a sua adaptação. O mesmo cromossomo pode ser selecionado mais de uma vez para ser genitor.
- b) Com probabilidade  $p_c$  (probabilidade de cruzamento, ou razão de cruzamento), cruzam-se pares a um ponto escolhido aleatoriamente, para formar dois descendentes. Se não houver cruzamento, dois descendentes são cópias exatas de seus genitores.
- c) Muda (mutação) dois descendentes em cada *locus* com probabilidade  $p_m$  (probabilidade de mutação, ou razão de mutação) e coloca o cromossomo resultante na nova população.

Se  $n$  for ímpar, um membro da nova população pode ser descartado aleatoriamente.

iv) Substitui a população.

v) Vai para o passo ii.

A Figura A1 (vide Anexos) mostra o fluxograma de um algoritmo genético simplificado, contendo os princípios básicos de evolução da população de indivíduos através do tempo, e a aplicação do critério de seleção dos indivíduos mais bem adaptados e dos operadores de cruzamento e de mutação.

Cada iteração desse processo é chamada de geração. O conjunto inteiro de gerações é chamado de

execução. No fim de uma execução, haverá um ou mais cromossomos altamente adaptados na população. Se os GAs forem corretamente implementados, a população evolui em sucessivas gerações de tal forma que a adaptação do melhor e a média individual em cada geração aumenta em direção a um ótimo global.

O problema de selecionar áreas de desenvolvimento de terras cultiváveis é expresso pelas seguintes equações:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i y_i \quad (1)$$

$$R = \sum_{i=1}^n a_i r_i \quad (2)$$

$$C = \sum_{i=1}^n a_i c_i \quad (3)$$

$$\text{condições: } (r_i - c_i) > 0 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (4)$$

$$C < C_{\text{disp}} \quad (5)$$

em que:

Y: Produção total dos produtos cultivados.

R: Receita bruta total dos produtos cultivados.

C: Custo total dos produtos cultivados.

i: Índice do produto cultivado, sendo  $(i = 1, \dots, n)$  e  $n$  o número de culturas.

$a_i$ : Área plantada do produto  $i$ .

$y_i$ : Rendimento por unidade de terra do produto  $i$ .

$r_i$ : Renda bruta por unidade de terra do produto  $i$ .

$c_i$ : Custo da produção por unidade de terra do produto  $i$ .

$C_{\text{disp}}$ : Capital disponível de investimento.

As condições são que a renda líquida do produto seja positiva (equação 4), e que o custo total de produção seja menor que o capital disponível para investimento  $C_{\text{disp}}$  (equação 5).

## Materiais

---

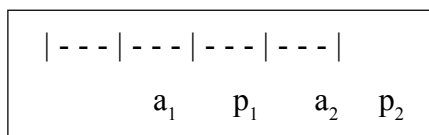


área de estudo deste trabalho situa-se na Região do Cerrado, especificamente em alguns lotes da região de Iraí de Minas, localizada no Alto Paranaíba, no meio-oeste do Estado de Minas Gerais, com área de 358 km<sup>2</sup> e população de 4.801 habitantes (IBGE, 2000), a aproximadamente 100 km a leste da cidade de Uberlândia, MG. Nesta área, são estudadas duas culturas: a soja e o milho.

A característica da produtividade é função da dosagem de calcário para correção do pH do solo, de nutrientes necessários ao desenvolvimento dessas culturas, de novas variedades de cultivares desenvolvidas pelas pesquisas genéticas, e da implantação da irrigação.

A codificação dos dados para os GAs é feita para cada lote, com ( $a_i$ ) a porcentagem de área de plantio do produto  $i$  na área de lavoura e a quantidade de fósforo ( $p_i$ ) do produto  $i$  necessária para os diversos níveis de

produtividade de cada produto (Figura 1). Portanto, como cada lote contém um total de quatro variáveis, os 21 lotes totalizam 84 variáveis para esta região de estudo. Como cada variável é expressa em 3 bits, um único cromossomo da região é representado por 252 *bits*.



**Fig. 1.** Quatro variáveis referentes a um único lote.

A Região de Iraí de Minas fez parte do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados – Prodecerr, um programa criado para ajudar na ampliação da fronteira agrícola do País, com uma ocupação que ocorreu entre 1979 e 1982. As informações sobre os lotes e as áreas de lavouras, pecuária, e reservas (Tabela 1) foram extraídas do mapa fornecido pela Companhia de Promoção Agrícola – Campo (1992/1993).

Como o tratamento do solo depende da sua análise, tentou-se recuperar os dados iniciais dos solos dessa região, por meio de contatos com a Campo (1992/1993) e, posteriormente, com a Cooperativa Copamil de Iraí, de Minas. Não sendo encontrados os dados originais, foi colocada na última coluna da direita, uma definição do tipo de solo de cada lote, para ficar de acordo com o trabalho realizado por Vilela (1978). Assim, os números 0 (zero) e 1 (um) representam dois tipos de solo mais comuns na região: Latossolo Vermelho Escuro (LVE) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), respectivamente.

**Tabela 1.** Identificação de lotes, áreas e tipo de solo.

<b>Identificação</b>	<b>Lavoura [ha]</b>	<b>Pecuária [ha]</b>	<b>Reserva [ha]</b>	<b>Tipo de solo</b>
Lote – 0	230,0	77,7	20,0	0
Lote – 1	289,0	0,0	0,0	0
Lote – 2	230,0	105,3	0,0	0
Lote – 3	204,5	87,9	20,0	0
Lote – 4	239,0	67,5	20,0	0
Lote – 5	240,0	11,0	20,0	0
Lote – 6	262,0	77,0	20,0	0
Lote – 7	256,0	81,0	0,0	0
Lote – 8	262,0	75,0	20,0	0
Lote – 9	265,0	79,3	0,0	1
Lote –10	210,0	110,3	30,0	0
Lote –11	216,0	66,1	20,0	1
Lote –12	223,0	64,5	20,0	1
Lote –13	211,0	61,5	47,0	1
Lote –14	226,0	76,0	20,0	1
Lote –15	244,0	70,5	20,0	1
Lote –16	262,0	71,5	20,0	1
Lote –17	255,0	73,5	20,0	1
Lote –18	292,0	75,1	20,0	1
Lote –19	240,0	43,6	31,5	1
Lote – 20	210,0	75,8	30,0	1

Fonte: Campo, 1992/1993; Vilela, 1978.

A Tabela 2 mostra a quantidade de calcário (calagem), conforme as características químicas do solo. As quantidades de adubação corretiva: 240 kg de  $P_2O_5$ , e 100 kg de  $K_2O$  são valores publicados no trabalho de Souza (1984).

**Tabela 2.** Dados de análise química do Latossolo Vermelho Escuro (LVE) e do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) em condições naturais e após aplicação respectiva de 4 t de calcário/ha no LVE e 2,5 t/ha no LVA.

Características químicas	Solo natural		Solo após calagem e adubação potássica		
			6 meses		12 meses
	LVE	LVA	LVE	LVA	LVE
pH	4,5	4,7	5,2	5,2	5,2
Al <sub>3+</sub> (meq/100g)	0,90	0,43	0,20	0,05	0,05
Ca <sub>2+</sub> + Mg <sub>2+</sub> (meq/100g)	0,40	0,25	2,90	2,20	2,50
K (ppm)	25	21	52	21	38
P (ppm)	0,5	traços	1,0	1,5	traços
Sat.Al(%)	66	59	6	2	7

Fonte: Vilela, 1978.

O rendimento da soja em função de doses de fósforo aplicadas estão na Tabela 3.

**Tabela 3.** Rendimento da soja em função de doses de fósforo.

Cultivar UFV-1	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg/ha]	Rend.grãos [kg/ha]
0	77
150	2.020
300	2.488
600	2.993
1.200	3.159

Fonte: Vilela, 1978.

O presente trabalho utiliza o Sistema de Produção da Soja (Embrapa, 1998a) relativo à Região do Cerrado. O custo de produção por hectare, excluindo-se os insumos calcário, fósforo e potássio é de R\$ 479,43. A quantidade de calcário indicada nesse sistema é de 800 kg, e as de fósforo e de potássio são de 60 e 60 kg, respectivamente

A Tabela 4 mostra reajuste do rendimento da soja com essa nova quantidade de fósforo, centralizado no valor de 2.020 kg de soja por hectare; isto é, nesta linha de rendimento, o fósforo aplicado originalmente (150) é transformado para o novo valor do sistema de produção (60). Todas as demais doses de fósforo originais são reajustadas proporcionalmente, resultando nas novas doses da coluna dois.

**Tabela 4.** Reajuste de rendimento da soja em função das doses de fósforo.

<b>Doses de fósforo original [kg]</b>	<b>Doses reajustadas de fósforo [kg]</b>	<b>Rendimento [kg/ha]</b>
0	0	77
150	60	2.020
240	96	2.300
300	120	2.488
600	240	2.993
1.200	480	3.159

Inclui-se aqui mais uma cultura, o milho, cujo rendimento em função das doses aplicadas de fósforo (Miranda, 1980) está expresso na Tabela 5.

**Tabela 5.** Rendimento de milho conforme doses de fósforo aplicado.

<b>Doses de fósforo</b>	<b>Rendimento em grãos</b>
<b>[kg/ha]</b>	<b>[kg/ha]</b>
40	2.260
160	5.230
320	6.270
640	6.790
1.820	7.960
2.000	8.300

Fonte: Miranda, 1980.

Neste trabalho, também foram utilizados os dados do Relatório do Sistema de Produção do Milho (Embrapa, 1998b), relativa à Região do Cerrado. O custo de produção por hectare, excluindo-se os insumos calcário, nitrogênio, fósforo e potássio é de R\$ 238,36. A quantidade de calcário indicada neste sistema é de 1 tonelada, e a quantidade de fertilizantes é de 10 kg de nitrogênio, 50 kg de fósforo, e 50 kg de potássio.

A Tabela 6 mostra o rendimento do milho reajustado com novas quantidades de fósforo, centralizado na proporção de 2.260 kg de milho por hectare; isto é, nesta linha de rendimento, o fósforo aplicado originalmente (40) é transformado para o novo valor do sistema de produção (50). Todas as demais doses de fósforo originais são reajustadas proporcionalmente, resultando nas novas doses da coluna do meio.

**Tabela 6.** Reajuste do rendimento do milho em função das doses de fósforo.

<b>Doses de fósforo [kg]</b>	<b>Doses reajustadas de fósforo [kg]</b>	<b>Rendimento [kg/ha]</b>
40	50	2.260
160	200	5.230
320	400	6.270
640	800	6790
1.820	2.275	7.960
2.000	2.500	8.300

Os preços dos insumos e produtos consultados no site da FNP (2000), referente à cidade de Uberlândia, MG, estão na Tabela 7. A quantidade de nutrientes dentro dos fertilizantes comercializados foram fornecidas pelo pesquisador Edson Lobato, da Embrapa Cerrados.

**Tabela 7.** Preços de insumos e produtos da Região de Uberlândia, MG, em 6/7/2000.

<b>Produto</b>	<b>Preço por tonelada [R\$]</b>	<b>Preço por kg [R\$]</b>
Nitrogênio (Uréia Agrícola: 45%)	385,00	0,86
Fósforo (Fosfato Supertríplo: 45%)	357,00	0,79
Potássio (Cloreto de Potássio: 60%)	376,00	0,63
Calcário Dolomítico	8,50	
Milho		0,18
Soja		0,27

Fonte: FNP Consultoria e Comércio, 2000.

As perdas da produção agrícola causadas por veranico nos Cerrados podem chegar a 40% de milho e 20% de soja (Embrapa, 1984). A frequência de veranicos, verificada em 42 anos, na Região do Distrito Federal (Wolf, 1977) é mostrada na Tabela 8.

Assim, acrescentou-se no modelo o custo de implantação do sistema de irrigação como mais uma variável a ser controlada pela função de avaliação dos GAs, com o custo de US\$ 600.00 por hectare, fornecido por Edson Eiji Matsura (2000).

Supõe-se que o sistema de irrigação é usado por 20 anos, portanto, seu custo é dividido em 20 anos, e em duas culturas por ano. Em virtude das maiores perdas da produção ocorrerem com 22 ou mais dias de seca, este trabalho adota perdas de 13 ou mais dias como frequência média por ano; conseqüentemente, há uma perda de 23,6%, na produção do milho e de 11% na de soja, quando não se implanta um sistema de irrigação.

**Tabela 8.** Frequência de veranicos no Distrito Federal.

<b>Período de estiagem</b>	<b>Frequência</b>
8 ou mais dias	3 por ano
10 ou mais dias	2 por ano
13 ou mais dias	1 por ano
18 ou mais dias	2 em 7 anos
22 ou mais dias	1 em 7 anos

Fonte: Wolf, 1977.

Considerando-se a evolução nas pesquisas genéticas de sementes, utilizaram-se novas variedades de soja, porque os dados de rendimento existentes desse produto eram muito antigos. Obtendo-se a média de duas cultivares: BR 91-8762, com produtividade média de 3.672 kg/ha e Embrapa 65, com produtividade média de 3.540 kg/ha (Silva, 1998), estimou-se uma produtividade média de 3.606 kg/ha.

Este reajuste é mostrado na Tabela 9, centralizando no valor máximo de produtividade, de 2.993 kg/ha; isto é, a produtividade original (2.993) é reajustada para a nova produtividade (3.606), e as demais produtividades são reajustadas proporcionalmente, resultando nos novos valores de produtividade na coluna da direita.

**Tabela 9.** Reajuste das produtividades da soja, em função de nova cultivar.

<b>Doses de fósforo [kg]</b>	<b>Produtividade original [kg/ha]</b>	<b>Produtividade nova cultivar [kg/ha]</b>
96	2.300	2.760
120	2.488	2.985
240	2.993	3.606

## Resultados



este trabalho, os parâmetros para a execução do algoritmo foram sempre utilizados como: população de 1.000 cromossomos em 1 milhão de número de gerações, com probabilidade de cruzamento  $p_c = 0,05$ , e probabilidade de mutação  $p_m = 0,0001$ . Os valores de porcentagem de uso do solo da lavoura restringiram-se a valores de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% e 100%.

O resumo do resultado da execução dos GAs neste modelo – utilizando-se dados originais existentes do rendimento da soja em função de calcário e fertilizantes

mostrados nas Tabelas 1, 2 e 3, na Região dos Cerrados de Iraí de Minas – está na Tabela 10.

A coluna mais à esquerda indica as doses de fósforo por hectare aplicadas. O custo por hectare é o valor da quantidade de fósforo multiplicado pelo valor unitário do fósforo.

A coluna custo indica o custo dos insumos calcário, fósforo, e potássio, por hectare de terra.

A coluna seguinte indica o custo total por hectare de terra, já incluído o respectivo custo do sistema de produção da soja. O rendimento da soja é mostrado na coluna 5, que multiplicado pelo preço do quilo da soja resulta na coluna da renda bruta por hectare. A renda líquida é o valor da diferença entre a renda bruta e o custo total.

**Tabela 10.** Resultados da execução dos GAs com dados originais da pesquisa de soja.

Dose de fósforo [kg]	Custo por ha [R\$]	Custo (Calc +NPK)/ha [R\$]	Custo por hectare [R\$]	Rendimento [kg/ha]	Renda bruta por ha [R\$]	Renda líquida/ha [R\$]
0	0,00	121,44	600,87	77	20	– 580
150	119,00	2.064,44	2.543,87	2.020	545	– 1.998
240	190,39	2.344,44	2.823,87	2.300	621	– 2.203
300	237,99	2.532,44	3.011,87	2.488	671	– 2.340
600	475,98	3.037,44	3.516,87	2.993	808	– 2.709
1.200	951,96	3.203,44	3.682,87	3.159	852	– 2.830

Nota-se que todos os resultados da renda líquida foram negativos. Assim, efetuou-se o reajuste das doses de fósforo conforme o Sistema de Produção para Soja,

mostrado na Tabela 4, e o resumo da nova execução dos GAs é mostrado na Tabela 11.

**Tabela 11.** Resultados da execução dos GAs com dados reajustados de soja.

Dose de fósforo [kg]	Custo por ha [R\$]	Custo (Calc+ NPK)/ha [R\$]	Custo por hectare [R\$]	Rendimento [kg/ha]	Renda bruta por ha [R\$]	Renda líquida/ha [R\$]
60	47,60	92,04	571,47	2.020	545	-26,07
96	76,16	120,60	600,03	2.300	621	20,97
120	95,20	139,64	619,07	2.488	671	52,69
240	190,39	234,83	714,26	2.993	808	93,85
480	380,78	425,22	904,65	3.159	852	-51,72

Verificando-se que existem rendas líquidas positivas e negativas no resultado acima, a função de avaliação do algoritmo genético é ajustada para que a condição da metodologia deste trabalho, a equação (4), seja satisfeita, e assim, limite-se as doses de aplicação de fósforo às quantidades de rendas lucrativas somente.

Agora, executando-se os GAs com os dados originais de milho, mostrados na Tabela 5, alcançam-se os resultados da Tabela 12, abaixo:

**Tabela 12.** Resultados da execução dos GAs com dados originais de milho.

Dose de fósforo [kg]	Rendimento [kg/ha]	Renda líquida/ha [R\$]
40	2.260	- 1.998
160	5.230	- 1.556
320	6.270	- 1.495
640	6.790	- 1.655
1.820	7.960	- 2.379
2.000	8.300	- 2.461

Aqui também verificam-se rendas líquidas negativas. Os reajustes de doses de fósforo conforme o sistema de produção de milho mostrado na Tabela 6 são efetuados, e o resultado é mostrado na Tabela 13, a seguir:

**Tabela 13.** Resultados da execução dos GAs com dados reajustados de milho.

Dose de fósforo [kg]	Custo por ha [R\$]	Custo (Calc +NPK)/ha [R\$]	Custo por hectare [R\$]	Rentabi- lidade [kg/ha]	Renda bruta por ha [R\$]	Renda líquida/ha [R\$]
50	39,67	88,05	326,41	2.020	408,70	82
100	79,33	127,72	366,07	3.311	598,76	233
200	158,66	207,05	445,40	5.230	945,79	500
300	237,99	286,38	524,73	5.808	1.050,32	526
400	317,32	365,71	604,06	6.270	1.133,87	530
800	634,64	683,03	921,38	6.790	1.227,90	307
2.275	1.804,76	1.853,14	2.091,50	7.960	1.439,49	-652
2.500	1.983,25	2.031,64	2.269,99	8.300	1.500,97	-769

Aqui também se verifica a existência de rendas líquidas positivas e negativas no resultado, e a função de avaliação do algoritmo genético é ajustada para que a condição da metodologia deste trabalho, a equação (4), seja satisfeita, e assim limite-se as doses de aplicação de fósforo às quantidades de rendas lucrativas somente.

As várias rentabilidades da soja conforme as doses de fósforo aplicadas ao solo, e levando em conta as perdas atribuídas ao veranico, são mostradas na Tabela 14, a seguir:

**Tabela 14.** Renda líquida/ha da soja com vários dias de estiagem.

Doses de fósforo [ka/ha]	Sem perda [R\$]	Perda de 20% da produção [R\$]	Perda de 10% da produção [R\$]	Perda de 5% da produção [R\$]	Com irrigação [R\$]
96	21,01	-103,19	- 41,09	-10,04	- 5,99
120	52,73	- 81,62	-14,45	19,14	25,73
240	93,89	- 67,73	13,08	53,48	66,89

A rentabilidade da soja conforme as doses de fósforo aplicadas ao solo, somadas às perdas com o veranico, e com a nova cultivar (Tabela 9), é mostrada na Tabela 15 a seguir:

**Tabela 15.** Renda líquida/ha da soja com a nova cultivar [em R\$].

Doses de fósforo [kg/ha]	Sem perda [R\$]	Perda de 20% da produção [R\$]	Perda de 10% da produção [R\$]	Perda de 5% da produção [R\$]	Com irrigação [R\$]
96	145,21	-3,83	70,69	107,95	118,21
120	186,92	25,73	106,33	146,62	159,92
240	259,40	64,68	162,04	210,72	232,40

A rentabilidade do milho – conforme as doses de fósforo aplicadas ao solo e deduzidas as perdas com o veranico – é mostrada na Tabela 16:

**Tabela 16.** Renda líquida/ha do milho com vários dias de estiagem.

Doses de fósforo [kg/ha]	Sem perda [R\$]	Perda de 40% da produção [R\$]	Perda de 20% da produção [R\$]	Com irrigação [R\$]
50	82,29	- 81,19	0,55	55,29
100	232,69	- 6,81	112,94	205,69
200	500,39	122,07	311,23	473,99
300	525,59	105,46	315,52	498,59
400	529,81	76,26	303,03	502,81

O resultado da execução dos GAs, incluindo o milho e a soja, é mostrado na Tabela 17. Para se evitar riscos de perdas de colheita causadas por veranicos – principalmente com a monocultura – pode-se combinar vários níveis de restrição (10%, 20%, ... 90%) de área plantada. Neste trabalho, estabeleceu-se plantar um máximo de 60% de milho. A perda média anual da produção – causada pelo veranico – também está incluída neste resultado.

**Tabela 17.** Receita líquida (sem irrigação) em virtude do capital de investimento disponível [em mil reais]. Perdas do milho em 23,6%, e soja de 11,8%, por causa de veranico de 13 dias, que ocorre uma vez por ano.

Capital disponível [R\$]	Despesas [R\$]	Receita bruta [R\$]	Receita líquida [R\$]
3.000	2.654	4.327	1.673
2.000	1.998	3.384	1.386
1.000	997	1.692	695
500	497	847	350
100	98	168	70

O resultado da execução dos GAs, incluindo-se os dois produtos agrícolas juntos (o milho e a soja apresentando-se a restrição de área plantada de milho e incluindo-se a irrigação – para que não haja perda da produção das culturas em consequência de veranico – é mostrado na Tabela 18.

**Tabela 18.** Receita líquida (com irrigação) em virtude do capital de investimento disponível [em mil R\$].

<b>Capital disponível [R\$]</b>	<b>Despesa [R\$]</b>	<b>Receita [R\$]</b>	<b>Receita líquida [R\$]</b>
3.000	2.990	5.041	2.051
2.000	1.998	3.447	1.449
1.000	999	1.725	728
500	497	862	365
100	98	170	72

As tabelas A1-a e A1-b mostram os resultados da execução dos GAs para um capital disponível de 2 milhões de reais e quando não existem sistemas de irrigação. As perdas com o veranico acontecem em 11,8% na produção da soja, e em 23,6% na produção do milho.

As tabelas A2-a e A2-b mostram os resultados dos GAs para um capital disponível de 3 milhões de reais, com existência de sistemas de irrigação.

A coluna mais à esquerda identifica os lotes da região deste estudo, com a área total de lavoura ‘entre colchetes’. A coluna área é a área de terra, em hectare, onde é plantado o produto. A coluna dst/ha indica a despesa por hectare desse produto no lote, e a coluna despesa indica a despesa total. A coluna rec./ha indica a receita por hectare, e a coluna receita indica a receita total. A coluna Rd/ha indica a rentabilidade por hectare, e a coluna renda indica a renda líquida.

## Conclusões e sugestões

---



seleção de áreas de desenvolvimento agrícola – para mais de uma cultura – foi operacionalizada, para otimizar a receita líquida da produção total, com a utilização de algoritmos genéticos.

Para isso, foi necessário o reajuste das doses de fertilizantes e de calcário, com base nos sistemas de produção dos respectivos produtos agrícolas, para que os resultados chegassem a valores realizáveis.

A introdução de nova cultivar para a soja também foi observada, uma vez que o rendimento muda com a evolução de pesquisas genéticas. As perdas com o veranico, na Região dos Cerrados, também foram consideradas, uma vez que sua ocorrência não é rara.

Este modelo ficou restrito à aplicação de insumos básicos, como o calcário e os fertilizantes, e mais especificamente dependente dos níveis de fósforo aplicadas ao solo, um nutriente muito importante para o cultivo agrícola nos Cerrados. A outra restrição foi na porcentagem de uso da terra para a lavoura, que foi pré-definido para que se usem apenas os valores de 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% e 100%.

Para que se plantassem as duas culturas, foi estabelecida dentro da função de avaliação, a restrição de se plantar no máximo 60% da área com milho, uma vez que sem tal restrição, os GAs escolheram plantar somente o produto de melhor rentabilidade. Esta última

restrição pode ser definida com outros valores percentuais, sendo que quanto maior for o seu valor, maior será o risco de perda da colheita com o veranico.

Também se experimentaram vários valores de parâmetros para o funcionamento dos GAs, aqui padronizados para serem executados com uma população de 1.000 cromossomos, em 1 milhão de gerações, com valores de 0,05 de porcentagem de cruzamento, e de 0,0001 de porcentagem de mutação.

A variação desses parâmetros resulta em algumas pequenas oscilações na renda total, mas entre as diversas variações, tais valores foram os mais efetivos, tanto nos resultados apresentados quanto no tempo de processamento computacional.

O número de variáveis foi pequeno para o potencial de uso dos algoritmos genéticos, e ele pode ser aumentado:

- No número de novas variáveis que influenciem a produtividade da cultura.
- No número de lotes ou áreas de desenvolvimento agrícola.
- Na maior flexibilidade de escolha do percentual de uso da terra de milho e soja, onde os valores percentuais podem ser aumentados pelo número de divisões.
- Com o aumento do número de culturas.

Muito se tem escrito sobre as vantagens dos GAs em comparação com outros métodos de otimização, e não se tem visto muitas vantagens práticas de uns sobre os outros (Schaffer, 1999).

Para se ter um método de otimização que trabalhe de forma ótima, é necessário se fazer alguns

experimentos com suas configurações ou com os parâmetros de otimização e uma escolha pobre desses parâmetros pode resultar numa má performance de busca.

Neste trabalho, evidenciou-se a possibilidade de se utilizar os algoritmos genéticos para a seleção de áreas adaptativas ao desenvolvimento agrícola para mais de uma cultura agrícola.

Existe um grande potencial de uso deste modelo, com o uso de GAs, em outros tipos de características de solos, de outras regiões macro-agroecológicas. Assim, tendo-se um capital disponível para ser aplicado na cultura de grãos, as rentabilidades resultantes possibilitariam analisar e definir prioridades de plantio em cada região (em termos econômicos).

Assim, a flexibilidade na escolha de áreas plantadas, a incorporação de novas variáveis que determinam a produtividade, o detalhamento das características de solos de diferentes regiões geográficas, a capacidade de administração da produção, e a adição de novas culturas são objetos de estudos futuros.

## Referências bibliográficas

---



BACK, T. **Evolutionary algorithms in theory and practice**. New York: Oxford University Press, 1996. 314 p.

BEASLEY, D.; BULL, D. R.; MARTIN, R. R. An overview of genetic algorithms: Part 1, Fundamentals. **Computing**, v. 15, n. 2, p. 58-69, 1993.

CAMPO. Companhia de Promoção Agrícola. **Mapa de Monitoramento das Áreas do Prodecer Piloto I e II, Município de Iraí de Minas.** [S.l.]: Japan International Cooperation Agency-JICA, 1992/1993. 1 mapa color. Escala 1:20,000.

DARWIN, C. **On the origin of species.** New York: A Mentor Book, 1958. 496 p.

DARWIN, C. **Origem das espécies.** Belo Horizonte: Villa Rica, 1994. 354 p.

DE JONG, K. **The analysis and behaviour of a class of genetic adaptive systems** Michigan: University of Michigan, 1975. Ph.D. Thesis.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Planaltina, DF). **Pesquisa aponta estratégias contra veranico.** Brasília: Embrapa-CPAC, 1984. 2 p. (Embrapa-CPAC. Noticiário, 70).

EMBRAPA. **Relatório do sistema de produção, do Sistema Gerenciador de Padrão Tecnológico, produto Soja, ano agrícola de 1998.** Brasília: Embrapa/SEA/CEE, 1998a. Não publicado.

EMBRAPA. **Relatório do sistema de produção, do Sistema Gerenciador de Padrão Tecnológico, produto Milho, ano agrícola de 1992.** Brasília: Embrapa/SEA/CEE, 1998b. Não publicado.

FNP. **Consultoria e Comércio. Informações Agrícolas.** Disponível: URL: <http://www.fnp.com.br/> Consultado em 6 jul. 2000.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization and machine learning**. Reading: Addison-Wesley, 1989. p. 11-172.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. [S.l.]: MIT Press, 1975.

IBGE. **Área e população estimada de Iraí de Minas, em 1996**. Disponível: URL: <http://www.ibge.gov.br/> Consultado em 7 ago. 2000.

INAGAKI, T.; HOSHI, T.; AKIYAMA, T. **Seleção de grandes áreas adaptativas para desenvolvimento agrícola baseado em dados de imagens de satélite**. [S.l.]: Japan Society of Operations Research, 1986. p. 512-518. Em japonês.

INAGAKI, T.; HOSHI, T. ...[et al.] . Otimização de desenvolvimento agrícola para grandes áreas incluindo construção de canais de irrigação. **Japan Society of System and Control**, v. 31, n. 6, p. 457-464, 1987. Em japonês.

MATSURA, E. E. Departamento de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas. Disponível: URL: <http://www.agr.unicamp.br/das/profmatsura.htm>. Comunicação pessoal em 2000.

MIRANDA, L. N. de; MIELNICZUK, J.; LOBATO, E. Calagem e adubação corretiva. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. CERRADO, 5., 1979, Brasília. **Uso e Manejo**. Brasília: Editerra, 1980.

MITCHELL, M. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: MIT Press, 1977. 209 p.

SCHAFFER, J. D. A practical guide to genetic algorithms. Naval Research Laboratory. Disponível: URL: <http://chem1.nrl.navy.mil/~shaffer/practga.html/> Consultado em 4 jul. 1999.

SILVA, C. M. da. **População de plantas de soja no sistema plantio direto, na região de Dourados-MS.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. 4 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 39).

SOUSA, D. M. G. **Calagem e adubação para culturas da soja no Cerrado.** Brasília: Embrapa-CPAC, 1984. 9 p. (Embrapa-CPAC. Comunicado Técnico, 38).

VILELA, L.; MIRANDA, L. N. de; PERES, J. R. R.; SOUZA, P. I. de M. de; SUHET, A. R.; SPEHAR, C. R.; VARGAS, M. A. T.; VIEIRA, R. S. **A Cultura da soja em solos de Cerrados do Distrito Federal.** 2.ed. Brasília: Embrapa-CPAC, 1978. 16 p. (Embrapa-CPAC. Comunicado Técnico, 2).

WELSTEAD, S. T. **Neural network and fuzzy logic applications in C/C++.** New York: John Wiley & Sons, 1994. 494 p.

WHITLEY, D. **A genetic algorithm tutorial.** Colorado: Department of Computer Science, Colorado University, 1993. (Technical Report CS-93-103).

WOLF, J.M. Probabilidade de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 12, n. único, p. 141-150, 1977.

YAMAMOTO, N.; HOSHI, T. Um estudo de extração de áreas de desenvolvimento agrícola adaptativa usando algoritmos genéticos com PTYPE complexo. **Japan Society of Electronic, Information and Communication**, v. J79-A, n. 3, p. 650-657, March 1996. Em japonês.

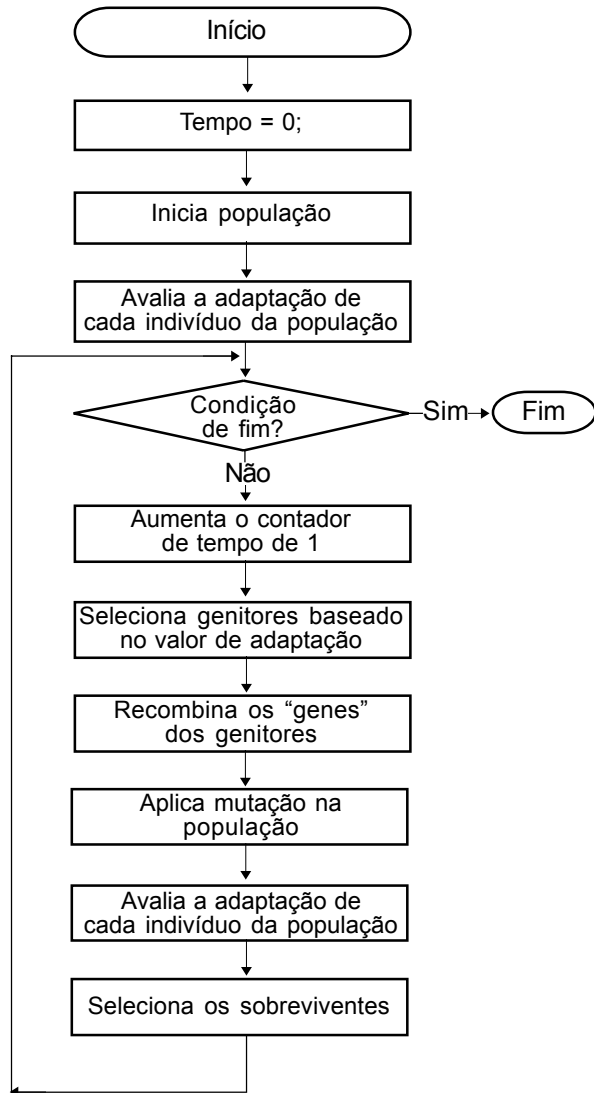


Anexos





**Fig. A1.** Um algoritmo genético simples.



**Tabela A1-a.** Resultado dos GAs para Soja (capital disponível de R\$ 3 milhões).

<b>Lote</b>	<b>nn[a.lav]</b>	<b>área</b>	<b>dsp/ha</b>	<b>despesa</b>	<b>rec./ha</b>	<b>receita</b>	<b>Rd/ha</b>	<b>Renda</b>
Lote 0	[230.0]	92.0	619.03	56930.76	710.85	65398.01	91.82	8447.25
Lote 1	[289.0]	115.6	619.03	71559.87	710.85	82174.02	91.82	10614.15
Lote 2	[230.0]	92.0	619.03	56930.76	710.85	65398.01	91.82	8447.25
Lote 3	[204.5]	81.8	599.99	49079.18	657.27	53764.39	57.28	4685.21
Lote 4	[239.0]	38.2	599.99	22943.62	657.27	25133.87	57.28	2190.25
Lote 5	[240.0]	96.0	619.03	59426.88	710.85	68241.40	91.82	8814.52
Lote 6	[262.0]	104.8	619.03	64874.34	710.85	74496.86	91.82	9622.52
Lote 7	[256.0]	102.4	619.03	63388.67	710.85	72790.83	91.82	9402.16
Lote 8	[262.0]	104.8	619.03	64874.34	710.85	74496.86	91.82	9622.52
Lote 9	[265.0]	106.0	619.03	65617.18	710.85	75349.88	91.82	9732.70
Lote10	[210.0]	84.0	599.99	50399.16	657.27	55210.38	57.28	4811.22
Lote11	[216.0]	86.4	599.99	51839.14	657.27	56787.82	57.28	4948.68
Lote12	[223.0]	89.2	619.03	55217.47	710.85	63407.63	91.82	8190.16
Lote13	[211.0]	84.4	619.03	52246.13	710.85	59995.56	91.82	7749.43
Lote14	[226.0]	90.4	619.03	55960.31	710.85	64260.65	91.82	8300.34
Lote15	[244.0]	97.6	619.03	60417.32	710.85	69378.76	91.82	8961.43
Lote16	[262.0]	104.8	599.99	62878.95	657.27	68881.52	57.28	6002.57
Lote17	[255.0]	102.0	619.03	63141.06	710.85	72506.48	91.82	9365.43
Lote18	[292.0]	116.8	619.03	72302.70	710.85	83027.04	91.82	10724.33
Lote19	[240.0]	38.4	599.99	23039.62	657.27	25239.03	57.28	2199.42
Lote20	[210.0]	71.4	619.03	44198.74	710.85	50754.54	91.82	6555.80

**Tabela A1-b.** Resultado dos GAs para Milho (capital disponível de R\$ 2 milhões).

Lote nn[la.lav] :	area	dsp/ha	despesa	rec./ha	receita	Rd/ha	Renda
Lote 0 [230.0] :	138.0	445.40	61465.34	722.59	99716.87	277.18	38251.53
Lote 1 [289.0] :	173.4	445.40	77232.53	722.59	125296.41	277.18	48063.88
Lote 2 [230.0] :	138.0	445.40	61465.34	722.59	99716.87	277.18	38251.53
Lote 3 [204.5] :	122.7	445.40	54650.70	722.59	88661.30	277.18	34010.60
Lote 4 [239.0] :	57.4	445.40	25548.20	722.59	41447.54	277.18	15899.33
Lote 5 [240.0] :	144.0	445.40	64137.74	722.59	104052.38	277.18	39914.64
Lote 6 [262.0] :	157.2	445.40	70017.04	722.59	113590.52	277.18	43573.48
Lote 7 [256.0] :	153.6	445.40	68413.59	722.59	110989.21	277.18	42575.62
Lote 8 [262.0] :	157.2	445.40	70017.04	722.59	113590.52	277.18	43573.48
Lote 9 [265.0] :	159.0	445.40	70818.76	722.59	114891.17	277.18	44072.41
Lote 10 [210.0] :	126.0	445.40	56120.53	722.59	91045.84	277.18	34925.31
Lote 11 [216.0] :	129.6	445.40	57723.97	722.59	93647.15	277.18	35923.18
Lote 12 [223.0] :	133.8	445.40	59594.66	722.59	96682.01	277.18	37087.36
Lote 13 [211.0] :	126.6	445.40	56387.77	722.59	91479.38	277.18	35091.62
Lote 14 [226.0] :	135.6	445.40	60396.38	722.59	97982.66	277.18	37586.29
Lote 15 [244.0] :	146.4	445.40	65206.70	722.59	105786.59	277.18	40579.88
Lote 16 [262.0] :	157.2	445.40	70017.04	722.59	113590.52	277.18	43573.48
Lote 17 [255.0] :	153.0	445.40	68146.35	722.59	110555.66	277.18	42409.30
Lote 18 [292.0] :	175.2	445.40	78034.26	722.59	126597.06	277.18	48562.81
Lote 19 [240.0] :	57.6	445.40	25655.10	722.59	41620.95	277.18	15965.86
Lote 20 [210.0] :	107.1	445.40	47702.45	722.59	77388.96	277.18	29686.51

**Tabela A2-a.** Resultado dos GAs para Soja (capital disponível de R\$ 3 milhões).

Lote	nn[la,lv] :	área	dsp/ha	despesa	rec./ha	receita	Rd/ha	Renda
Lote 0	[230.0] :	92.0	714.22	65708.23	973.62	89573.04	259.40	23864.80
Lote 1	[289.0] :	115.6	714.22	82563.83	973.62	112550.47	259.40	29986.64
Lote 2	[230.0] :	92.0	714.22	65708.23	973.62	89573.04	259.40	23864.80
Lote 3	[204.5] :	81.8	619.03	50636.65	805.95	65926.71	186.92	15290.06
Lote 4	[239.0] :	95.6	714.22	68279.43	973.62	93078.07	259.40	24798.64
Lote 5	[240.0] :	96.0	714.22	68565.12	973.62	93467.52	259.40	24902.40
Lote 6	[262.0] :	104.8	619.03	64874.34	805.95	84463.56	186.92	19589.22
Lote 7	[256.0] :	102.4	714.22	73136.12	973.62	99698.69	259.40	26562.56
Lote 8	[262.0] :	104.8	619.03	64874.34	805.95	84463.56	186.92	19589.22
Lote 9	[265.0] :	106.0	599.99	63598.94	745.20	78991.20	145.21	15392.26
Lote10	[210.0] :	84.0	714.22	59994.48	973.62	81784.08	259.40	21789.60
Lote11	[216.0] :	86.4	714.22	61708.61	973.62	84120.77	259.40	22412.16
Lote12	[223.0] :	89.2	714.22	63708.42	973.62	86846.90	259.40	23138.48
Lote 13	[211.0] :	84.4	714.22	60280.17	973.62	82173.53	259.40	21893.36
Lote 14	[226.0] :	90.4	714.22	64565.49	973.62	88015.25	259.40	23449.76
Lote 15	[244.0] :	97.6	714.22	69707.87	973.62	95025.31	259.40	25317.44
Lote 16	[262.0] :	104.8	619.03	64874.34	805.95	84463.56	186.92	19589.22
Lote 17	[255.0] :	102.0	714.22	72850.44	973.62	99309.24	259.40	26458.80
Lote 18	[292.0] :	116.8	619.03	72302.70	805.95	94134.96	186.92	21832.26
Lote 19	[240.0] :	96.0	619.03	59426.88	805.95	77371.20	186.92	17944.32
Lote 20	[210.0] :	84.0	619.03	51998.52	805.95	67699.80	186.92	15701.28

**Tabela A2-b. Resultado dos GAs para Milho (capital disponível de R\$ 3 milhões).**

Lote	nn[a.lav]	área	dsp/ha	despesa	rec./ha	receita	Rd/ha	Renda
Lote 0	[230.0]	138.0	524.73	72412.88	1050.32	144943.98	525.59	72531.10
Lote 1	[289.0]	173.4	445.40	77232.53	945.79	164000.53	500.39	86768.01
Lote 2	[230.0]	138.0	445.40	61465.34	945.79	130519.46	500.39	69054.12
Lote 3	[204.5]	122.7	604.06	74118.28	1133.87	139125.45	529.81	65007.18
Lote 4	[239.0]	143.4	524.73	75246.42	1050.32	150615.70	525.59	75369.27
Lote 5	[240.0]	144.0	604.06	86984.78	1133.87	163276.83	529.81	76292.04
Lote 6	[262.0]	157.2	445.40	70017.04	945.79	148678.69	500.39	78661.66
Lote 7	[256.0]	153.6	604.06	92783.77	1133.87	174161.95	529.81	81378.18
Lote 8	[262.0]	157.2	524.73	82487.71	1050.32	165110.09	525.59	82622.38
Lote 9	[265.0]	159.0	604.06	96045.70	1133.87	180284.83	529.81	84239.13
Lote 10	[210.0]	126.0	524.73	66116.11	1050.32	132340.16	525.59	66224.05
Lote 11	[216.0]	129.6	604.06	78286.30	1133.87	146949.14	529.81	68662.84
Lote 12	[223.0]	133.8	604.06	80823.36	1133.87	151711.39	529.81	70888.02
Lote 13	[211.0]	126.6	445.40	56387.77	945.79	119737.42	500.39	63349.65
Lote 14	[226.0]	135.6	524.73	71153.53	1050.32	142423.22	525.59	71269.70
Lote 15	[244.0]	146.4	524.73	76820.62	1050.32	153766.66	525.59	76946.04
Lote 16	[262.0]	157.2	524.73	82487.71	1050.32	165110.09	525.59	82622.38
Lote 17	[255.0]	153.0	524.73	80283.84	1050.32	160698.77	525.59	80414.92
Lote 18	[292.0]	175.2	445.40	78034.26	945.79	165702.97	500.39	87668.71
Lote 19	[240.0]	144.0	524.73	75561.27	1050.32	151245.89	525.59	75684.63
Lote 20	[210.0]	126.0	524.73	66116.11	1050.32	132340.16	525.59	66224.05



## **Títulos lançados:**

Texto para Discussão, 1  
A Pesquisa e o Problema de Pesquisa:  
Quem os Determina?

Texto para Discussão, 2  
Projeção da Demanda Regional  
de Grãos no Brasil – 1996 a 2005

Texto para Discussão, 3  
Impacto das Cultivares de Soja da Embrapa  
e Rentabilidade dos Investimentos  
em Melhoramento

Texto para Discussão, 4  
Análise e Gestão de Sistemas  
de Inovação em Organizações  
Públicas de P&D no Agronegócio

Texto para Discussão, 5  
Política Nacional de C&T  
e o Programa de Biotecnologia do MCT

Texto para Discussão, 6  
Populações Indígenas e  
Resgate de Tradições Agrícolas

*Produção editorial, impressão e acabamento*  
***Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia***