

ESTUDO DE CASO

Esse capítulo está dividido em três partes nas quais são apresentados os resultados obtidos na aplicação da metodologia.

A primeira parte é dedicada a verificar o efeito do algoritmo de otimização da estimação sobre os ajustes realizados através de uma análise resumida do total de modelos que tiveram uma redução do SQR, ou seja, melhora do ajuste após serem submetidos ao algoritmo.

A segunda parte tem foco na verificação do poder de previsão do método e realiza um estudo detalhado para cada unidade operacional, estando dividida em três análises.

- A primeira se refere ao comportamento da série, que é verificado através de um gráfico de dispersão contendo os valores reais e os valores ajustados pelo modelo vencedor. Tal verificação permite identificar as razões de possíveis problemas encontrados durante os ajustes e as previsões.
- A segunda análise compreende a escolha do modelo vencedor com um breve resumo dos resultados obtidos tanto pela análise do SQR quanto pela análise do MAPE. As tabelas contendo todos os valores do SQR para todos os ajustes são mostradas no Apêndice B e as tabelas com os valores do MAPE são mostradas no Apêndice C.
- A terceira se refere aos erros percentuais para as previsões de um a cinco anos à frente obtidas com o método proposto nesta dissertação, que são comparados com os erros da metodologia atual praticada pela companhia que apoiou o estudo.

Por fim, será feito um resumo dos principais resultados obtidos para as unidades operacionais e será feita uma agregação das previsões para gerar uma previsão ao nível de companhia.

6.1

ANÁLISE DOS AJUSTES

Como foi descrito no capítulo 5, o algoritmo de melhoria do ajuste busca minimizar o erro entre os valores reais e os valores ajustados da série. Para cada nova solução inicial fornecida, um novo ajuste é realizado e é mantido aquele que fornece o menor valor para o SQR.

Sabendo que os 72 modelos propostos por Knoring et al. (1999) e Barcelos (2006) sofreram o ajuste para cada uma das séries, a eficácia do método foi medida verificando o número de modelos que tiveram uma redução do SQR, ou seja, melhora do ajuste com a execução do algoritmo, como é mostrado no quadro resumo da Figura 19.

		UO - Amazonas	UO - Bacia de Campos	UO - Bahia	UO - Espírito Santo	UO - Rio de Janeiro	UO - Rio Grande do Norte e Ceará	UO - Sergipe e Alagoas
Período de Ajuste	Ano Inicial - 2002	60	60	63	13	55	53	62
	Ano Inicial - 2003	63	58	62	13	58	54	63
	Ano Inicial - 2004	59	60	64	14	54	54	62
	Ano Inicial - 2005	60	56	62	17	58	53	62

Figura 19 – Quadro resumo com o número de modelos que apresentaram melhoria no ajuste com a aplicação do algoritmo de otimização da estimação

Fonte: Autor

Analisando o quadro resumo, pode-se verificar a importância do algoritmo para a melhoria dos ajustes, uma vez que grande parte dos modelos apresentou uma redução do SQR nos ajustes para quase todas as séries, com exceção da UO-Espírito Santo.

Essa unidade operacional apresenta um comportamento que dificulta o ajuste dos modelos aos dados históricos, como será visto posteriormente nesse capítulo.

6.2

ANÁLISE DE PREVISÕES

Apesar da melhoria do ajuste dos modelos às séries históricas, o objetivo principal do trabalho é gerar boas previsões para as reservas de óleo e gás. Essa verificação pode ser feita comparando as previsões obtidas com o método do estudo e as previsões realizadas pela atual metodologia da companhia.

6.2.1

UO – AMAZONAS

A UO-Amazonas apresenta um crescimento moderado ao longo dos anos como é mostrado na Figura 20.

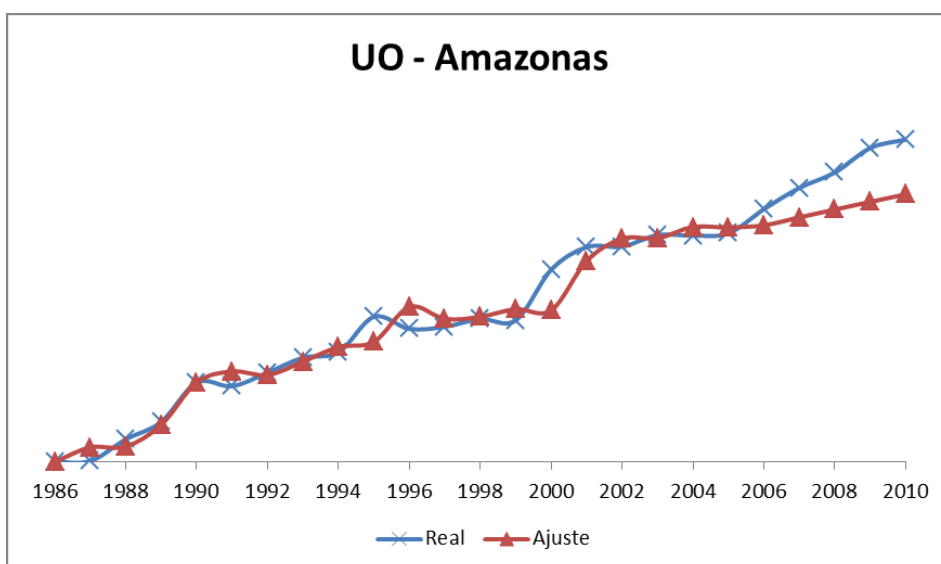


Figura 20 – Comparativo dos valores reais da série UO-Amazonas e dos valores ajustados do modelo Barcelos 7x8 para o período de ajuste 1986-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

O ajuste dos modelos para essa série foi dificultado pelo crescimento acentuado nos anos 1990 a 1995, seguido por uma redução nos anos seguintes. A ocorrência desses fatos distorce o comportamento dos modelos que são feitos para se ajustarem à uma série exclusivamente crescente.

Iniciando a escolha do modelo vencedor, houve divergência dos modelos na análise realizada pelo SQR. As partições 1 e 2 com período de ajuste de 1986-

2002 e 1986-2003 apresentaram o melhor ajuste para o modelo Barcelos 7x2. Já as partições 3 e 4 com período de ajuste de 1986-2004 e 1986-2005 apresentaram o melhor ajuste para os modelos Barcelos 7x9 e Barcelos 7x5, respectivamente.

Dando continuidade ao processo utilizando o MAPE, o modelo que melhor se adequa ao atual momento da série é o modelo Barcelos 7x8, com um MAPE de 6,98%. Esse resultado confirma que o ajuste aos dados passados não garante ao modelo a capacidade de realizar boas previsões dado que o modelo escolhido não realizou o melhor ajuste em nenhuma das partições.

Analisando as previsões do volume recuperável, tem-se que todas as previsões do método proposto possuem menores erros que a metodologia atual da companhia, como é mostrado na Tabela 3.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	3,68%	10,96%
2 anos à frente	7,08%	11,18%
3 anos à frente	8,14%	12,17%
4 anos à frente	7,59%	13,12%
5 anos à frente	8,40%	13,03%

Tabela 3 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Amazonas

Como pode ser observado, a melhora das previsões foi significativa em todos os períodos principalmente para as previsões de 1 à frente.

6.2.2

UO – BACIA DE CAMPOS

A UO-Bacia de Campos apesar de apresentar um crescimento moderado ao longo de toda a série, possui um pico que poderia ter prejudicado as estimativas como é mostrado na Figura 21.

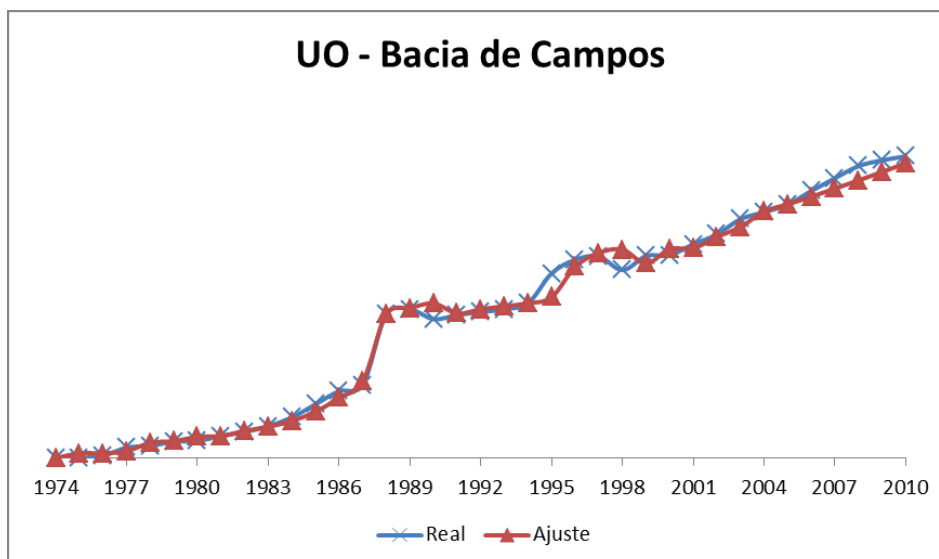


Figura 21 – Comparativo dos valores reais da série UO-Bacia de Campos e dos valores ajustados do modelo Barcelos 1x9 para o período de ajuste 1974-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

Pode-se perceber que o ajuste consegue capturar o salto de volume, mas não consegue capturar as correções que ocorrem em 1990 e em 1998.

Verificando o SQR dos modelos, tem-se que o modelo Barcelos 7x1 realiza o melhor ajuste para todas as partições e dessa forma é tomado como o modelo que melhor representa o histórico da série de volume recuperável da UO-Bacia de Campos.

Com o modelo definido, pode-se verificar que sua capacidade de previsão é melhor que a atual metodologia da companhia para todos os períodos como mostra a Tabela 4.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	1,71%	3,29%
2 anos à frente	2,76%	6,80%
3 anos à frente	3,89%	10,33%
4 anos à frente	5,04%	13,82%
5 anos à frente	5,24%	16,53%

Tabela 4 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Bacia de Campos

Nota-se que o modelo apresenta grande ganho para os períodos de 3 à 5 anos à frente.

6.2.3

UO – BAHIA

A UO-Bahia é uma bacia madura que possui um longo histórico de dados como é mostrado na Figura 22.

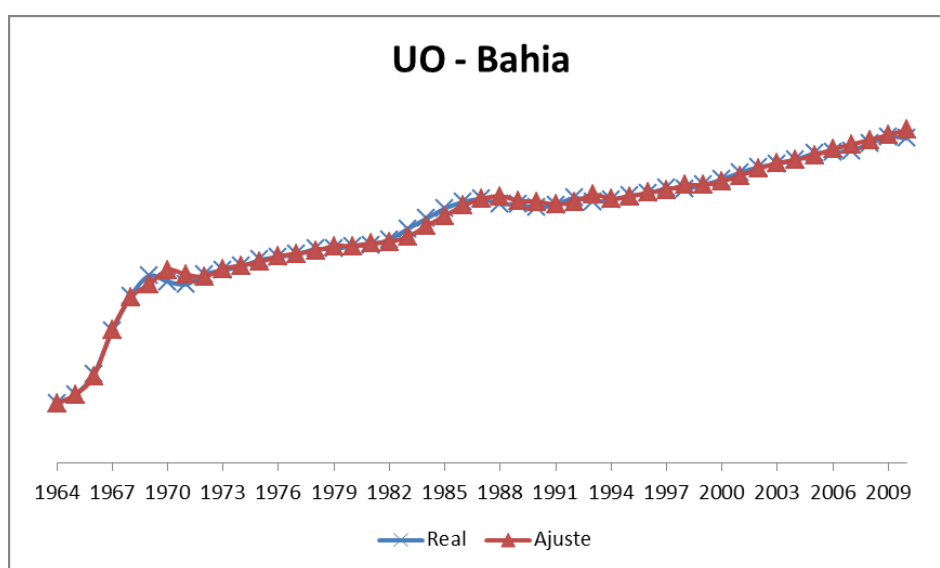


Figura 22 – Comparativo dos valores reais da série UO-Bahia e dos valores ajustados do modelo Barcelos 7x1 para o período de ajuste 1964-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

Pode-se perceber a facilidade do modelo em realizar o ajuste mesmo nos 5 anos iniciais da série que apresentam um crescimento acelerado.

Seguindo para a escolha do modelo e análise pelo SQR, o bom comportamento da série garante que o modelo Barcelos 1x9 seja o modelo que realiza o melhor ajuste em todas as partições da série.

Não sendo necessário realizar a análise pelo MAPE, pode-se perceber que o modelo escolhido consegue realizar excelentes previsões, como é mostrado na Tabela 5.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	0,50%	0,92%
2 anos à frente	0,80%	1,71%
3 anos à frente	0,78%	2,46%
4 anos à frente	0,65%	3,19%
5 anos à frente	1,09%	3,74%

Tabela 5 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Bahia

Apesar dos baixos erros da metodologia atual praticada pela companhia, o modelo escolhido pela metodologia consegue reduzir ainda mais o erro principalmente para as previsões de curtíssimo prazo como a previsão para 1 ano à frente que apresenta um erro médio de 0,5%.

6.2.4

UO – ESPÍRITO SANTO

A UO-Espírito Santo é uma série de difícil ajuste principalmente para os dados a partir do ano de 2001 como mostra a Figura 23.

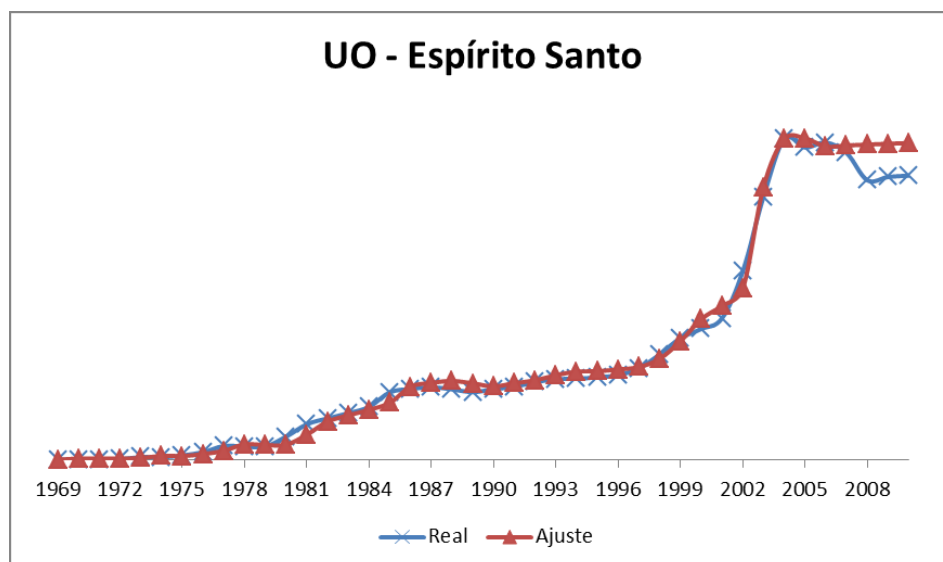


Figura 23 – Comparativo dos valores reais da série UO-Espírito Santo e dos valores ajustados do modelo Barcelos 7x3 para o período de ajuste 1969-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

O grande pico de volume que ocorre a partir de 2001 assim como a correção acentuada que ocorre a partir de 2006 fazem com que a maioria dos modelos não consiga realizar o ajuste. Além disso, dos modelos que conseguiram realizar o ajuste, a maior parte realizou previsões para altos valores acreditando que o movimento de grande alta pudesse continuar para os próximos anos.

Escolhendo o melhor modelo, a análise do SQR não indica nenhum modelo vencedor dado que os modelos que realizaram os melhores ajustes divergiram para cada uma das partições. A partição 1 que compreende o ajuste do período de 1969-2002 obteve o melhor ajuste com o modelo Barcelos 1x7 enquanto a partição 2 correspondente ao período de 1969-2003 teve seu melhor ajuste efetuado pelo modelo Barcelos 6x8. As partições 3 e 4 correspondentes aos períodos de ajuste de 1969-2004 e 1969-2005, por sua vez, tiveram o melhor ajuste associado ao modelo Barcelos 7x8.

Com a dificuldade de encontrar um modelo que represente bem os dados históricos da série, a análise do MAPE se fez necessário sendo o modelo Barcelos 7x3 o único a conseguir realizar previsões para os 5 anos à frente das 4 partições com um MAPE de 23,46%.

Analisando as previsões realizadas pode-se perceber uma piora nas previsões para todos os períodos como mostra a Tabela 6.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	15,41%	15,06%
2 anos à frente	19,99%	10,11%
3 anos à frente	25,20%	10,21%
4 anos à frente	29,23%	11,35%
5 anos à frente	27,45%	12,53%

Tabela 6 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Espírito Santo

Apesar de todos os períodos terem apresentado piora no erro, o curtíssimo prazo (1 ano à frente) não foi tão afetado tendo um aumento do erro de apenas 0,35%.

6.2.5

UO – RIO DE JANEIRO

A UO-Rio de Janeiro possui uma série com um crescimento quase constante como é mostrado na Figura 24.

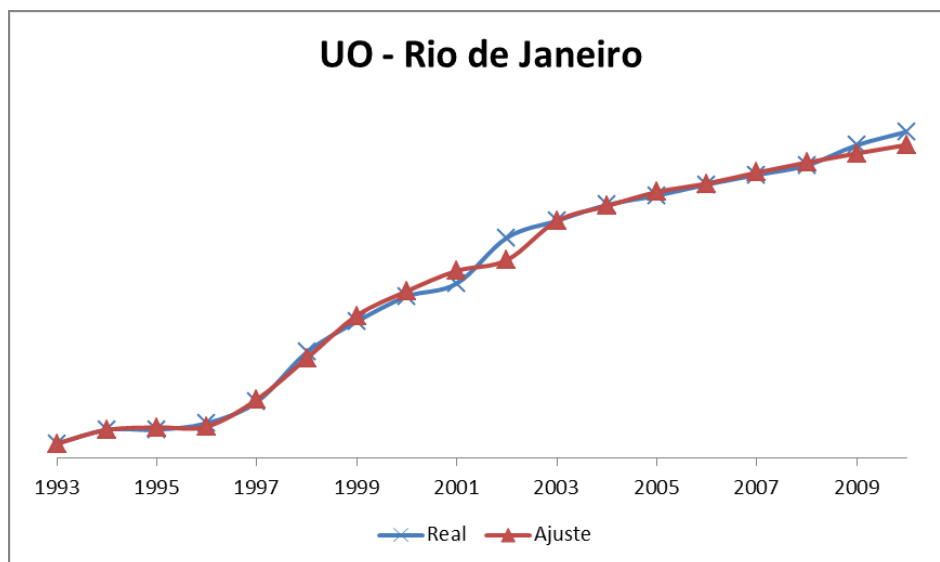


Figura 24 – Comparativo dos valores reais da série UO-Rio de Janeiro e dos valores ajustados do modelo Barcelos 6x9 para o período de ajuste 1993-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

Apesar de apresentar um histórico com apenas 18 anos, os modelos apresentaram facilidade em realizar o ajuste.

Para essa unidade operacional, o modelo Barcelos 6x9 obteve o menor SQR em todas as partições sendo assim escolhido como o modelo ideal para representar a série.

Analisando sua capacidade preditiva, o modelo conseguiu ser melhor para todos os períodos quando comparado com a metodologia atual como mostra a Tabela 7.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	0,76%	3,26%
2 anos à frente	1,69%	6,45%
3 anos à frente	2,78%	9,63%
4 anos à frente	3,92%	11,53%
5 anos à frente	4,22%	14,49%

Tabela 7 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Rio de Janeiro

Fonte: Autor

Pode-se verificar que o modelo consegue obter grandes melhorias principalmente para as previsões de 3, 4 e 5 anos à frente.

6.2.6

UO – RIO GRANDE DO NORTE E CEARÁ

A UO-Rio Grande do Norte e Ceará possui uma série com um crescimento constante nos últimos anos e apresenta um único ponto de correção no ano de 1993 para 1994 como pode ser visto na Figura 25.

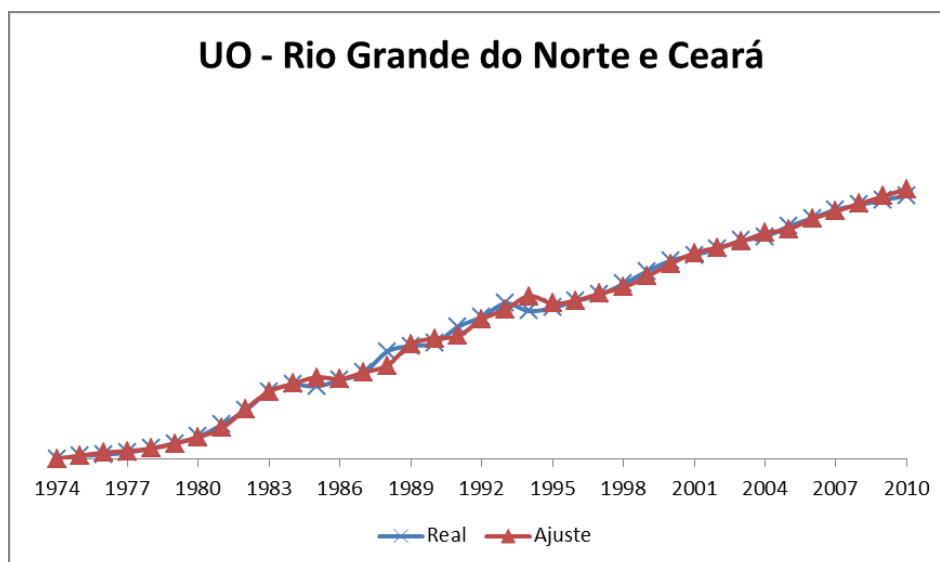


Figura 25 – Comparativo dos valores reais da série UO-Rio Grande do Norte e Ceará e dos valores ajustados do modelo Barcelos 7x8 para o período de ajuste 1974-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

Apesar de uma pequena correção que acontece no ano de 1994, a série pode ser modelada por uma reta com um $R^2 = 0,9933$.

Com a escolha do modelo pelo SQR, o modelo Barcelos 7x8 é tomado como o modelo que melhor representa a série da UO-Rio Grande do Norte e Ceará dado que obteve o melhor ajuste para todas as partições.

Com a adoção desse modelo para a realização de previsões, pode-se obter uma grande redução dos erros percentuais como é mostrado na Tabela 8.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	0,92%	3,03%
2 anos à frente	0,98%	5,59%
3 anos à frente	0,66%	7,97%
4 anos à frente	0,74%	9,55%
5 anos à frente	1,04%	11,04%

Tabela 8 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Rio Grande do Norte e Ceará

Pode-se perceber que os maiores ganhos com a adoção do modelo ocorrem para os períodos de 4 e 5 anos à frente. No entanto, deve-se considerar que a alta precisão do modelo se deve, em grande parte, ao crescimento constante da série como foi observado anteriormente.

6.2.7

UO – SERGIPE E ALAGOÁS

A UO-Sergipe e Alagoas é uma série que apresenta um crescimento constante em todo seu histórico como é visto na Figura 26.

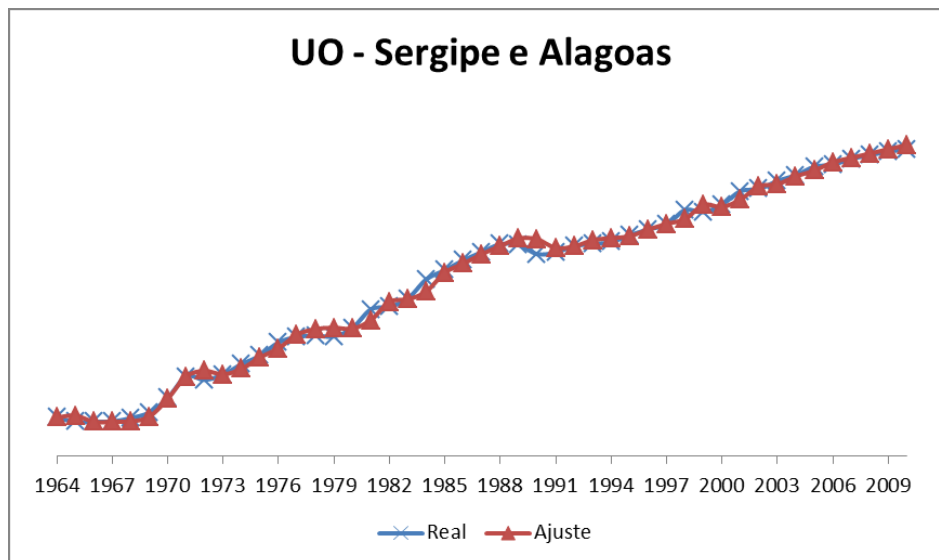


Figura 26 – Comparativo dos valores reais da série UO-Sergipe e Alagoas e dos valores ajustados do modelo Barcelos 1x9 para o período de ajuste 1964-2005 e previsão 2006-2010

Fonte: Autor

A taxa de crescimento constante aliada à um grande número de períodos facilita o ajuste tanto dos modelos propostos por Knoring et al. (1999) como os propostos por Barcelos (2006).

Partindo para a escolha do melhor modelo, apenas a análise do SQR se faz necessária dado que o modelo Barcelos 1x9 é o modelo que apresenta o melhor ajuste em todas as partições.

Analisando as previsões, o modelo proposto consegue reduzir o erro frente a atual metodologia para todos os períodos como é mostrado na Tabela 9.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	0,99%	1,78%
2 anos à frente	1,10%	2,93%
3 anos à frente	1,43%	3,96%
4 anos à frente	1,34%	4,48%
5 anos à frente	1,52%	5,00%

Tabela 9 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a UO-Sergipe e Alagoas

Os maiores ganhos com a aplicação da metodologia para essa unidade operacional ocorrem nos períodos de 4 e 5 anos à frente.

6.3

ANÁLISE DE RESULTADOS

A primeira conclusão que pode se obter com os resultados é a importância do fornecimento de novas soluções iniciais para que cada modelo realize um melhor ajuste. Isso pode ser verificado dado o alto índice médio de modelos que apresentaram melhoria nos ajustes com a aplicação do algoritmo de otimização como é mostrado na Tabela 10.

Unidade Operacional	Média de Modelos com Melhora
UO-Amazonas	61
UO-Bacia de Campos	59
UO-Bahia	63
UO-Espírito Santo	14
UO-Rio de Janeiro	56
UO-Rio Grande do Norte e Ceará	54
UO-Sergipe e Alagoas	62

Tabela 10 – Número médio de modelos que sofreram melhora do ajuste com a aplicação do algoritmo de otimização da estimação

Com exceção da UO-Espírito Santo que apresenta uma série de difícil ajuste dado o comportamento dos seus anos finais, as demais unidades operacionais apresentaram melhora média em 54 à 63 dos modelos.

Sobre a metodologia de escolha dos melhores modelos, pode-se verificar que a análise pelo SQR prevaleceu com exceção da UO-Amazonas e da UO-Espírito Santo, como é mostrado na Tabela 11.

Unidade Operacional	Modelo Escolhido	Método de Escolha
UO-Amazonas	Barcelos 7x8	MAPE
UO-Bacia de Campos	Barcelos 7x1	SQR
UO-Bahia	Barcelos 1x9	SQR
UO-Espírito Santo	Barcelos 7x3	MAPE
UO-Rio de Janeiro	Barcelos 6x9	SQR
UO-Rio Grande do Norte e Ceará	Barcelos 7x8	SQR
UO-Sergipe e Alagoas	Barcelos 1x9	SQR

Tabela 11 – Modelos vencedores e métodos utilizados para a escolha

Analisando os modelos escolhidos, todos pertencem ao conjunto de modelos proposto por Barcelos (2006) com destaque para a função seleção de controle que foi escolhida por cinco das oito séries e é representada pela distribuição logística como mostra a eq. (44).

$$\varphi(R) = \frac{c}{1+\exp(\alpha-\beta R_t)} \quad \text{Eq. (44)}$$

Já para as funções seleção de condição, as preferências ficaram divididas entre os modelos 8 e 9 sugeridos por Knoring et al. (1999) como mostram as eq. (45) e (46), respectivamente.

$$\frac{\Delta R}{R_{t+1}} = e^{a-bR_t} - c \quad \text{Eq. (45)}$$

$$\frac{\Delta R}{R_{t+1}} = e^{a-bR_t} - \frac{c}{R_t} \quad \text{Eq. (46)}$$

Sobre os erros de previsão, houve redução em todos os períodos com exceção da série UO-Espírito Santo que apresentou um aumento dos erros quando comparados aos erros da atual metodologia da companhia patrocinadora. Essa análise pode ser melhor vista analisando o quadro resumo mostrado na Figura 27.

	UO – Amazonas	UO - Baçia de Campos	UO - Bahia	UO - Espírito Santo	UO - Rio de Janeiro	UO - Rio Grande do Norte e Ceará	UO - Sergipe e Alagoas
1 ano à frente	-7,28%	-0,42%	-1,58%	0,35%	-2,50%	-2,11%	-0,79%
2 anos à frente	-4,10%	-0,91%	-4,04%	9,88%	-4,76%	-4,61%	-1,83%
3 anos à frente	-4,03%	-1,68%	-6,44%	14,99%	-6,85%	-7,31%	-2,53%
4 anos à frente	-5,53%	-2,54%	-8,78%	17,88%	-7,61%	-8,81%	-3,14%
5 anos à frente	-4,63%	-2,65%	-11,29%	14,92%	-10,27%	-10,00%	-3,48%

Figura 27 – Variação do erro percentual absoluto médio com adoção dos modelos propostos

Fonte: Autor

O quadro resumo apresenta a variação que ocorre no erro percentual absoluto médio da atual metodologia com a adoção dos modelos propostos nesse trabalho. Pode-se perceber que apenas na UO-Espírito Santo, a adoção do modelo pode provocar um aumento do erro.

Como foi descrito anteriormente, essa unidade operacional apresenta um comportamento que dificulta não apenas o ajuste a série histórica, mas principalmente a previsão devido a correção que ocorre a partir do ano de 2006.

Por fim, pode-se avaliar o impacto nas previsões ao nível da companhia através da agregação das previsões realizadas para as unidades operacionais como é mostrado na Tabela 12.

Previsão	Estudo	Atual
1 ano à frente	1,10%	2,31%
2 anos à frente	1,32%	4,40%
3 anos à frente	1,32%	6,19%
4 anos à frente	1,84%	6,54%
5 anos à frente	1,97%	6,57%

Tabela 12 – Erro Percentual Absoluto Médio das Previsões do Volume Recuperável para a Companhia

Como pode ser visto, a redução do erro para o nível de companhia acontece para todos os períodos, principalmente para as previsões de 3, 4 e 5 anos à frente mostrando a eficácia da metodologia proposta.

Dessa forma, pode-se concluir que a adoção do método proposto para a previsão do volume recuperável, seja ao nível de unidade operacional ou ao nível de companhia, resulta em erros percentuais aceitáveis e relativamente pequenos quando comparados ao atual método praticado pela companhia patrocinadora do estudo.