

## 6 Estudo de Casos

### 6.1 Caso 1 - Modelo Xadrez

A fim de verificar a validade do modelo de solução proposto no trabalho, criou-se uma prova de conceito que consiste em um modelo de simulação de um reservatório sintético. O modelo de simulação, apelidado de modelo Xadrez, é constituído por uma malha tridimensional com 21 x 21 x 5 blocos (total de 2205 blocos). Todos os blocos têm as mesmas dimensões, não há blocos nulos nem falhas no modelo e, à exceção do mapa de permeabilidade, todas as propriedades do reservatório são homogêneas.

O mapa de permeabilidade ( $k$ ), que é a propriedade de interesse para o ajuste, varia ao longo do reservatório, mas em um mesmo bloco as permeabilidades nas direções  $i$  e  $j$  são iguais ( $k_x = k_y$ ) e na direção  $k$  ( $k_z$ ) é igual a 30% da permeabilidade em  $i$  e  $j$ . A malha de drenagem é composta por 13 poços verticais completados em todas as camadas do reservatório, sendo 9 produtores e 4 injetores. A distribuição da permeabilidade e a localização dos poços no reservatório estão ilustradas na Figura 6.1.

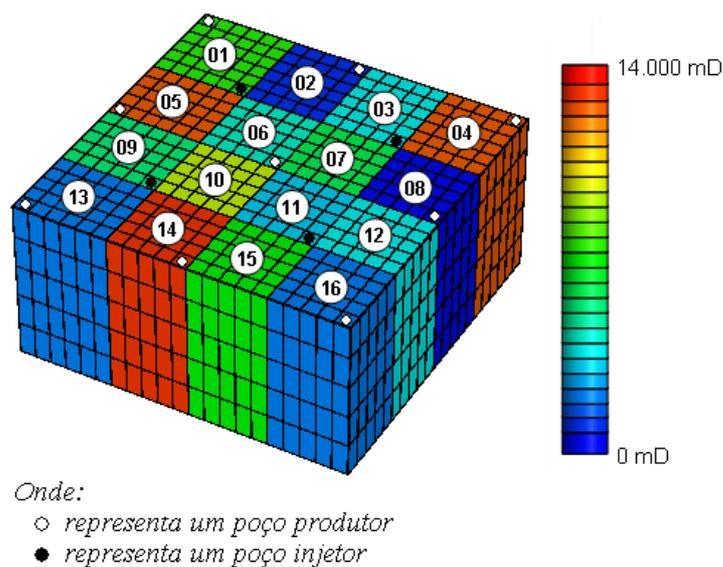


Figura 6.1: Mapa de permeabilidade e posições dos poços do modelo Xadrez

Na Tabela 6.1 estão listados os valores de permeabilidade para as regiões identificadas na Figura 6.1. Vale destacar que os valores de permeabilidade se estendem a todas as camadas do modelo.

<i>Região</i>	<i>Permeabilidade (mD)</i>	<i>Região</i>	<i>Permeabilidade (mD)</i>
01	4673	02	1201
03	2655	04	7430
05	7450	06	3000
07	3750	08	1100
09	3500	10	6000
11	2400	12	2655
13	1700	14	7900
15	4500	16	1700

Tabela 6.1: Valores de permeabilidade em cada região do modelo Xadrez

### 6.1.1 Preparação

Para a realização dos experimentos, o modelo Xadrez foi considerado o caso alvo, ou seja, o modelo que representa a realidade que deve ser alcançada pelo processo de otimização. O caso base, isto é, o caso de partida do processo de otimização, foi gerado a partir do alvo variando-se de até 80%, para mais ou para menos, os valores de permeabilidade em todos os blocos do modelo. Além disso, foram criados alguns canais de alta permeabilidade e barreiras de baixa permeabilidade para, respectivamente, facilitar e dificultar a chegada da frente de água nos poços produtores.

Essas medidas foram tomadas a fim de obter um caso base em que tanto o mapa de permeabilidade quanto as taxas de produção de água dos poços produtores estivessem bem distantes do desejado. A Figura 6.2 mostra a distribuição dos valores de permeabilidade em todas as camadas do caso base. Sabendo-se que a mesma escala de cores é usada nos casos base e alvo, é possível comparar os respectivos mapas de permeabilidade e observar quão diferentes eles são. Na camada 1 estão destacados os canais que favorecem o escoamento de fluidos entre alguns pares de poços produtores e injetores e também as barreiras que dificultam esse escoamento. É possível observar também que esses canais e essas barreiras se estendem a todas as camadas do modelo de simulação.

O histórico de produção considerado compreende um período de 10 anos e a previsão deve ser efetuada para os 5 anos seguintes. Nos 10 primeiros anos (período histórico) os poços produtores são controlados pela vazão de óleo

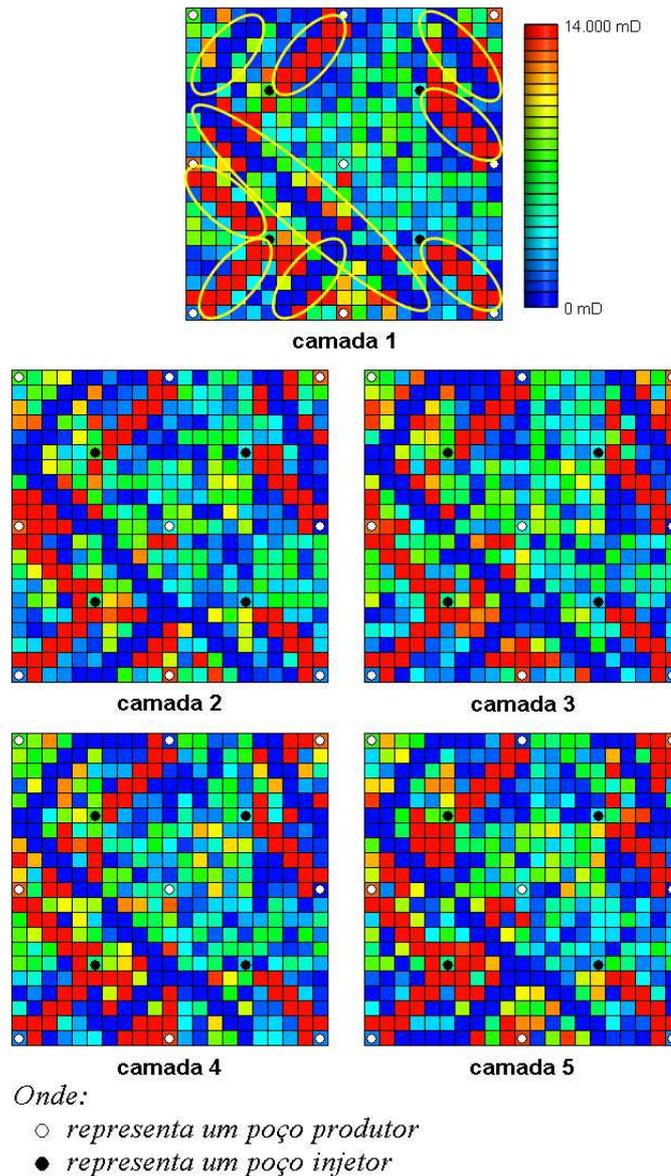


Figura 6.2: Mapa de permeabilidade de cada camada do caso base do modelo Xadrez

e nos 5 anos seguintes (período de previsão) são controlados pela vazão de líquido (óleo e água). Tanto no período de histórico quanto no de previsão os poços produtores também são controlados pela pressão de fundo. Na Figura 6.3 estão ilustradas as curvas de produção de água (histórico e previsão) de todos os poços para os casos base e alvo. Os poços estão identificados de acordo com a sua posição no modelo de simulação. Portanto, o poço identificado por *PROD\_1-1* está localizado no bloco  $i = 1$  e  $j = 1$  do modelo, ou seja, no canto superior esquerdo do modelo. O poço *PROD\_21-21*, por sua vez, está localizado no canto inferior direito do modelo. Observa-se que há diferenças consideráveis não só nas tendências das curvas dos casos base e alvo, mas

também nos instantes de tempo em que os poços começam a produzir água. Essas características contribuem para o aumento da complexidade do problema do ajuste de histórico.

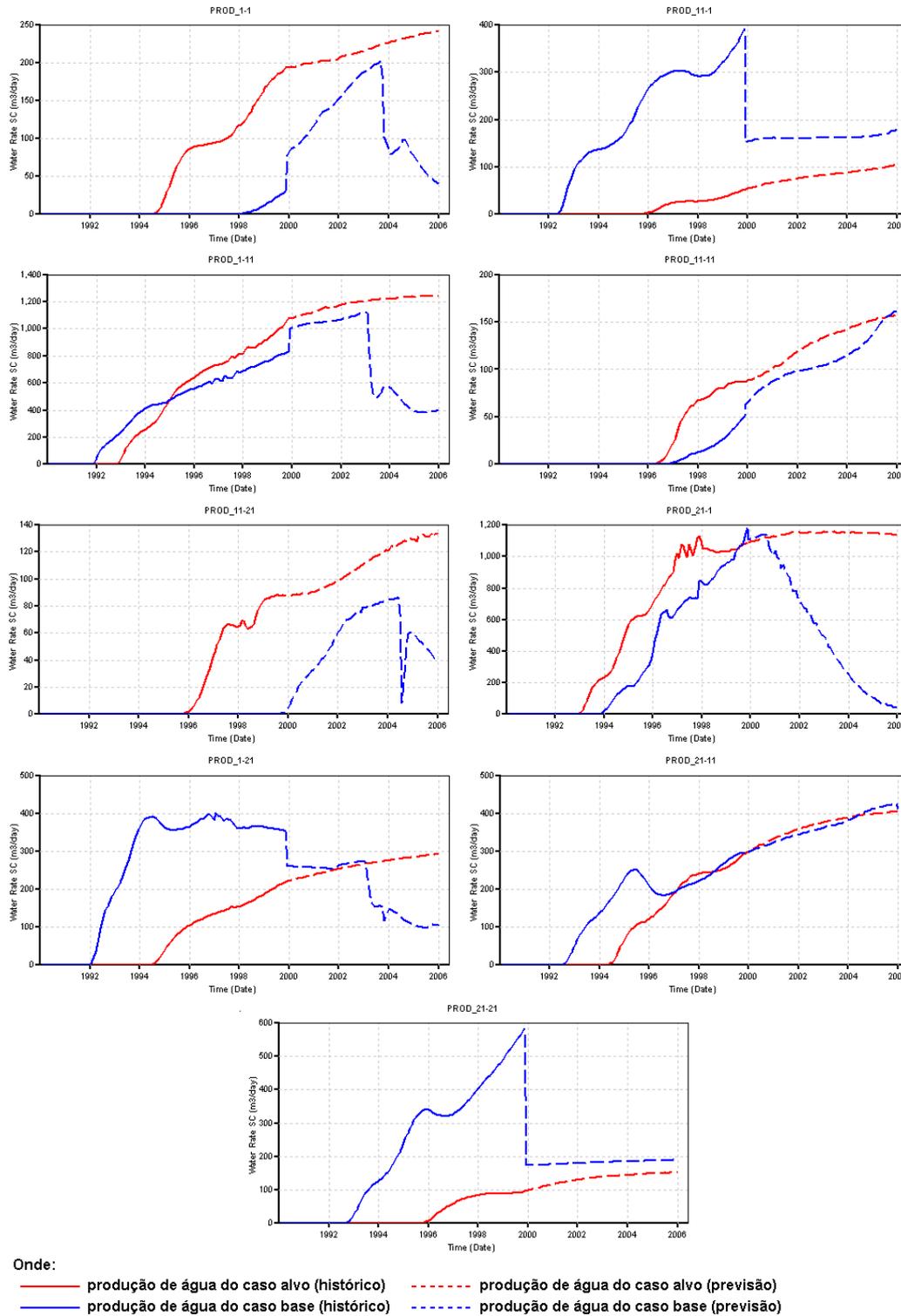


Figura 6.3: Curvas de produção de água dos casos alvo e base do modelo Xadrez

Para avaliar o modelo de solução, além da função de avaliação dada pela Equação 5-1, foi estabelecida outra medida de desempenho. Essa medida, dada pela Equação 6-1, é aplicada somente após o término do processo evolutivo e mede a diferença entre o mapa alvo e o mapa estimado. Dessa forma é possível avaliar não só a capacidade do modelo de solução de ajustar as curvas de produção, mas também a de alcançar um mapa cujos valores da propriedade de interesse estejam de acordo com o desejado.

$$RMSE_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_a(i) - p_e(i))^2}{n}} \quad (6-1)$$

Onde:

$RMSE_m$  é o erro entre os mapas da propriedade de interesse;

$p_a$  é o valor alvo da propriedade de interesse;

$p_e$  é o valor estimado da propriedade de interesse;

$n$  é o número de blocos do modelo de simulação do reservatório.

Para as simulações com o algoritmo *FILTERSIM* foi definida a imagem de treinamento ilustrada na Figura 6.4, que descreve fielmente o padrão de comportamento dos valores de permeabilidade ao longo do caso alvo. Esses valores foram replicados na horizontal e na vertical a fim de obter uma quantidade maior de repetições dos padrões existentes. Conforme mencionado, a finalidade do modelo Xadrez é servir como prova de conceito para o modelo de solução proposto. Por isso, criou-se um ambiente ideal para a realização dos experimentos, ou seja, criou-se uma imagem de treinamento ideal. Dessa forma é possível avaliar o desempenho do modelo de solução sem que esse desempenho seja influenciado pela utilização de uma imagem de treinamento que não seja tão representativa.

Obviamente, em uma situação prática, a imagem de treinamento ideal não é conhecida. Nesse caso, a imagem deve ser construída por um especialista com base em seus conhecimentos sobre os padrões esperados das heterogeneidades geológicas da propriedade de interesse. Para isso, o especialista pode se valer de todo tipo de informação que se tenha a respeito do reservatório.

### 6.1.2 Avaliação

Antes de avaliar o modelo de solução, foram medidos o  $RMSE_p$  e o  $RMSE_m$  do caso base a fim de que estes valores fossem tomados como

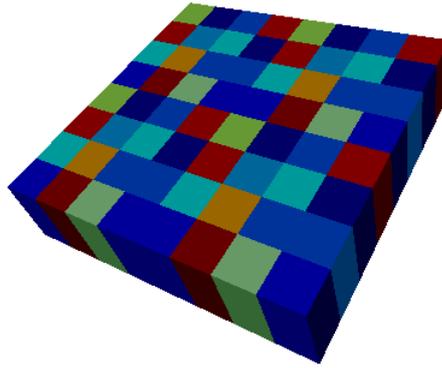


Figura 6.4: Imagem de treinamento para o modelo Xadrez

referências para a normalização dos resultados dos experimentos realizados durante o processo de avaliação. Os valores obtidos para o caso base são apresentados na Tabela 6.2.

	$RMSE_p (m^3)$		$RMSE_m (mD)$
	<i>Histórico</i>	<i>Previsão</i>	
<i>Caso base</i>	1239,92	996,55	4945,49

Tabela 6.2:  $RMSE_p$  e  $RMSE_m$  do caso base do modelo Xadrez

O processo de avaliação foi composto por 3 etapas. A primeira consistiu em identificar o potencial de reconstrução do mapa de permeabilidade do caso alvo, a partir do caso base, usando apenas o princípio da simulação sequencial que está por trás do algoritmo *FILTERSIM*. Para isso, foi estabelecido um procedimento que, inicialmente, anula blocos do caso base segundo uma taxa de anulação previamente estabelecida e, em seguida, reconstrói o caso base usando apenas o algoritmo *FILTERSIM*. Este procedimento foi executado para 4 valores diferentes de taxas de anulação: 30%, 50%, 70% e 100%. As variações aplicadas à taxa de anulação tiveram a finalidade de verificar a sensibilidade do algoritmo *FILTERSIM* quanto à anulação da propriedade em diferentes quantidades de blocos do modelo do reservatório.

Para cada valor de taxa de anulação foram geradas 10 realizações de mapas com blocos anulados e, para cada um desses mapas, foram geradas 10 realizações de mapas reconstruídos com o *FILTERSIM*. Portanto, para cada taxa de anulação foram geradas 100 realizações de mapas de permeabilidade, num total de 400 realizações para todas as taxas de anulação. Para todas as realizações mediu-se o  $RMSE_p$  (histórico e previsão) e o  $RMSE_m$ , tanto absoluto quanto percentual, a fim de avaliar o desempenho do *FILTERSIM* desacoplado do algoritmo genético. Com o intuito de identificar o melhor

resultado para cada taxa de anulação, atribuiu-se a mesma importância aos 3 erros medidos. Dessa forma, a realização com a menor soma dos 3 erros foi considerada a melhor. Com base nesse critério, os melhores resultados obtidos para as diferentes taxas de anulação estão ilustrados na Tabela 6.3. Vale lembrar que os erros foram normalizados de acordo com os valores obtidos para o caso base (Tabela 6.2).

	$RMSE_p$		$RMSE_m$
	<i>Histórico</i>	<i>Previsão</i>	
30%	0,72	0,20	0,88
50%	0,47	0,14	0,74
70%	0,36	0,12	0,61
100%	0,29	0,09	0,36

Tabela 6.3: Melhores resultados obtidos na 1ª etapa de avaliação para o modelo Xadrez

Os resultados mostram que o desempenho do *FILTERSIM* é sensivelmente afetado pelas variações impostas à taxa de anulação. À exceção da variação entre 50% e 70%, para as variações entre 30% e 50% e entre 70% e 100% as diferenças nos resultados obtidos foram bastante acentuadas. Os resultados sugerem que, quanto maior a taxa de anulação, melhor é o desempenho, tanto em termos de  $RMSE_p$  quanto  $RMSE_m$ . Esse comportamento se justifica pelo fato de o caso base ser um modelo muito distorcido em relação ao caso alvo. Por isso, os melhores resultados são alcançados quando se anula uma maior quantidade de blocos do modelo, ou seja, quando se dá uma liberdade maior ao algoritmo para recompletar corretamente os blocos do modelo. Logo, em situações em que o caso base está muito desajustado em relação ao caso alvo, vale a pena estabelecer taxas de anulação mais elevadas.

A segunda etapa da avaliação consistiu em verificar a capacidade do modelo de solução de reconstruir o mapa de permeabilidade do caso alvo a partir do próprio alvo. Para isso, a população inicial do algoritmo genético foi gerada a partir do próprio modelo alvo considerando as mesmas taxas de anulação usadas na primeira etapa da avaliação. Assim como na primeira etapa, variou-se a taxa de anulação a fim de verificar a sensibilidade do modelo de solução em relação a esse parâmetro. Para cada taxa de anulação foram realizados 10 experimentos, perfazendo um total de 40 experimentos. Os melhores resultados obtidos para todas as taxas de anulação são exibidos na Tabela 6.4.

A partir dos resultados observa-se que o modelo de solução proposto apresenta uma baixa sensibilidade às variações aplicadas à taxa de anulação,

	$RMSE_p$		$RMSE_m$
	Histórico	Previsão	
30%	0,02	0,01	0,10
50%	0,02	0,02	0,10
70%	0,02	0,01	0,12
100%	0,03	0,02	0,22

Tabela 6.4: Melhores resultados obtidos na 2ª etapa de avaliação para o modelo Xadrez

pois as diferenças de desempenho entre os melhores resultados para todas as taxas de anulação são bastante pequenas. Mesmo pequenas, nota-se que, para taxas maiores, o resultado é ligeiramente pior, principalmente em relação ao  $RMSE_m$ . Esse comportamento contrário ao observado na primeira etapa da avaliação se justifica pelo fato de o processo de otimização partir do próprio caso alvo. Logo, quanto maior a quantidade de blocos mantidos fixos no modelo do reservatório, menores são as chances de o *FILTERSIM* preencher os blocos anulados com valores incorretos.

Outra observação importante diz respeito aos resultados obtidos. Apesar de alcançar valores de  $RMSE_p$  e  $RMSE_m$  considerados bastante baixos, o modelo de solução não foi capaz, em nenhum dos experimentos realizados, de reconstruir totalmente o modelo alvo partindo do próprio alvo. Assim, essa etapa da avaliação evidencia que, mesmo para experimentos conduzidos em situação ideal, há limites impostos aos valores de erro que não puderam ser ultrapassados pelo processo de otimização.

A terceira e última etapa da avaliação consistiu em verificar o potencial de reconstrução do mapa de permeabilidade do caso alvo, a partir do caso base, usando o modelo de solução proposto. Para isso, foram realizados 50 experimentos em que a taxa de anulação da população inicial foi fixada em 70%. Conforme observado na primeira etapa da avaliação, vale a pena estabelecer uma taxa de anulação mais alta, uma vez que o processo de otimização parte de um caso base bastante desajustado em relação ao alvo. A não utilização de uma taxa de anulação de 100%, se baseia no princípio de que o caso base, por mais desajustado que esteja, sempre contém informação útil que pode ser aproveitada pelo processo de otimização. Tomando novamente os valores da Tabela 6.2 como referência, o melhor resultado obtido nessa sequência de experimentos é apresentado na Tabela 6.5. Na Figura 6.5 são apresentadas as curvas de produção de água (histórico e previsão) de todos os poços para os casos otimizado e alvo e na Figura 6.6 são apresentadas todas as camadas do mapa de permeabilidade resultante.

	$RMSE_p$		$RMSE_m$
	Histórico	Previsão	
<i>Caso otimizado</i>	0,03	0,02	0,24

Tabela 6.5: Melhor resultado obtido na 3ª etapa de avaliação para o modelo Xadrez

Os resultados mostram que o acoplamento do *FILTERSIM* com o algoritmo genético proporciona ganhos de desempenho consideráveis em relação aos resultados obtidos utilizando apenas o *FILTERSIM*. Comparando os resultados da Tabela 6.3, especificamente os obtidos com taxa de anulação de 100%, com os resultados da Tabela 6.5, são observadas diminuições de 22%, 8% e 16% nos valores de  $RMSE_p$  (histórico e previsão) e  $RMSE_m$ , respectivamente. Isso mostra que o modelo de solução é capaz de gerar realizações que ajustam melhor tanto as curvas de produção quanto as características geológicas da propriedade de interesse. É importante observar também que os resultados alcançados estão muito próximos do que foi estabelecido como limite na segunda etapa da avaliação. As diferenças entre os valores da Tabela 6.5 e os da Tabela 6.4 (taxa de anulação de 30%) são praticamente desprezíveis.

As configurações do algoritmo genético utilizado nos experimentos estão listados na Tabela 6.6. O “Número de avaliações” indica a quantidade de chamadas ao módulo de avaliação, ou seja, a quantidade de vezes que o simulador *IMEX* é executado. O cálculo do número de simulações é dado pela Equação 6-2, que leva em consideração os percentuais de indivíduos transferidos entre gerações (“Taxa de steady state”) e entre rodadas (“Taxa de steady state (entre rodadas)”).

$$n = (g - 1) \cdot p(1 - ss) \cdot r + p(1 - ssr) \cdot (r - 1) + p \quad (6-2)$$

Onde:

- $n$  é o número de simulações;
- $g$  é o número de gerações;
- $p$  é o tamanho da população;
- $ss$  é a taxa de *steady state*;
- $r$  é o número de rodadas;
- $ssr$  é a taxa de *steady state* entre rodadas.

Os operadores de cruzamento e de mutação usam taxas adaptativas que estão limitadas pelos valores indicados. Os outros parâmetros apresentados na

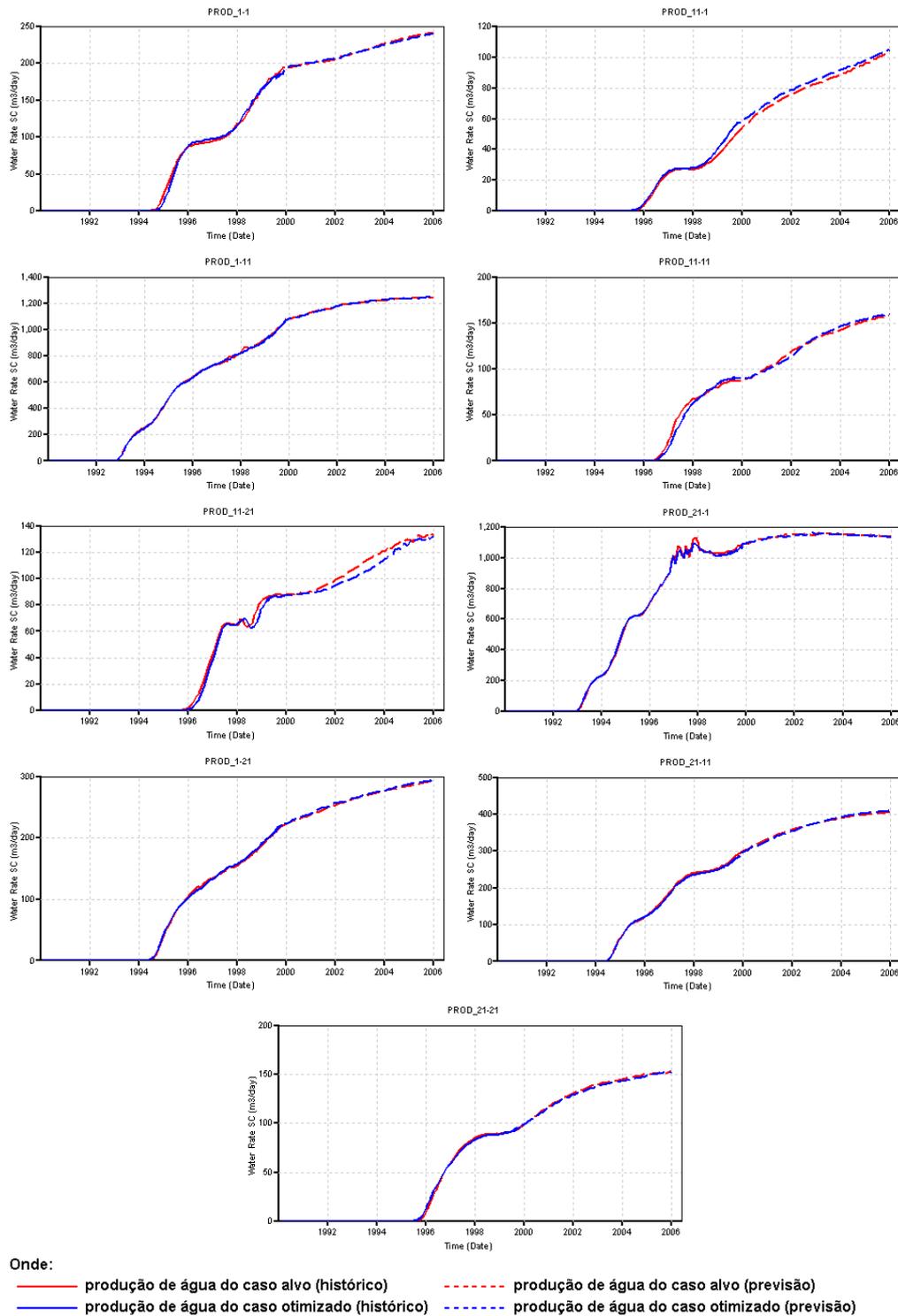


Figura 6.5: Curvas de produção de água dos casos alvo e otimizado do modelo Xadrez

Tabela 6.6 são autoexplicativos.

Na Figura 6.7 a curva de evolução do algoritmo genético mostra a avaliação do melhor indivíduo a cada geração ao longo de todas as rodadas. As linhas pontilhadas verticais simbolizam a transição de uma rodada para outra

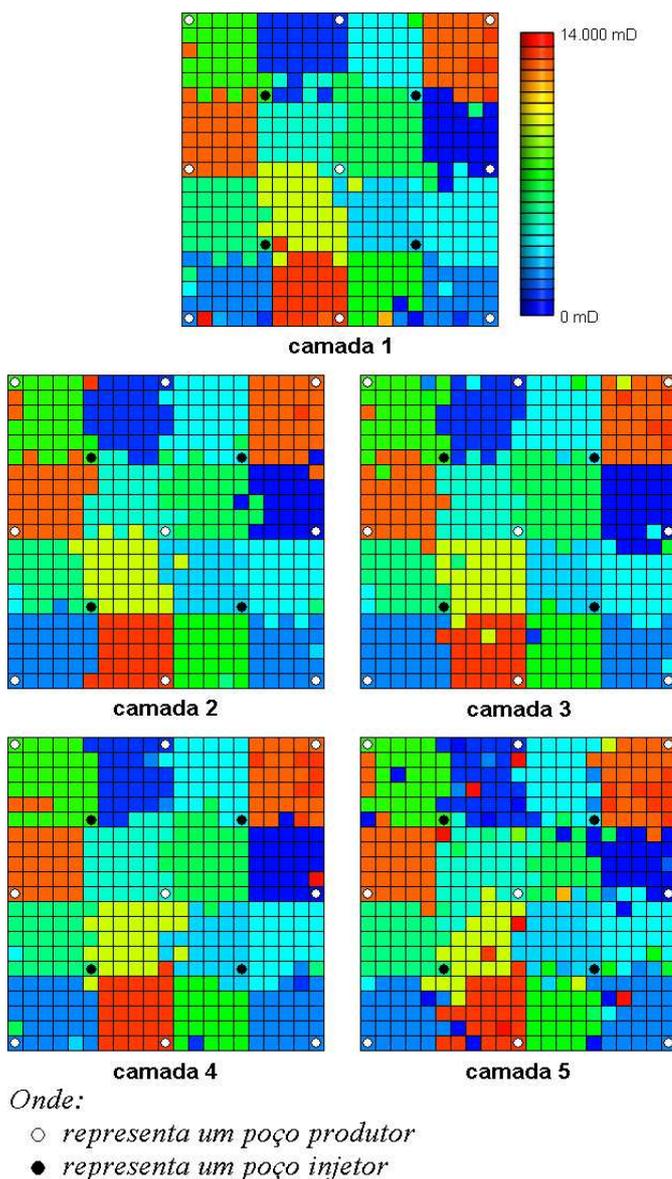


Figura 6.6: Mapa de permeabilidade do caso otimizado do modelo Xadrez

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Tamanho da população</i>	<i>70</i>
<i>Número de gerações</i>	<i>30</i>
<i>Taxa de steady state</i>	<i>0,20</i>
<i>Taxa de cruzamento</i>	<i>0,85 - 0,50</i>
<i>Taxa de mutação</i>	<i>0,08 - 0,25</i>
<i>Número de rodadas</i>	<i>10</i>
<i>Taxa de steady state (entre rodadas)</i>	<i>0,10</i>
<i>Número de avaliações</i>	<i>16877</i>

Tabela 6.6: Parâmetros do algoritmo genético para o modelo Xadrez

durante o processo de evolução.

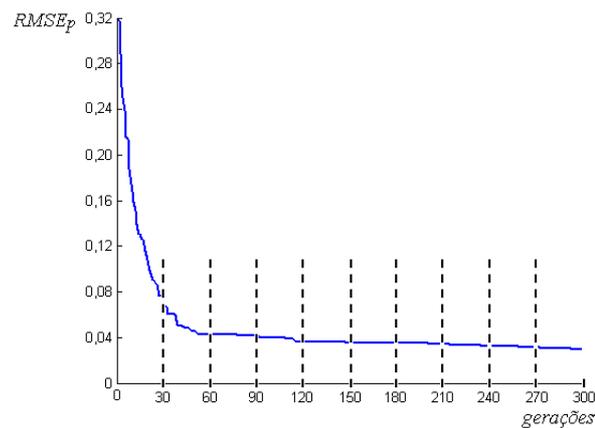


Figura 6.7: Curva de evolução do algoritmo genético para o modelo Xadrez

Nota-se que as reduções mais significativas no valor de avaliação acontecem nas duas primeiras rodadas e praticamente se estabilizam nas rodadas seguintes. Mesmo com pequenas variações no valor de avaliação, é interessante permitir a continuidade da evolução por mais rodadas. Com isso o modelo de solução tem maior flexibilidade para encontrar soluções que, embora apresentem valores próximos de  $RMSE_p$ , podem apresentar valores de  $RMSE_m$  sensivelmente diferentes.

## 6.2

### Caso 2 - Modelo PUNQ-S3

A segunda etapa do estudo consiste em verificar a validade do modelo de solução em um modelo de reservatório com características mais próximas das de uma situação real. O modelo utilizado, conhecido como PUNQ-S3, é baseado em um estudo realizado em um campo real e foi desenvolvido no contexto de um projeto denominado PUNQ (*Production forecasting with UNcertainty Quantification*), do qual participam companhias petrolíferas, institutos de pesquisa e universidades da União Europeia. Uma das finalidades do modelo é permitir a comparação entre diferentes estratégias para o ajuste de histórico ([77], [78]).

O modelo PUNQ-S3 é composto por 19 x 28 x 5 blocos (total de 2660 blocos), dos quais 1761 estão ativos. Há 10 poços produtores verticais e nenhum poço injetor, devido à existência de um intenso aquífero nas regiões norte e oeste, que se encarrega de manter a pressão do reservatório. Em relação ao modelo original, o PUNQ-S3 foi ligeiramente modificado para que todos os poços entrassem em atividade no início do período de produção. A Figura 6.8 mostra como os poços estão distribuídos pelo reservatório e a Figura 6.9 mostra

a distribuição das completações de cada poço ao longo das camadas. Em [79] há uma descrição mais detalhada sobre o modelo PUNQ-S3 e estão disponíveis os conjuntos de dados para a sua construção.

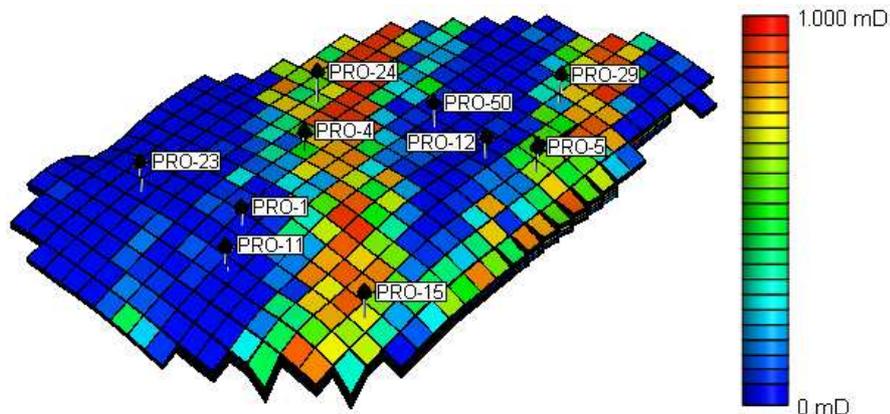


Figura 6.8: Distribuição dos poços produtores no modelo PUNQ-S3

Assim como no modelo Xadrez, a propriedade de interesse aqui também é a permeabilidade ( $k$ ). No entanto, o modelo PUNQ-S3 apresenta uma característica peculiar que é a presença de duas camadas com permeabilidades muito baixas. As camadas 2 e 4 do reservatório apresentam essa característica e, portanto, podem dificultar a transferência de fluidos entre as camadas 1, 3 e 5. Por isso, nesse estudo, o interesse do ajuste está voltado apenas para a permeabilidade na direção  $k$  ( $k_z$ ), enquanto a permeabilidade horizontal ( $k_x$  e  $k_y$ ) é mantida inalterada. As distribuições dos valores de permeabilidade vertical ( $k_z$ ) e dos poços em todas as camadas do reservatório estão ilustradas na Figura 6.9.

### 6.2.1 Preparação

O procedimento de preparação dos casos base e alvo do modelo PUNQ-S3 é semelhante ao procedimento aplicado ao modelo Xadrez. O modelo descrito na seção anterior foi considerado o caso alvo e o caso base foi gerado a partir do alvo variando-se os valores de permeabilidade de todos os blocos na direção  $k$  ( $k_z$ ). Porém, no modelo PUNQ-S3 a variação aplicada aos valores foi de exatamente -80% ou 80%, e não de algum valor compreendido entre -80% e 80%, como no modelo Xadrez. Com isso foi possível gerar um caso base em que as características geológicas estivessem ainda mais distantes das do caso alvo. Além disso, em cada camada, também foram criados alguns canais de alta permeabilidade e barreiras de baixa permeabilidade a fim de alterar a chegada da frente de água nos poços. A Figura 6.10 mostra a distribuição dos valores

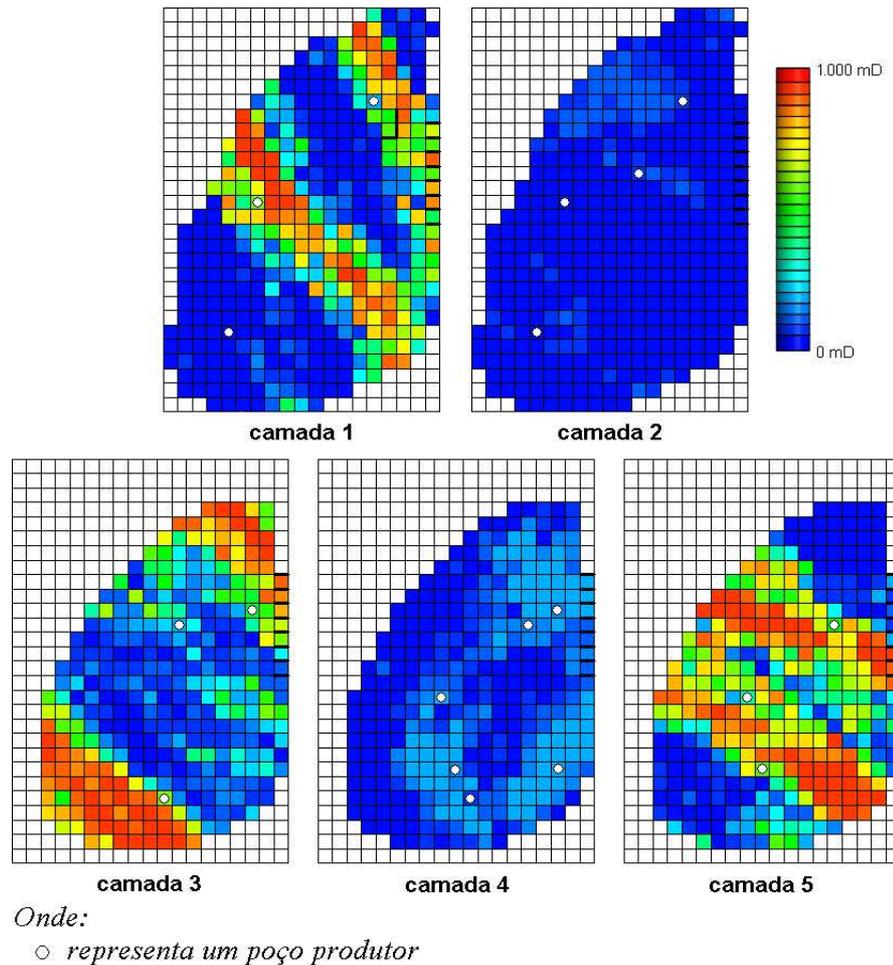


Figura 6.9: Mapa de permeabilidade vertical de cada camada do modelo PUNQ-S3

de permeabilidade em todas as camadas do caso base. Visualmente é possível observar as diferenças entre os casos base e alvo (Figura 6.9).

O histórico de produção corresponde a um período de 13 anos e deve-se prever a produção para os próximos 11 anos. Na Figura 6.11 são apresentadas as curvas de produção de água, de todos os poços, para os casos base e alvo.

Nota-se que, apesar das modificações drásticas aplicadas ao alvo para a geração do base, as diferenças entre as curvas de produção são muito pequenas. Assim, por um lado, pode-se concluir que a permeabilidade vertical não é a propriedade que mais influencia no mecanismo de produção do reservatório e, portanto, não necessita de ajuste. Por outro lado, isso aumenta a complexidade do problema, pois, o processo de otimização precisa partir de um conjunto de soluções iniciais que, apesar de apresentarem baixos valores de avaliação, apresentam uma conformação geológica muito distante da conformação ótima. Logo, o cenário apresentado permite observar o comportamento do modelo de solução proposto sob um aspecto diferente daquele utilizado no modelo Xadrez.

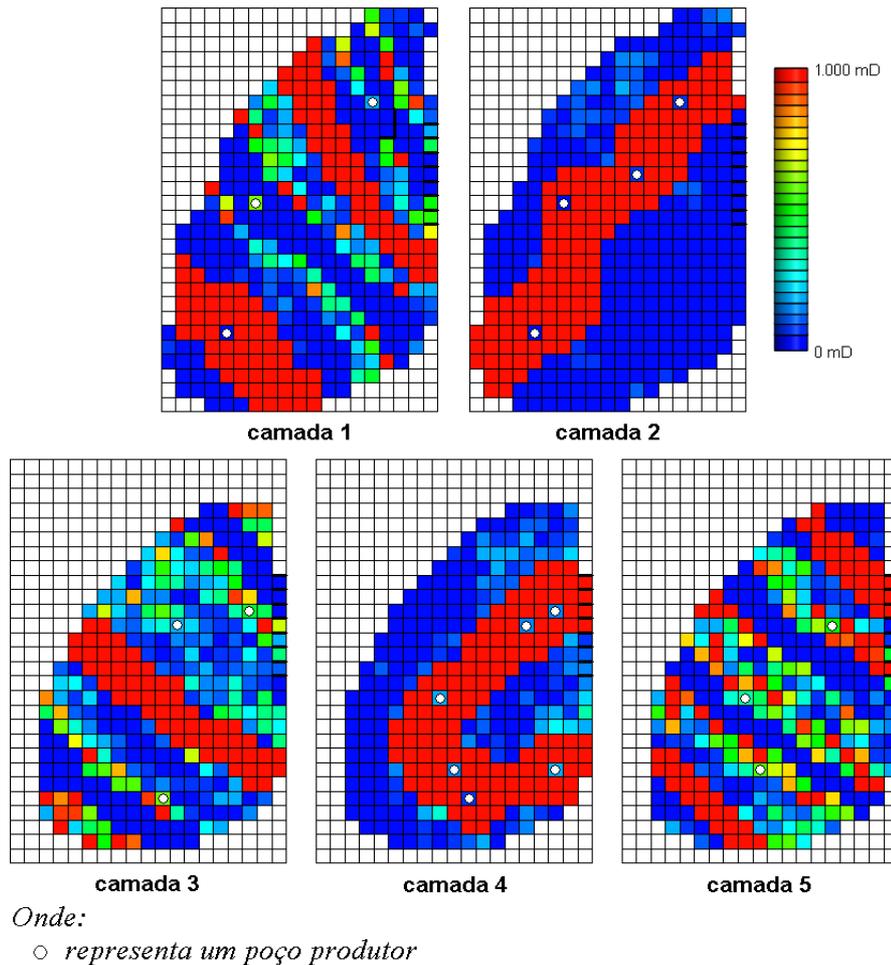


Figura 6.10: Mapa de permeabilidade vertical do caso base do modelo PUNQ-S3

Assim como no modelo Xadrez, nesse caso o modelo de solução também é avaliado segundo as Equações 5-1 e 6-1.

Conforme mencionado no Caso 1, a construção de uma imagem de treinamento adequada depende dos conhecimentos que um especialista tem sobre o padrão de comportamento da propriedade de interesse. Porém, devido à inexistência de uma imagem de treinamento para o modelo PUNQ-S3, foi adotado um procedimento em que o padrão de comportamento da propriedade foi identificado a partir do caso alvo, sem que a imagem resultante se tornasse uma representação exatamente igual à propriedade.

A imagem de treinamento usada nas simulações com o *FILTERSIM* é composta por 5 camadas, tal que cada uma tenta retratar o padrão de comportamento da propriedade em estudo na respectiva camada do reservatório. Em cada camada da imagem, os padrões são representados por 3 valores possíveis. Esses valores foram estabelecidos com base na distribuição dos valores de permeabilidade vertical em cada camada do caso alvo. Para isso, os valores de

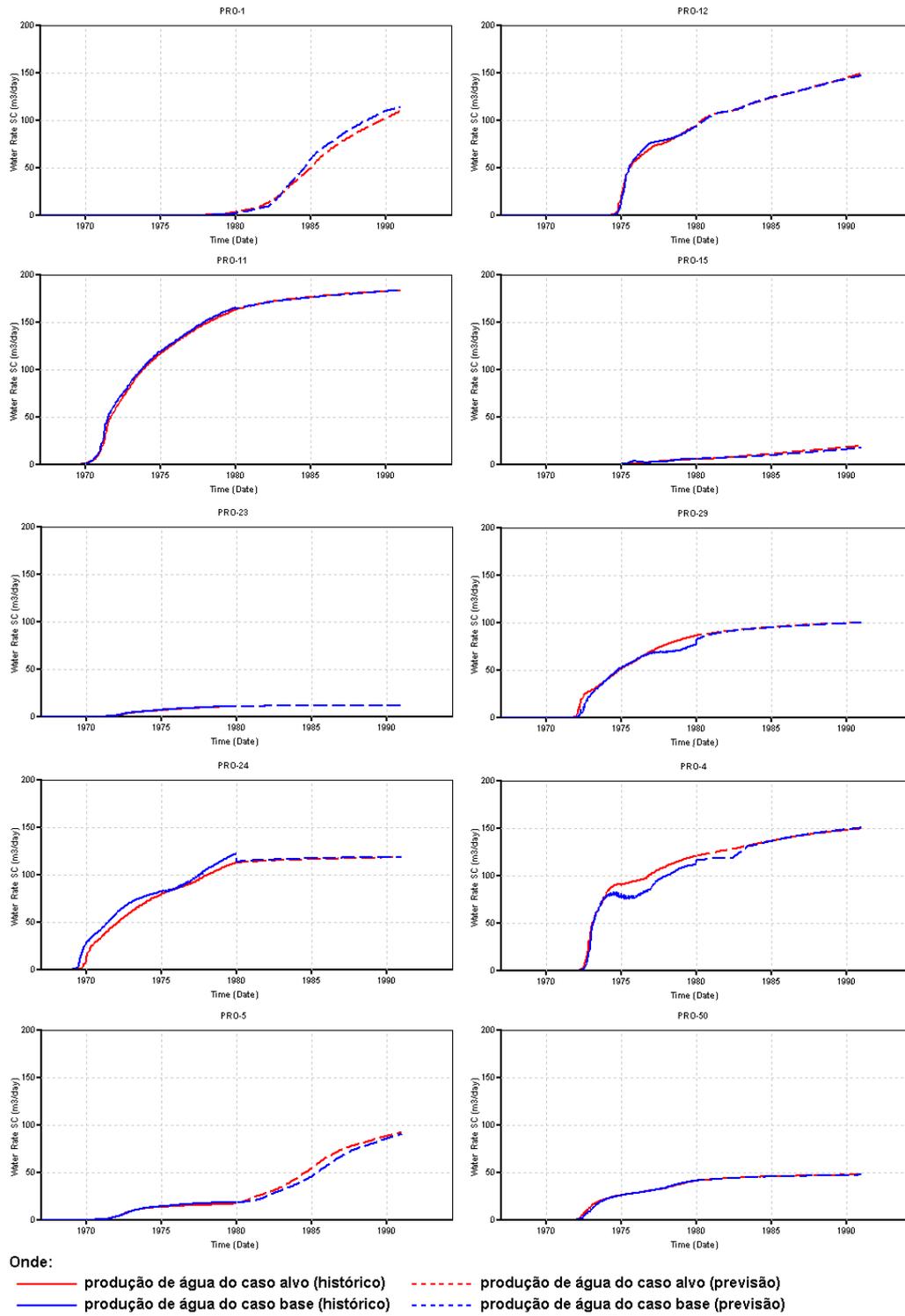


Figura 6.11: Curvas de produção de água dos casos alvo e base do modelo PUNQ-S3

permeabilidade foram submetidos ao algoritmo de *Lloyd* (Apêndice B) a fim de formar 3 grupos de valores em cada camada.

Após a formação dos grupos, em cada camada da imagem, cada valor de permeabilidade original foi substituído pelo valor do centroide do grupo ao

qual o valor foi associado. Em seguida, a imagem foi replicada na horizontal e na vertical a fim de obter uma quantidade maior de repetições dos padrões encontrados. As eventuais discontinuidades ocorridas nas replicações foram atenuadas manualmente. Com isso, conseguiu-se um imagem que não reproduz fielmente a propriedade alvo, mas que apresenta um padrão de comportamento semelhante ao da propriedade alvo. O resultado desse procedimento está ilustrado na Figura 6.12.

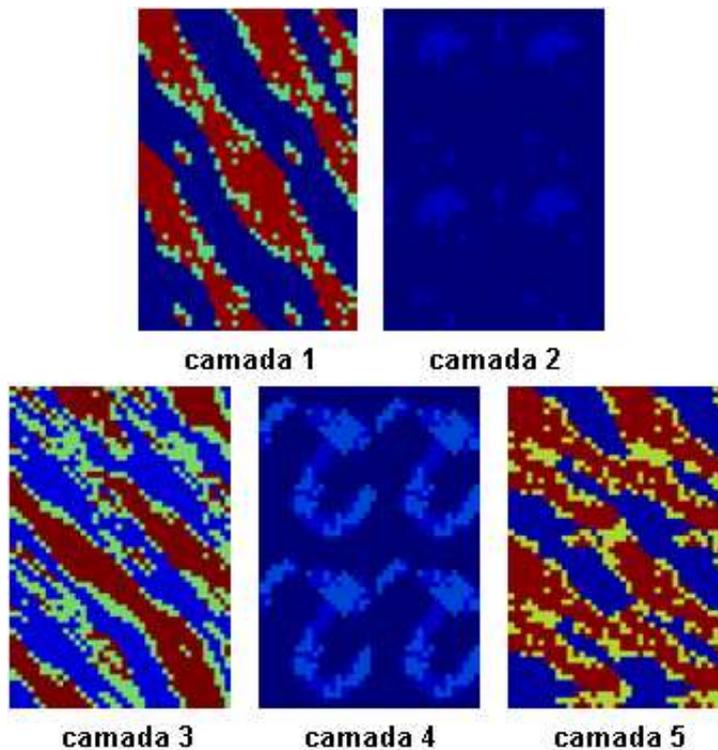


Figura 6.12: Imagem de treinamento para o modelo PUNQ-S3

### 6.2.2 Avaliação

Usando o mesmo princípio adotado no primeiro caso, tomou-se como referência os valores de  $RMSE_p$  e de  $RMSE_m$  do caso base do modelo PUNQ-S3, a fim de avaliar o desempenho do modelo de solução nos experimentos realizados. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 6.7.

	$RMSE_p (m^3)$		$RMSE_m (mD)$
	Histórico	Previsão	
Caso base	27,27	12,73	386,78

Tabela 6.7:  $RMSE_p$  e  $RMSE_m$  do caso base do modelo PUNQ-S3

Em seguida, aplicou-se o modelo de solução à otimização do mapa de permeabilidade vertical do caso base. Nessa etapa da avaliação foram realizados 20 experimentos e em todos eles a taxa de anulação dos indivíduos da população inicial do algoritmo genético foi fixada em 70%. A escolha do valor se baseia nos motivos apresentados no caso anterior. Tomando os valores da Tabela 6.7 como referência, o experimento que apresentou o melhor resultado é apresentado na Tabela 6.8. Na Figura 6.13 estão ilustradas as curvas de produção de água para os casos otimizado e alvo e na Figura 6.14 é apresentado o mapa de permeabilidade obtido.

	$RMSE_p$		$RMSE_m$
	<i>Histórico</i>	<i>Previsão</i>	
<i>Caso otimizado</i>	<i>0,79</i>	<i>0,92</i>	<i>0,54</i>

Tabela 6.8: Melhor resultado obtido para o modelo PUNQ-S3

De acordo com os resultados, apesar de o processo de otimização partir de um caso base, cujas curvas de produção estão razoavelmente ajustadas em relação às curvas do caso alvo, ainda assim o modelo de solução foi capaz de alcançar uma solução final com um ajuste melhor entre as curvas. A Tabela 6.8 mostra que houve diminuições de 21% e de 8% nos valores de  $RMSE_p$  no período de histórico e no período de previsão, respectivamente.

Contudo, mais importante que a diminuição dos valores de  $RMSE_p$ , foi a diminuição de 46% observada no valor do  $RMSE_m$ . O fato de o processo evolutivo partir de uma população inicial em que os indivíduos, pelo menos em termos de função objetivo, estão próximos da solução ótima, representa um cenário desforável para a evolução. Mesmo diante dessa situação adversa, a solução encontrada pelo modelo apresenta um mapa de permeabilidade, cuja conformação está bem mais próxima do desejado que a conformação do mapa do caso base.

Vale destacar que a imagem de treinamento utilizada é apenas uma representação do padrão de comportamento da permeabilidade em cada camada do modelo do reservatório. Portanto, essa imagem é tão somente uma aproximação e não a retratação fiel da realidade do reservatório. Logo, é compreensível que o processo de otimização não seja capaz de encontrar uma solução que anule completamente o valor do  $RMSE_m$ .

As configurações do algoritmo genético utilizado são as mesmas da Tabela 6.6 e na Figura 6.15 está ilustrada a curva de evolução do melhor indivíduo ao longo de todo o processo de otimização.

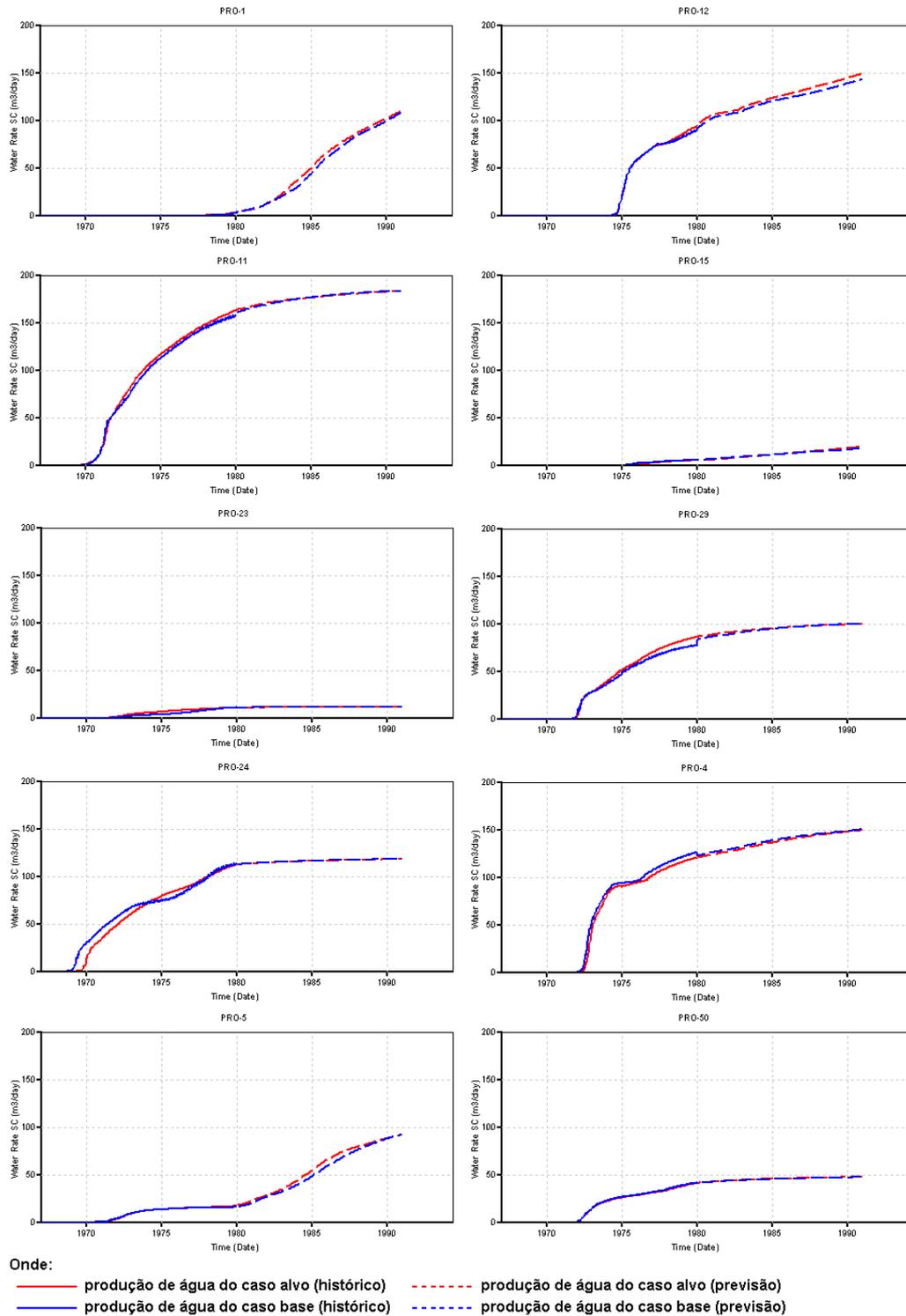


Figura 6.13: Curvas de produção de água dos casos alvo e otimizado do modelo PUNQ-S3

Semelhante ao que foi observado no Caso 1, as reduções maiores na avaliação dos indivíduos ocorrem nas primeiras rodadas de evolução e depois se estabilizam nas próximas rodadas. Observa-se que no início da evolução, especificamente nas duas primeiras rodadas, a população do algoritmo genético

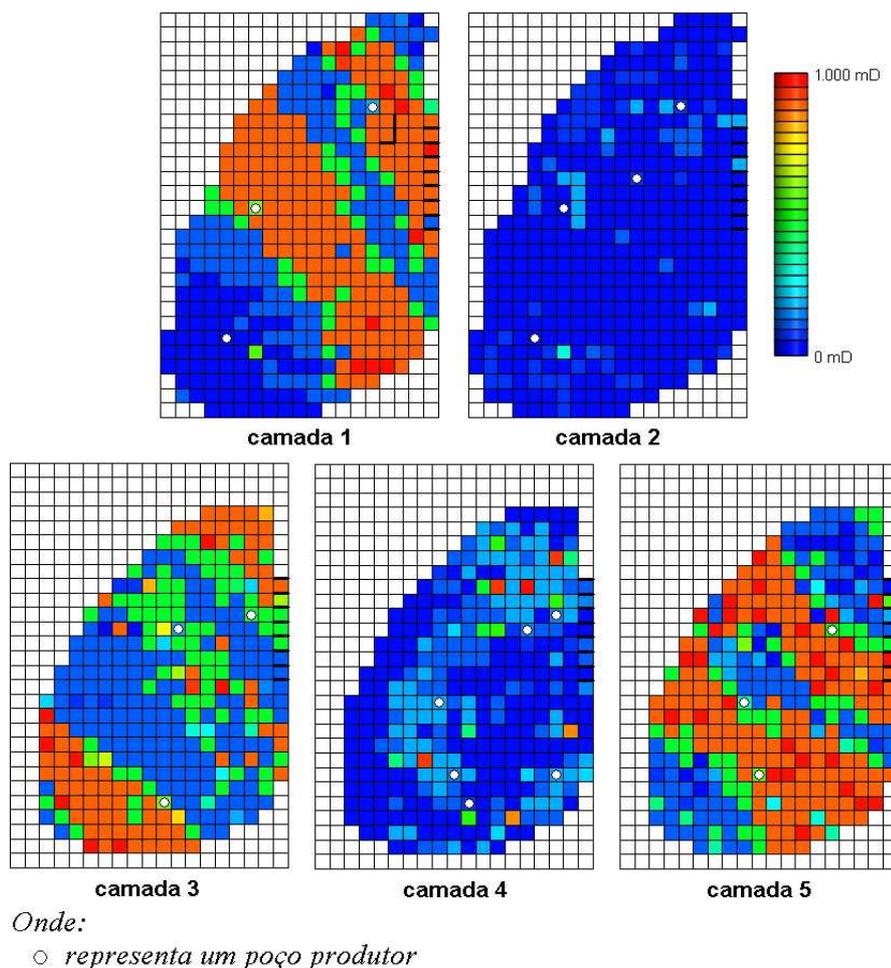


Figura 6.14: Mapa de permeabilidade vertical do caso otimizado do modelo PUNQ-S3

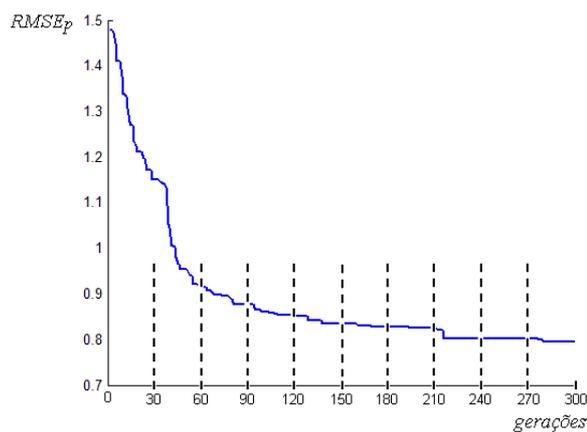


Figura 6.15: Curva de evolução do algoritmo genético para o modelo PUNQ-S3

é formada por indivíduos com avaliação pior que o próprio caso base. Apesar disso, nas rodadas seguintes foram obtidos indivíduos de melhor avaliação.