

Campus de São Carlos

**ESTUDO DA OPERAÇÃO OTIMIZADA
DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA**

JORGE YUTAKA OUGUI

Prof^a Dr^a Luisa Fernanda Ribeiro Reis

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

ESTUDO DA OPERAÇÃO OTIMIZADA DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Jorge Yutaka Ougui

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 10 / 11 / 2003
Ass.: *Leandro Coriol*

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luisa Fernanda Ribeiro Reis

DEDALUS - Acervo - EESC



31100044203



São Carlos

2003

✓

Class.	TESE-EESC
Cutt.	4366
Tombo	T318/03
Sysno	1349874

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

093e Ougui, Jorge Yutaka
Estudo da operação otimizada de sistema de sistema de
bombeamento de água / Jorge Yutaka Ougui. -- São Carlos,
2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área: Hidráulica e Saneamento.

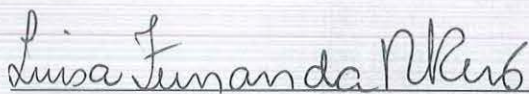
Orientador: Prof^a. Dr^a. Luisa Fernanda Ribeiro Reis.

1. Otimização. 2. Bombeamento. 3. Algoritmos
genéticos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

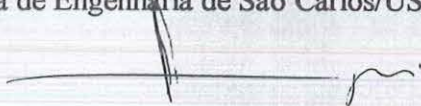
Candidato: Engenheiro **JORGE YUTAKA OUGUI**

Dissertação defendida e julgada em 05-09-2003 perante a Comissão Julgadora:



Profª. Assoc. **LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado



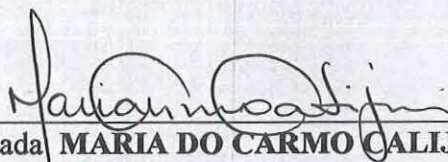
Prof. Tit. **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO



Prof. Liv. Doc. **PAULO SÉRGIO FRANCO BARBOSA**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

APROVADO



Profª. Associada **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por nunca me abandonar e permitir que esse trabalho fosse possível.

Aos meus pais, Takao e Amélia por estarem sempre presentes, pelos ensinamentos passados, com amor, carinho, paciência e humildade.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Luisa Fernanda Ribeiro Reis, pelo apoio, ensinamentos e dedicação, pois em todos os momentos em que precisei nunca me foi negado ajuda.

À minha namorada Cláudia Regina Rocha, companheira e amiga para todas as horas.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE) por permitir a realização dos estudos em um dos sistemas existentes e pela ajuda dos funcionários com os ensaios em campo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida, viabilizando a realização do presente trabalho de pesquisa.

Aos meus amigos da EESC, todos os que como eu passaram por aqui e deixaram um pouco de ensinamento e saudades.

Aos professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC, pelo auxílio, atenção e apoio durante todo o curso.

A todos meus amigos integrantes da República Tijolino (1999 – 2003), ao pessoal da Turma de Mestrado do ano de 1999 e principalmente aos amigos José Eduardo e Tibério.

Ao pessoal da empresa BBL – Bureau Brasileiro S/C Ltda.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito dessa pesquisa. Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. INTRODUÇÃO AOS ALGORITMOS GENÉTICOS	17
4.2. TERMINOLOGIA DOS AGs	18
4.3. TÉCNICA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS	20
4.4. CODIFICAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO	23
4.5. OPERADORES GENÉTICOS.....	24
4.5.1. SELEÇÃO.....	24
4.5.2. CRUZAMENTO	26
4.6. MUTAÇÃO	29
4.7. ELITISMO	30
5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO.....	31
5.1. PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO E AS CONDIÇÕES DE CONTORNO. 36	
5.2. CONSUMO DE ÁGUA DO SUBSISTEMA.....	37
5.3. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA	44
5.4. VARIÁVEIS DE DECISÃO	46

5.5. FUNÇÃO OBJETIVO OU FUNÇÃO DE APTIDÃO	47
5.6. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	53
5.7. PROGRAMA PRINCIPAL.....	55
5.8. EQUIPAMENTOS	62
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
6.1. POPULAÇÕES ALEATÓRIAS INICIAIS	65
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	100
ANEXO A	103
ANEXO B.....	105
ANEXO C	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de funcionamento dos AGs tradicionais	22
Figura 2 – Códigos representativos das soluções.....	24
Figura 3 – Exemplo de seleção dos indivíduos pela Regra da Roleta ou Amostragem Estocástica com substituição	25
Figura 4 – Exemplo de seleção dos indivíduos pela Método do Torneio	26
Figura 5 – Exemplo de seleção dos indivíduos por Ordenação ou Rank.....	26
Figura 6 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento de Um Ponto	27
Figura 7 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento de Dois Pontos.....	28
Figura 8 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento Uniforme.....	28
Figura 9 – Exemplo de aplicação do operador Mutação.....	29
Figura 10 – Esquema Geral do Subsistema Jardim Cruzeiro do Sul	35
Figura 11 – Curva de consumo referente a média das segundas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos	38
Figura 12 – Curva de consumo referente a média das terças-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos	38
Figura 13 – Curva de consumo referente a média das quartas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos	39
Figura 14 – Curva de consumo referente a média das quintas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos	39
Figura 15 – Curva de consumo referente a média das sextas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos	40
Figura 16 – Curva de consumo referente a média dos sábados do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos.....	40
Figura 17 – Curva de consumo referente a média dos domingos do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos.....	41
Figura 18 – Curva de consumo referente a média do período de segunda a sexta-feira do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos.....	43

Figura 19 – Curva de consumo referente a média do período de sábado a domingo do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos.....	43
Figura 20 – Fluxograma típico do programa.....	54
Figura 21 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=100)	67
Figura 22 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=100)	69
Figura 23 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=10)	71
Figura 24 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=10)	73
Figura 25 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=1)	75
Figura 26 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=1)	77
Figura 27 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=100)	79
Figura 28 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=100)	81
Figura 29 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=10)	83
Figura 30 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=10)	85
Figura 31 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=1)	87
Figura 32 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=1)	89
Figura 33 – Nível do reservatório elevado no período da simulação computacional	95
Figura 34 - Nível do reservatório enterrado no período da simulação computacional	96
Figura 35 – Esquema de funcionamento das bombas no período de simulação computacional de segunda a sexta-feira.....	96
Figura 36 - Nível do reservatório elevado no período da simulação computacional.	97
Figura 37 - Nível do reservatório enterrado no período da simulação computacional	98
Figura 38 - Esquema de funcionamento das bombas no período de simulação computacional de sábado a domingo	98
Figura 39 – Curva característica da bomba submersa.....	106
Figura 40 – Curva característica da bomba de recalque	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média das vazões horárias de consumo para os períodos de segunda a sexta e sábado a Domingo.....	42
Tabela 2 – Dados iniciais de entrada no programa para o período de segunda à sexta-feira.....	58
Tabela 3 - Dados iniciais de entrada no programa para o período de sábado à domingo.....	59
Tabela 4 – Resumo dos resultados da simulação computacional para o período de Segunda a Sexta-feira.....	67
Tabela 5 – Resumo dos resultados da simulação computacional para o período de Sábado a Domingo	67
Tabela 6 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta-feira para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=100$	68
Tabela 7 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=100$	70
Tabela 8 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=10$	72
Tabela 9 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=10$	74
Tabela 10 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=1$	76
Tabela 11 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.05$ E $W=1$	78
Tabela 12 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=100$	80
Tabela 13 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=100$	82
Tabela 14 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=10$	84

Tabela 15 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=10$	86
Tabela 16 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=1$	88
Tabela 17 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=1$	90
Tabela 18 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 50\%$	92
Tabela 19 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 50\%$	92
Tabela 20 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 60\%$	92
Tabela 21 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 60\%$	92
Tabela 22 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 70\%$	93
Tabela 23 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 70\%$	93
Tabela 24 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 80\%$	93
Tabela 25 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 80\%$	93
Tabela 26 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 90\%$	94
Tabela 27 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 90\%$	94
Tabela 28 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com $VIRELE = 100\%$	94
Tabela 29 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com $VIRELE = 100\%$	94

LISTA DE SÍMBOLOS

$VRENT(j)$ = Volume do reservatório enterrado (m^3) no período j ;

$VRELE(j)$ = Volume do reservatório elevado (m^3) no período j ;

$VRENT_{MIN}$ = Volume mínimo do reservatório enterrado (m^3);

$VRENT_{MAX}$ = Volume máximo do reservatório enterrado (m^3);

$VRELE_{MIN}$ = Volume mínimo do reservatório elevado (m^3);

$VRELE_{MAX}$ = Volume máximo do reservatório elevado (m^3);

C_i = Custo da tarifa de energia elétrica em R\$/kWh do conjunto moto-bomba i do sub-sistema;

C_w = Custo da tarifa de energia elétrica em R\$/kWh do conjunto moto-bomba w do sub-sistema;

Pot_i = Potência de operação de cada conjunto moto-bomba i do sub-sistema (kW);

η_i = Rendimento do motor i do sub-sistema;

Pot_{ib} = Potência de operação da bomba i do sub-sistema (kW);

γ = Peso específico da água (kgf/cm^3);

Q_i = Vazão da bomba i (m^3/h);

H_i = Altura manométrica da bomba i (m);

Pot_w = Potência de operação de cada conjunto moto-bomba w do sub-sistema;

η_w = Rendimento do motor w do sub-sistema;

Pot_{wb} = Potência de operação da bomba w do sub-sistema (kW);

Q_w = Vazão da bomba w (m^3/h);

H_w = Altura manométrica da bomba w (m);

$P1$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume máximo no reservatório enterrado (m^3);

$P2$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume mínimo no reservatório enterrado (m^3);

$P3$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume máximo no reservatório elevado (m^3);

$P4$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume mínimo no reservatório elevado (m^3);

$P5$ = Diferença entre o volume inicial e final do reservatório elevado no período de simulação (m^3);

$P6$ = Diferença entre o volume inicial e final do reservatório enterrado no período de simulação (m^3);

V_{ACBV} = Valor do volume acumulado da vazão que chega da adutora do Jd. Boa Vista (m^3);

V_{BV} = Vazão de importe que chega da adutora do Jd. Boa Vista (m^3/h);

C_z = Tarifa estipulada pela cobrança da água que chega da adutora do Jd. Boa Vista ($R\$/m^3$);

W = Multiplicador das penalidades;

X1(j) = Bomba do poço artesiano fornecendo água para o reservatório elevado (0) ou apoiado (1);

X2(j) = Bomba do poço artesiano desligada (0) ou ligada (1);

X3(j) = Bomba de recalque desligada (0) ou ligada (1);

X4(j) = Registro da tubulação de água que chega do Jardim Boa Vista fechada (0) ou aberta (1);

X5(j) = Vazão de reforço que chega do Jardim Boa Vista (0 a 216 m³/h);

X6(j) = Vazão da bomba de recalque (0 a 300 m³/h);

X7(j) = Vazão da bomba do poço artesiano (117 m³/h).

NPOP = Número de indivíduos na população;

NVAR = Número de variáveis de decisão;

NCRU = Número de cruzamentos (probabilidade);

ISTRG = Comprimento de cada indivíduo;

NLOOP = Número de gerações;

PMUT = Probabilidade de mutação;

NUMALE = Semente aleatória inicial;

W = Multiplicador das penalidades;

P = Expoente das penalidades;

C1 = Tarifa de consumo de energia elétrica fora do horário de ponta (R\$/kWh);

C2 = Tarifa de consumo de energia elétrica no horário de ponta (R\$/kWh);

C3 = Tarifa fictícia cobrada pela água de reforço do Jardim Boa Vista (R\$/m³);

VIRELE = Volume inicial do reservatório elevado (m³);

VRELEMAX = Volume do reservatório elevado máximo (m³);

VRELEMIN = Volume do Reservatório Elevado Mínimo (m³);

QRSE = Vazão de Sobras do Reservatório Elevado (m³/h);

VIRENT = Volume Inicial do Reservatório Enterrado (m³);

VRENTMAX = Volume do Reservatório Enterrado Máximo (m³);

VRENTMIN = Volume do Reservatório Enterrado Mínimo (m³);

DEM(*j*) = Vazão de Consumo de Água Horária (m³/h);

XMAX(5) = Vazão máxima que chega do Jardim Boa Vista (m³/h);

XMIN(5) = Vazão mínima que chega do Jardim Boa Vista (m³/h);

XMAX(6) = Vazão máxima da bomba de recalque (m³/h);

XMIN(6) = Vazão mínima da bomba de recalque (m³/h);

XMAX(7) = Vazão máxima da bomba do poço (m³/h);

XMIN(7) = Vazão mínima da bomba do poço (m³/h).

RESUMO

OUGUI, J. Y. (2003). *Estudo da operação otimizada de sistema de bombeamento de água*. São Carlos, 2003. 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho realiza uma análise dos custos de bombeamento no Sub-sistema de abastecimento de água Jardim Cruzeiro do Sul, na cidade de São Carlos/SP. Assim, tendo em vista a atual perspectiva de racionamento de energia elétrica no país, estudos fazem-se necessários no sentido de otimizar a operação de sistemas de abastecimento de água propiciando o uso mais racional de energia elétrica. Atualmente, as companhias responsáveis pelo fornecimento de água para abastecimento comprometem grande parcela do orçamento com os custos de energia elétrica, sendo a maior parte desses custos destinados à operação de bombas. Utiliza os Algoritmos Genéticos como ferramentas na determinação da operação otimizada em termos da melhor estratégia de funcionamento das bombas, cujo problema é caracterizado pelo seu elevado grau de complexidade.

Palavras-chave: Otimização – Bombeamento – Algoritmos Genéticos.

ABSTRACT

OUGUI, J. Y. (2003). *Study of the optimization operation in the water pumping system*. São Carlos, (2003). 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This work conducts an analysis of the pumping costs in the Sub-system of water distribution on Jardim Cruzeiro do Sul, in the city of São Carlos/SP. Thus, in view of the current perspective of rationing of electric energy in the country, studies aimed at an optimize operation of water supply systems propitiating the best rational use of electric energy. At this moment, the responsible companies of the water supply service use a great portion of the budget with the energy costs, being the largest portion of the expenses in the pumps operation. It uses the Genetic Algorithms as tools in the determination of the optimized operation in terms of the best strategy of pumps operation, whose problem is characterized for its high degree complexity.

Keywords: Optimization – Pumping – Genetic Algorithms.

1. INTRODUÇÃO

Devido à falta de investimentos no setor energético, o país poderá sofrer crises de racionamento de energia elétrica ao longo dos próximos anos. Tal fato está conscientizando o consumidor a buscar meios de conservação e utilização racional de energia elétrica, visando principalmente à redução dos custos.

Segundo TSUTIYA [2001], para a SABESP, em 1977, o custo de energia elétrica representava 4% do orçamento de despesas. E, embora a utilização de energia elétrica para o fornecimento de 1 m³ de água tenha se mantido na ordem de 0,6 kWh, as despesas em 1988, aumentaram para 12%, transformando o custo da energia elétrica no terceiro item mais importante do orçamento. As instalações administrativas representam apenas 2% do custo total de energia elétrica e as instalações operacionais de água e esgoto 98%. Estima-se que pelo menos 90% dos custos são devidos às estações elevatórias de água. Esses dados comprovam que a operação e a manutenção de sistemas de abastecimento de água representam um custo relativamente alto para entidades públicas ou privadas responsáveis pelo serviço.

No que se refere à operação, um dos principais fatores relativos ao custo é o funcionamento das bombas, cuja principal finalidade é suprir as demandas, cuja principal característica é a incerteza. Trata-se de uma questão importante por apresentar reflexos diretos sobre a economia dos referidos sistemas, que precisam adequar-se à atual tendência dos custos de energia elétrica, cada vez mais elevados e com constantes acréscimos nas tarifas.

Um estudo visando à otimização da operação das bombas pode fazer com que elas trabalhem sincronizadas ou que simplesmente atendam as condições para os horários de maior solicitação, permanecendo o restante do tempo com o número mínimo de bombas em funcionamento, mantendo assim, vazões e pressões nas condições mínimas exigidas pelo sistema. Torna-se, portanto, fundamental identificar soluções econômicas que viabilizem a operação otimizada dos sistemas de abastecimento de água como um todo, contribuindo inclusive para a redução das perdas de água por vazamentos na rede de distribuição. O funcionamento das bombas deve ser planejado de maneira a propiciar índices de perdas menores em horários de menor demanda. Sabe-se que em algumas regiões do Brasil, tais perdas podem atingir 50% do volume total de água bombeada e quimicamente tratada.

Até passado recente, o problema numérico correspondente era tão exaustivo que impedia a avaliação global de tais sistemas. Mas, com o advento do computador, o problema passou a ser considerado solúvel. Os métodos racionais ou de otimização passaram a ser utilizados com êxito, reduzindo os custos e aumentando a eficiência operacional dos sistemas.

Recentemente foram empregados algoritmos de busca fortuitos em diversos problemas de otimização, aumentando o nível de análise e desempenho em sistemas complexos. Algoritmos Genéticos (AG) são algoritmos de busca baseados na seleção natural e mecânica das populações genéticas. Atualmente estão sendo utilizados na resolução de problemas de otimização em sistemas de elevado grau de complexidade.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é o de otimizar a operação de bombas aplicada a um sistema de abastecimento de água, otimizando as estratégias operacionais através da técnica dos AGs. As análises são realizadas para o sub-sistema de distribuição de água localizado no Jardim Cruzeiro do Sul, na cidade de São Carlos, SP.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da operação otimizada de sistema de abastecimento de água, utilizando simulação computacional com técnica dos *ALGORITMOS GENÉTICOS* (AGs). Tal técnica vem recebendo atenção especial recentemente pelo seu potencial em tratar problemas de naturezas diversas e, sobretudo, aqueles de grande complexidade.

Através da simulação computacional e da aplicação desta técnica, espera-se diminuir o consumo de energia elétrica e melhorar a eficiência do sistema de abastecimento de água, reduzindo os custos com a operação das bombas. Define-se como estudo de caso o subsistema de distribuição de água localizado no Jardim Cruzeiro do Sul, na cidade de São Carlos, SP.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação de métodos de otimização utilizando o ferramental da análise de sistemas tem despertado grande interesse, que pode ser demonstrado pelo número de trabalhos constantes da literatura especializada. Com o objetivo de destacar as publicações que tratam do tema, abordando os métodos e elementos necessários ao trabalho proposto, apresenta-se a seguir uma revisão sucinta dos trabalhos que deram subsídios básicos ao desenvolvimento desta pesquisa.

Como já sabemos, grande parcela dos custos operacionais num sistema de distribuição de água são atribuídos ao consumo de energia elétrica utilizada na operação de bombas para captação, recalque ou distribuição de água. O crescimento populacional proporciona um aumento na distribuição de água, criando novas regiões de abastecimento e solicitando cada vez mais a utilização de sistemas de bombeamento para transportar água até essas novas regiões. A busca por novas metodologias com finalidade de minimizar os custos se faz necessário enquanto satisfaz as condições de performance do sistema.

BRION e MAYS (1991) apresentaram uma metodologia baseada na resolução de um problema de programação não linear de grande escala (PNL) para operação otimizada de estações de bombeamento em sistemas de distribuição de água. Este modelo de otimização não linear apresentou interfaces com um modelo de simulação hidráulica (KYPIPE), que implicitamente solucionou as equações de conservação de energia e equações de fluxo, cujos resultados foram utilizados como dados de entrada para o modelo de otimização proposto. A tentativa para melhorar a eficiência

da operação de bombeamento focou três diferentes aspectos: ineficientes combinações de bombas, estratégias de operação ineficientes e bombas inadequadas. O problema de controle otimizado de um sistema de distribuição de água é complicado pelo fato do problema matemático ser muito numeroso quanto às restrições e variáveis de decisão, muito dos quais não são lineares. A metodologia foi aplicada para um sistema de distribuição de água da cidade de Austin, Texas, e os resultados obtidos foram razoáveis, obtendo-se múltiplos ótimos locais ou próximos do ótimo, apesar do fato de que o ótimo global não pôde ser garantido. Segundo BRION & MAYS (1991), a aplicabilidade do modelo não depende apenas da sua precisão, mas da utilidade e interpretação dos resultados.

JOWITT e GERMANOPOULOS (1992) apresentaram um método baseado na programação linear (PL) para determinar a estratégia operacional de bombas (mínimo custo). Foram levados em conta as eficiências relativas das bombas utilizadas, o contrato da tarifa elétrica, o perfil de consumo-demanda, e as características hidráulicas e restrições operacionais da rede. As suposições simplificadoras adotadas na formulação da programação linear dependem das características particulares da rede considerada, ou seja, as simplificações feitas estão vinculadas a tal rede. O método foi aplicado para um sistema de abastecimento de água no Reino Unido. Este estudo demonstrou que a programação linear, adotando suposições simplificadoras, pode ser usada para a solução do problema de determinação de estratégia de operação otimizada das bombas numa rede de abastecimento de água. O método foi aplicado a um sistema de

abastecimento para um período de 24 horas com êxito na minimização do consumo de energia elétrica através da seleção de bombas, produzindo significativa redução nos custos com bombeamento.

PEZESHK et al. (1994) apresentaram um modelo de otimização com programação não linear (PNL) para minimizar os custos com bombeamento tanto para os poços tubulares profundos como para um sistema de distribuição e abastecimento de água. Foi desenvolvido um modelo estruturado do sistema, alimentado por informações físicas da rede (nós e tubos do modelo), todas as bombas, reservatórios e válvulas de controle de vazões. O modelo de simulação em conjunto com um algoritmo de otimização foi aplicado utilizando a programação não-linear MINOS. Para uma determinada demanda, produziu-se a melhor combinação operacional de bombas para que as restrições sejam atendidas. O modelo foi aplicado ao sistema de abastecimento de água da cidade de Memphis, Tennessee. Esta metodologia mostrou-se eficiente quando aplicada a dois exemplos teóricos, pois produziu economias significativas quanto ao custo da operação, mas necessitam partir de algoritmos robustos e sensitivos, ou seja, necessitam de riqueza nas informações de campo.

PEZESHK e HELWEG (1996) propuseram uma metodologia para otimizar a operação de um sistema de abastecimento de água. O modelo seleciona quais bombas são acionadas em horários programados através de uma combinação de coeficientes de influência e leituras monitoradas de pressões em pontos estratégicos da rede de abastecimento. Quando a pressão aumenta ou diminui além do valor permitido, a bomba que

apresenta a maior influência e vazão com menor custo é selecionada para corrigir esta deficiência. O algoritmo interage até que uma solução ótima seja encontrada. Utilizaram também o modelo de simulação KYPIPE para calcular vazões e pressões. O sistema de distribuição de água de Memphis, Tennessee, foi utilizado novamente. Uma das vantagens do algoritmo de busca é a sua velocidade de processamento, pois a solução é alcançada após duas ou três iterações, o que significa que o modelo é uma ferramenta que pode ser utilizada na operação de sistemas de abastecimento em tempo real. A principal desvantagem do programa foi a incerteza quanto à garantia de um ótimo global e o fato de não considerar a variação das tarifas de energia ao longo do dia.

NITIVATTANANON et al. (1996) desenvolveram um modelo para gerar estratégias operacionais de bombas em tempo real de operação para um sistema de abastecimento de água complexo, que considera as dificuldades como sendo a variação de tarifas (referente aos custos de energia), descargas de bomba discretas e outras restrições físicas. O sistema foi decomposto no espaço, em vários subsistemas, e no tempo, discretizando-se o período de planejamento em intervalos horários de operação. A otimização progressiva foi aplicada para resolver um modelo de programação dinâmica (PD). As descargas das bombas foram discretizadas e rearranjadas por métodos heurísticos. As maiores dificuldades na otimização da operação de sistemas de abastecimento de água em tempo real foram:

- Variação horária da tarifa de energia;

- Dimensão e diferentes configurações de sistemas de distribuição de água;
- Descargas de bombas distintas.

O UK Water Research Centre também estudou vários métodos para resolver o problema de estratégia operacional de bombas. Dependendo da complexidade do sistema e do potencial computacional disponível, programação linear (PL), programação de fluxo em rede e programação dinâmica (PD) podem ser usados, segundo seus estudos. MAECKLE et al. (1995) utilizaram uma aproximação para a estratégia operacional de bombas, usando os AGs. O trabalho incluiu a melhora desta aproximação e a investigação com o uso de AGs para resolver o problema de estratégia operacional de bombas. A possibilidade de incluir o critério de acionamento de bomba no algoritmo de otimização permitiu a introdução de um número máximo de acionamentos como uma restrição dentro da aproximação por programação dinâmica (PD) proposto por LANSEY et al. (1994). Então o algoritmo foi executado para vários intervalos de tempo, com diferentes restrições, por exemplo, sobre o número máximo de acionamentos. Baseado nesta escolha o operador pode decidir qual estratégia operacional de bomba será aplicada ao sistema. Na aproximação por AGs, estas restrições podem ser implementadas nos cálculos de custo para penalizar simples violações. A busca Multi-Objetivo com AGs foi usada considerando os custos de energia e o critério de acionamento de bombas. Uma vantagem foi à escolha de soluções possíveis produzidos com uma única execução do algoritmo de otimização. Um grande número de aplicações de AGs em problemas de

otimização demonstrou suas habilidades para obter soluções tão boas quanto os métodos clássicos. SIMPSON et al. (1994) e SAVIC e WALTERS (1997) obtiveram um ótimo global para o problema de dimensionamento de redes de abastecimento de água. SAVIC e WALTERS (1995a,b) trataram o problema de locação de válvulas isoladas em redes de abastecimento de água e REIS et al. (1997) considerou o problema de locação ótima de válvulas de controle em redes de abastecimento de água com redução de perdas como função objetivo para ser maximizado.

SAVIC et al. (1997) apresentaram uma análise de AGs multiobjetivos para determinar estratégias operacionais de bombeamento em sistemas de abastecimento de água que, segundo os autores, foi um dos principais assuntos em foco pelas empresas responsáveis pelos sistemas de distribuição de água do Reino Unido. Os maiores gastos das concessionárias de água são os de consumo de energia elétrica e manutenção de equipamentos de bombeamento. Devido à grande complexidade do problema, a maioria dos métodos convencionais de otimização não apresentam resultados satisfatórios impondo o uso de novas técnicas de otimização mais robustas, como a implementação de AGs multiobjetivos para resolução do problema. O sistema de distribuição de água estudado por SAVIC et al. (1997) foi composto de um único reservatório, abastecido por quatro bombas através de um único conduto, ao longo de um período de 24 horas, com registros históricos de consumo de água de um dia médio. O modelo incorpora uma tarifa de energia diurna como sendo duas vezes o valor da tarifa de energia noturna. O período de

otimização das bombas foi dividido em intervalos de 1 hora, ou seja, a bomba permanece ligada ou desligada neste intervalo de tempo. Cada intervalo de tempo foi representado pelo número 0 (bomba desligada) ou 1 (bomba ligada). A cadeia de informações ou *string* do elemento é composta por 24 horas x 4 bombas, descrevendo o espaço das possíveis soluções durante o período simulado, ou seja, uma equação com 96 variáveis de decisão. A função objetivo a ser minimizada agrega o valor do custo de energia elétrica consumida durante o período de simulação acrescido de penalidades por violações das restrições do sistema. As penalidades são devidas ao não cumprimento das seguintes restrições: nível máximo e mínimo do reservatório e mesmo nível no início e final do período de simulação. As penalidades são importantes no processo de busca, pois se as penalidades são de pouca influência, a busca provavelmente ficará fora do espaço de soluções ótimas, enquanto que penalidades mais influentes (de maior valor) forçam o algoritmo a buscar novos espaços, convergindo para uma solução ótima. A robustez da otimização via AGs foi comprovada, pois alterando o valor do nível do reservatório, os resultados rapidamente convergiram para uma solução próxima daquela obtida inicialmente.

RIBEIRO (2000) analisou os custos de sub-sistemas de abastecimento urbano através de água subterrânea na cidade de Araraquara/SP, utilizando como ferramenta de otimização os AGs, determinando os custos referentes à construção, manutenção e operação dos poços. Outro estudo também voltado para a utilização desta ferramenta foi apresentado por REIS e AKUTSU (2002), em que tal ferramenta é

empregada na resolução do problema de operação de reservatórios via AGs e discutem-se as potencialidades do método através de um exemplo de aplicação simples para um sistema composto de quatro usinas hidrelétricas que podem ter sua carga complementada por uma termoelétrica. O problema foi definido como de determinação da estratégia operacional de menor custo, em termos das vazões turbinadas para cada usina hidrelétrica ao longo do tempo.

Após análise dos trabalhos, os AGs podem ser considerados uma poderosa ferramenta no processo de otimização de sistemas complexos.

Suas principais características são:

- Manipulação direta de códigos;
- Busca paralela através do espaço de soluções, não apenas a partir de um ponto;
- Busca via amostragem;
- Utiliza operadores estocásticos e não determinísticos;
- Equaciona sistemas complexos, por permitir que sejam consideradas Funções Objetivos descontínuas, com derivadas, etc.

Por tratar-se de um método de otimização que vem apresentando um ótimo desempenho no tratamento de diversos problemas com elevado grau de complexidade, foi escolhido como ferramenta básica na solução do problema de otimização deste trabalho.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta uma breve introdução ao método empregado no estudo da operação otimizada de sistema de abastecimento de água, os Algoritmos Genéticos (AGs).

4.1. INTRODUÇÃO AOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Com o objetivo de se obter soluções eficientes e eficazes para problemas de otimização complexos, novas técnicas de otimização utilizando algoritmos evolucionários estão sendo aplicadas atualmente, são os Algoritmos Genéticos (AGs).

Os AGs foram primeiramente estudados e desenvolvidos por HOLLAND (1975), cujo objetivo era projetar sistemas artificiais baseados nos processos adaptativos dos sistemas naturais. GOLDBERG (1989) definiu os AGs como uma técnica de busca estocástica inspirada no mecanismo de seleção e genética natural que matematicamente imita os processos biológicos e genéticos, aplicados a resolução de problemas de otimização.

Os AGs trabalham a partir de uma população inicial de possíveis soluções para o problema ("indivíduos"), gerada aleatoriamente. Cada solução é representada por um conjunto de variáveis de decisão (características individuais) devidamente codificadas. A cada geração, essas soluções são avaliadas quanto ao seu desempenho (adaptação ao meio). Ao longo dessas gerações, elas sofrem a ação dos operadores genéticos de seleção, cruzamento e mutação, através dos quais as melhores soluções

são retidas e as piores descartadas dando origem a novas populações de soluções. Após um grande número de gerações, os melhores indivíduos encontrados representam possíveis soluções para o problema. Os AGs, assim como outras técnicas evolucionárias de otimização foram classificadas atualmente com a denominação de Sistemas Inteligentes e são abordadas por GALVÃO E VALENÇA (1999).

4.2. TERMINOLOGIA DOS AGs

Muitas das terminologias utilizadas nos AGs advêm da biologia, pois a teoria segue o princípio da seleção natural e sobrevivência dos indivíduos mais aptos, declarado no ano de 1859 pelo naturalista e fisiologista inglês CHARLES DARWIN, segundo o qual *"Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes"*.

O meio ambiente é seletivo, pois em cada geração, somente os mais aptos conseguem se reproduzir e gerar descendentes. Durante a reprodução, podem ocorrer fenômenos como a mutação genética, através do qual partes do material genético armazenado nos cromossomos sofrem alterações, levando a uma variabilidade das espécies. A seleção natural pode agir sobre os indivíduos, tanto de maneira benéfica quanto maléfica, no que diz respeito as suas condições de adaptação e aptidão à sobrevivência.

Nesse contexto, os AGs utilizam-se de terminologia própria, sendo possível um paralelo com a nomenclatura biológica, conforme apresentado a seguir.

Cromossomo: cada solução candidata é representada por um indivíduo, ou seja, uma *string*. Cada *string* representa uma cadeia de possíveis valores para o conjunto de variáveis de decisão do problema. Cada elemento da *string* representa um gene, como visto em BEASLEY et al. (1993a);

Gene: é a menor fração do cromossomo onde estão armazenadas as informações de hereditariedade que controlam as características do indivíduo. Nos AGs ele representa uma informação ou um elemento vetorizado;

Indivíduo: é um elemento da população. Em AGs ele representa uma possível solução para o problema;

Genótipo: representa a composição genética contida nos cromossomos de um indivíduo, ou seja, é o código genético;

Fenótipo: é o conjunto decodificado de variáveis de decisão, ou função de aptidão ("*Fitness*").

Quanto maior o valor de sua aptidão, melhor é a solução representada por esse indivíduo. Assim, a aptidão na terminologia de AGs corresponde ao valor da função objetivo na terminologia de Pesquisa Operacional. A aptidão de um indivíduo pode ser vista como o desempenho que esse indivíduo apresenta na resolução do problema. O sucesso dos AGs dependem da escolha adequada da medida de aptidão, ou seja, da

função objetivo e da adequação dos operadores genéticos ao problema que se tem em mãos. Essa tarefa nem sempre é simples e fácil.

Se os AGs forem implementados corretamente, a população evolui durante as sucessivas gerações, de tal maneira que o desempenho do melhor indivíduo e a média de desempenho da população cresce em direção ao valor do ótimo global. A convergência significa a progressão na direção do aumento da uniformidade dos resultados. A população converge para uma solução ótima quando todos os genes têm convergência.

4.3. TÉCNICA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos são ferramentas de busca estocástica que visam à reprodução matemática dos mecanismos de seleção natural e genética das populações, através do processo de sobrevivência e adaptação dos mais aptos ao habitat. Os princípios básicos de AGs foram estabelecidos primeiro por HOLLAND (1975), e foram discutidos por vários pesquisadores, tais como GREFENSTETTE (1986), GOLDBERG (1989), DAVIS (1991), BEASLEY et al. (1993a), etc.

Os AGs usam o vocabulário associado com a genética natural, onde indivíduos são representados como *cromossomos* ou *strings* em uma população, que representam possíveis soluções para um determinado problema. A cada indivíduo é atribuído um valor de desempenho ou aptidão (*fitness*), de acordo com a sua qualidade como solução do problema. Com base nessa avaliação, uma nova população de soluções é formada, através

do uso de operadores genéticos específicos. Segundo MICHALEWICZ (1994), as populações de solução podem ser produzidas através de substituição "geracional", criando indivíduos filhos em número suficiente para substituir a população presente ou criando um número reduzido de indivíduos filhos em substituição aos piores indivíduos da população presente ($p \geq 1$), chamado de procedimento "steady-state".

Basicamente, esses operadores combinam a sobrevivência dos mais aptos dentro a população de indivíduos com uma troca aleatória, mais estruturada, de informações entre pares de indivíduos de modo que, a cada geração, um novo conjunto de indivíduos é criado, usando partes dos indivíduos mais aptos da geração anterior (*crossover*). Assim, serão produzidos novos indivíduos como descendentes, que herdam algumas características de cada um dos pais.

Uma nova população de possíveis soluções é formada, selecionando os melhores indivíduos da geração atual e o restante das vagas com outros que são sorteados através da técnica da roleta. Esse sorteio é realizado para que não só os melhores tenham chance de passar para a próxima geração (elitismo), mas que outros indivíduos também componham a geração seguinte, pois isso aumenta o campo de busca. Essa nova geração contém uma proporção maior de boas características dos melhores elementos da geração anterior. Dessa forma, depois de várias gerações, as boas características são espalhadas pela população, sendo misturadas e trocadas com outras boas características, e assim por diante. Favorecendo o emparelhamento dos indivíduos mais aptos, as áreas mais promissoras do

espaço de busca são pesquisadas. Se os AGs forem bem projetados, a população vai convergir para a solução ótima do problema. Após um grande número de gerações, geralmente definido como o critério de parada dos AGs, os indivíduos mais aptos são encontrados pelo algoritmo. A Figura 1 a seguir mostra a estrutura de operação de um AG.

1. Uma população inicial é criada randomicamente;
(valores aleatórios iniciais);
2. Operadores Genéticos são definidos;
(regras de seleção, cruzamento e mutação);
3. Os indivíduos são escolhidos pelos operadores através de uma técnica de seleção (elitismo, roleta, etc...);
4. Os operadores são aplicados e cria-se a nova geração de indivíduos
Avalia-se o desempenho de cada indivíduo (fitness);
5. A nova geração substitui a antiga para criar a próxima população;
6. Se a condição de parada não foi atendida volte para o passo 2.

Figura 1 – Estrutura de funcionamento dos AGs tradicionais

A potencialidade dos AGs advém do fato da técnica ser robusta, segundo GOLDBERG (1989), podendo ser aplicada a vários problemas, inclusive àqueles que dificilmente conseguem ser resolvidos através de outros métodos. Os AGs não garantem que a solução ótima para o problema

seja encontrada, mas, uma vez bem projetados, apresentam grande chance de identificação de uma solução “próxima da ótima”, de maneira razoavelmente rápida, como afirma BEASLEY et al. (1993a). Quando existem técnicas especializadas para resolução de um determinado problema, elas quase sempre apresentam pior desempenho que os AGs, tanto relacionado à velocidade de processamento quanto à precisão do resultado final. Sendo assim, a proposta é aplicar AG na resolução de problemas complexos cuja função objetivo apresenta diferencial de avaliação ou dotados de numerosas variáveis de decisão. Mesmo os problemas passíveis de serem resolvidos através de técnicas de busca convencionais de maneira satisfatória podem utilizar os AGs conjuntamente com essas técnicas, aumentando as chances de obtenção do ótimo global.

4.4. CODIFICAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO

Os AGs trabalham diretamente com a manipulação de códigos, sendo estes códigos usualmente números binários ou reais. Normalmente utilizam-se soluções com codificação binária para cadeias pequenas, mas quando se tratam de cadeias extensas, costuma-se utilizar codificação numérica real, pois o tempo computacional para obter tal resultado é significativamente reduzido.

Solução 1:	0.1	0.6	0.4	0.8	0.4	0.9	0.2	(código real)
Solução 2:	1	4	4	7	9	8	2	(código real)
Solução 3:	0	1	0	1	1	1	0	(código binário)

Figura 2 – Códigos representativos das soluções

4.5. OPERADORES GENÉTICOS

Os operadores *seleção* e *cruzamento* podem ser considerados como os principais operadores genéticos, devido à sua ampla utilização e importância para os fundamentos teóricos dos AGs. A *mutação* tem uma importância menor em relação aos outros operadores, mas também é bastante utilizada.

4.5.1. SELEÇÃO

É um operador segundo o qual os indivíduos são copiados para formar a população da geração seguinte, em quantidades proporcionais à aptidão de cada um, ou seja, ao valor da função objetivo associado a cada um. As cópias produzidas são submetidas à ação de outros operadores genéticos, para a geração de novos indivíduos. Uma das formas de seleção mais simples e mais usada é a seleção pela regra da roleta ou amostragem estocástica com substituição. Essa seleção simula o procedimento de girar uma roleta, onde cada indivíduo da geração atual representa uma fatia da roleta, sendo o tamanho dessa fatia proporcional à sua aptidão. Assim,

quanto mais apto o indivíduo, maior a probabilidade de ser selecionado. No entanto, se não for feito nada além da seleção, a trajetória da população seria constituída apenas de modificações das proporções das *strings* contidas na população inicial. O algoritmo precisa ter meios para explorar diferentes estruturas, de acordo com KOZA (1992) e GOLDBERG (1994). Outras técnicas de seleção alternativas também são utilizadas, como aleatória uniforme e por torneio (GOLDBERG E DEB, 1990). Seleção tipo torneio é a competição direta entre dois indivíduos, segundo a qual é selecionado o que apresentar melhor valor da função de aptidão (fitness).

A seleção por ordenação ou rank das soluções consiste em ordenar os indivíduos dentro da população utilizando escala uniforme automática dos valores da função de aptidão.

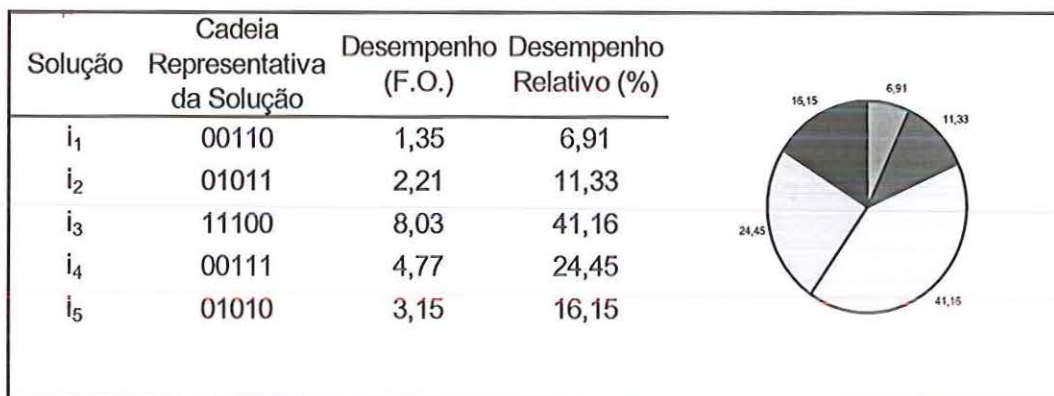


Figura 3 – Exemplo de seleção dos indivíduos pela Regra da Roleta ou Amostragem Estocástica com substituição

Solução	Cadeia Representativa da Solução	Desempenho (F.O.)	
i_1	00110	1,35	←
i_2	01011	2,21	
i_3	11100	8,03	←
i_4	00111	4,77	
i_5	01010	3,15	

Seleção por Torneio

 $i_3 > i_1$
 $8,03 > 1,35$

Figura 4 – Exemplo de seleção dos indivíduos pela Método do Torneio

Solução	Cadeia Representativa da Solução	Desempenho (F.O.)	Método da Ordenação ou Rank	Solução	Cadeia Representativa da	Desempenho (F.O.)
i_1	00110	1,35	→	i_3	11100	8,03
i_2	01011	2,21		i_4	00111	4,77
i_3	11100	8,03		i_5	01010	3,15
i_4	00111	4,77		i_2	01011	2,21
i_5	01010	3,15		i_1	00110	1,35

Figura 5 – Exemplo de seleção dos indivíduos por Ordenação ou Rank

4.5.2. CRUZAMENTO

É um operador genético primário de exploração de estruturas. Objetiva proporcionar a combinação de *substrings* de maneira satisfatória. A aplicação do operador cruzamento básico acontece em três etapas. Dois indivíduos, que constituem um par, são selecionados da população. Um ponto de cruzamento ao longo da *string* é escolhido aleatoriamente e os valores dos genes, a partir dessa posição, são combinados entre as duas

cadeias como mostra a Figura 6. Essas duas novas soluções são inseridas na população. O processo continua, emparelhando os indivíduos e gerando seus filhos até a nova população estar completa, preenchida com os filhos que foram construídos a partir dos pedaços e fatias dos “bons” pais (selecionados). O cruzamento pode ser realizado sobre alguns indivíduos, quando se especifica uma taxa de cruzamento, de acordo com Goldberg (1989). Este tipo é o cruzamento de um ponto, podendo ser de dois pontos ou uniforme, conforme WARDLAW e SHARIF (1999). O cruzamento de dois pontos define novos indivíduos a partir da troca de informações genéticas entre dois pontos escolhidos aleatoriamente dos pais e o cruzamento uniforme considera a troca de genes individuais na criação de novos indivíduos a partir do material genético dos pais.

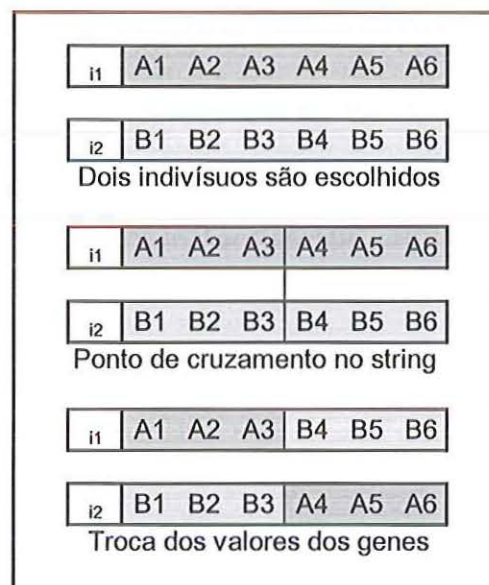


Figura 6 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento de Um Ponto



Figura 7 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento de Dois Pontos

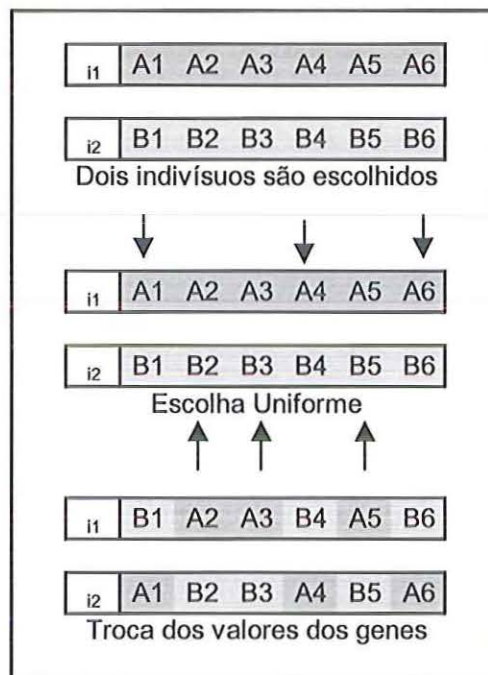


Figura 8 – Exemplo de aplicação do operador Cruzamento Uniforme

4.6. MUTAÇÃO

É um operador que modifica o valor das variáveis de decisão da cadeia de uma possível solução, escolhidas aleatoriamente. Tal operador pode ser visto como uma política de introdução de diversidade genética, ou seja, contra a não exploração de alguma região do espaço de busca. Além disso, esse operador dá aos AGs a característica de ser uma técnica *hill-climbing*, ou seja, permite o reconhecimento de ótimos locais, como afirma GOLDBERG (1994).

Pode-se observar que num cruzamento por simples troca, nem a seleção nem o cruzamento criam novos valores de genes. Assim, se uma população não possui um valor em uma determinada posição, e esse valor é essencial para se obter uma boa solução, somente o operador mutação pode produzir esse valor de gene nessa posição, destaca GOLDBERG (1989). Tipicamente, a taxa de mutação é muito baixa, com pequena probabilidade entre 0.001 e 0.1. A mutação uniforme é realizada de tal forma que todos os genes ou elementos de um cromossomo tenham a mesma probabilidade de sofrer mutação. Há também a mutação não uniforme, onde são aplicados incrementos controlados nos valores das variáveis de decisão de acordo com a iteração.

Antes da Mutação:	1	1	0	0	1
Depois da Mutação:	1	1	1	0	1

Figura 9 – Exemplo de aplicação do operador Mutação

Estudos indicam que, no início do processo evolutivo, o operador de cruzamento é muito importante e, portanto, a taxa de cruzamento deve ser alta. No decorrer do processo, devido à homogeneidade genética entre os indivíduos, esse operador perde sua importância gradativamente. Pela diversidade genética da população no início do processo evolutivo e pela homogeneidade genética crescente dos indivíduos no decorrer do processo, o operador de mutação ganha importância gradativamente. Neste contexto, sugere-se que à medida que a taxa de cruzamento vá decrescendo durante a evolução das populações, a taxa de mutação vá crescendo, conforme estudos de GREFENSTETTE (1986), GOLDBERG (1989), DAVIS (1991), KOZA (1992), GOLDBERG et al. (1992), BEASLEY et al. (1993b), HEITKOETTER (1993), e FANG et al. (1993).

4.7. ELITISMO

Nos operadores de seleção e cruzamento, os indivíduos de cada geração são classificados crescentemente de acordo com o valor da função de aptidão. Os melhores indivíduos são selecionados e passam para a geração seguinte sem sofrer alterações, garantindo assim que sua informação não seja perdida ao longo das gerações. O Elitismo foi proposto por DEJONG (1975), um dos trabalhos pioneiros sobre a utilização de AGs. Com a utilização deste operador, a otimização tende a convergir mais rapidamente para a solução do problema.

5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM ESTUDO

A escolha do sub-sistema de abastecimento de água estudado se deu devido a falta de controle na operação das bombas, o que ocasiona um elevado custo nas contas de energia elétrica.

O subsistema de abastecimento de água é controlado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE – São Carlos) e localiza-se na rua Nações Unidas, esquina com a rua Elisiário F. de Araújo, no bairro Jardim Cruzeiro do Sul, na cidade de São Carlos. Possui perfil de consumo residencial com uma população estimada em 25.230 habitantes. Apresenta-se a planta do subsistema no ANEXO A. Possui dois reservatórios para armazenamento de água, sendo um elevado com capacidade de reservação de 200 m³ e outro enterrado com 700 m³. O reservatório elevado é abastecido, tanto pela bomba de recalque que retira água do reservatório enterrado, como pela bomba do poço artesiano. A bomba do poço artesiano pode tanto abastecer o reservatório elevado como o reservatório enterrado. Quando o nível de água do reservatório enterrado começa a diminuir, recebe contribuição de água do subsistema Boa Vista. Portanto, o subsistema possui duas fontes de alimentação de água:

- Um poço artesiano, que bombeia uma vazão fixa de 117 m³/h;
- Uma adutora de reforço do subsistema Jardim Boa Vista com vazão variável de 0 a 216 m³/h.

O poço artesiano possui coordenadas UTM 201.70 EW e 7559.18 NS, com cota topográfica 850 metros e ano de perfuração 1998 pela empresa CPA. A bomba instalada no poço é do tipo EBARA BHS 1010-8 com 140 HP, com tensão elétrica de alimentação de 440 V, instalada a uma

profundidade de 168,64 metros. Sua rotação é fixa, não variando a vazão e a curva característica da bomba é apresentada na Figura 39 que se encontra no ANEXO B.

Há duas bombas de recalque que retiram água do reservatório enterrado através de um poço de sucção, apresentando rotação variada devido a um equipamento instalado (inversor de frequência - varia a rotação do motor da bomba, variando a vazão de 0 a 300 m³/h), o sistema trabalha com apenas uma bomba para retirada de água, permanecendo a outra como reserva. São da marca IMBIL – ITA 125/260, motor WEG 30 CV, Modelo 180M – 1750 rpm, com tensão elétrica de alimentação de 220V. As curvas características dessas bombas encontram-se na Figura 40 inserida no ANEXO B.

Não foi possível levantar as curvas das bombas em campo, devido a esse fato, adotaram-se os valores apresentados na curva original das bombas fornecidos pelo fabricante para a simulação computacional.

A água que chega da adutora do subsistema Jardim Boa Vista é lançada num poço de sucção que abastece a bomba de recalque (possui interligação direta com o reservatório enterrado, possuindo mesmo nível). O poço de sucção pode receber água da adutora do Jardim Boa Vista e do extravasor do reservatório elevado (volume de água excedente que retorna para o poço de sucção).

O reservatório enterrado tem a finalidade de manter o nível satisfatório da água para o bombeamento no poço de sucção, possui o formato de um tronco de pirâmide invertido com as seguintes dimensões: na

parte superior com 23,85 metros por 13,70 metros e na dimensão inferior com 16,80 metros por 7,00 metros. O fundo do reservatório apresenta cota de 861,50 metros e o nível d'água máximo encontra-se na cota 865,00 metros, totalizando uma profundidade de 3,50 metros com um volume máximo de reservação de 500 m³.

O reservatório elevado possui formato cilíndrico com diâmetro interno de 5,75 metros, com a cota de fundo igual a 878,23 metros e nível d'água máximo de 885,87 metros, totalizando um volume de reservação de 200 m³. Quando o nível do reservatório elevado ultrapassa seu limite máximo, há um extravasor que retorna o excedente para o poço de sucção. O reservatório elevado abastece diretamente a rede de água do bairro Jardim Cruzeiro do Sul.^v

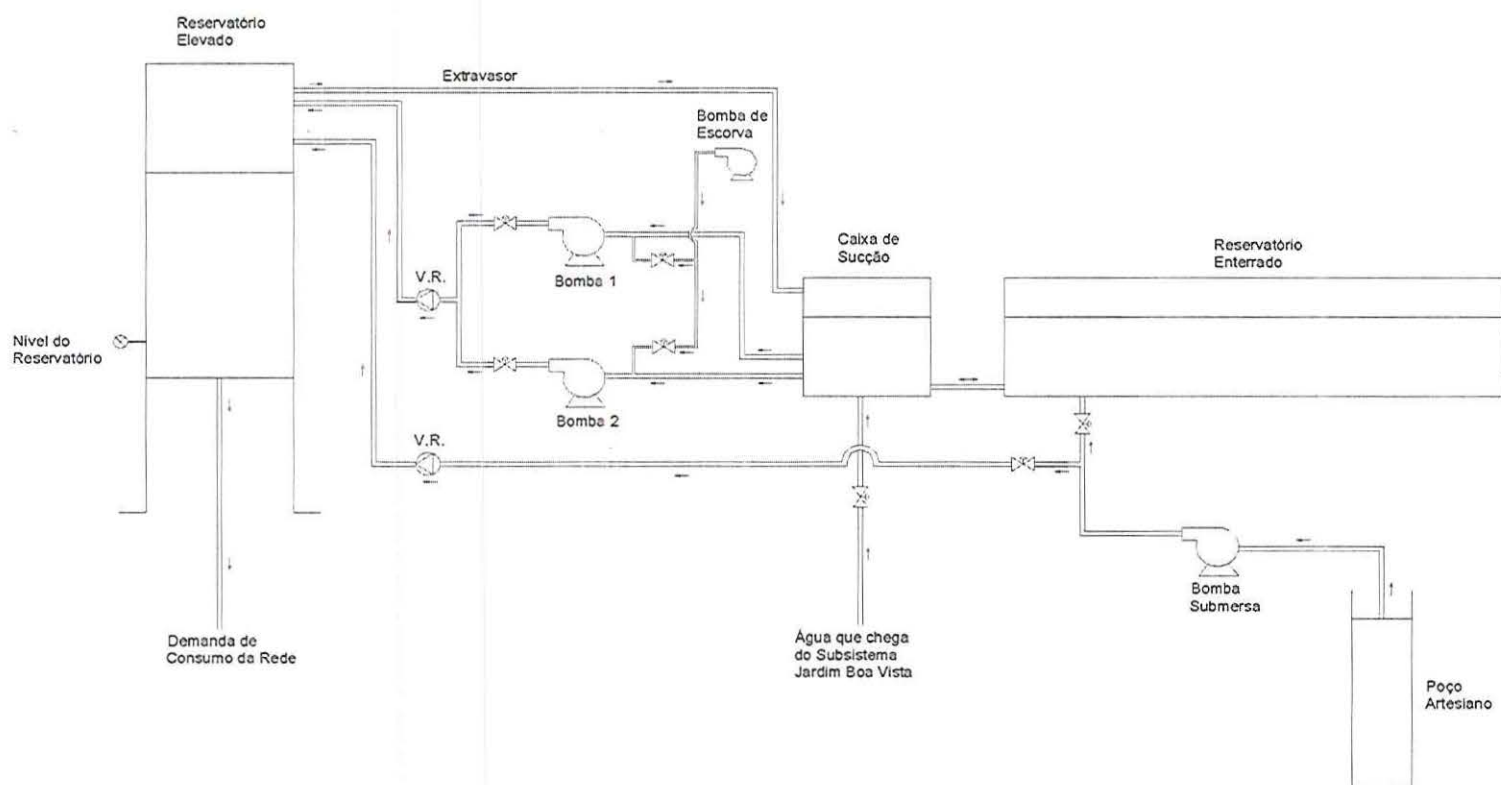


Figura 10 – Esquema Geral do Subsistema Jardim Cruzeiro do Sul

5.1. PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO E AS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Atualmente a operação do subsistema do Jardim Cruzeiro do Sul é realizada manualmente. O operador monitora os níveis dos reservatórios por meio de um computador central localizado no SAAE – São Carlos. Quando um dos níveis tende a ultrapassar seu valor máximo, o operador aciona o controle que desliga imediatamente as bombas de alimentação do reservatório. Isso também ocorre quando o nível do reservatório começa a abaixar, aproximando-se do limite crítico, ligando as bombas do poço artesiano e do recalque para recuperar o nível. O operador utiliza os níveis pré-definidos de operação dos reservatórios elevado e enterrado estipulados pelo SAAE. Para determinados horários, as bombas devem permanecer ligadas com vazão total, ou seja, com a rotação máxima, pois não é possível recuperar o nível do reservatório durante todo o dia se tal operação não for realizada. Foram utilizados na simulação computacional os dados iniciais do subsistema baseado em parâmetros de operação utilizados pelo SAAE.

Formulou-se o problema de otimização operacional das bombas através de equações que apresentam seis variáveis de decisão, sendo quatro variáveis do tipo inteiro 0 ou 1 (desliga ou liga as bombas) e 2 variáveis do tipo real (valores de vazão bombeada), para um período de simulação de 24 horas, resultando num total de 144 variáveis de decisão. A estratégia de otimização operacional do subsistema consiste em:

1. Minimizar a vazão de água de reforço do Jardim Boa Vista, utilizando primeiro os recursos de água do próprio sistema;
2. Atender às restrições quanto ao horário de funcionamento das bombas para o período de operação de segunda-feira à sexta-feira (das 18:00 às 21:00 horas com demanda de potência diferenciada) devido à estrutura tarifária horo-sazonal azul e liberado para o período de sábado a domingo;
3. Atender às restrições de volumes dos reservatórios durante o período de simulação (24 horas), permanecendo entre os volumes mínimo e o máximo;
4. Atender às condições impostas para que o nível inicial e final dos reservatórios sejam os mesmos;
5. Atender às condições de vazões de reforço vindas do Sub-sistema Jardim Boa Vista.

5.2. CONSUMO DE ÁGUA DO SUBSISTEMA

O consumo hídrico da população do Jardim Cruzeiro do Sul foi obtido junto ao SAAE - São Carlos, através de uma campanha de medição de vazão, que compreendem o mês de março de 2000. Devido à tarifa de energia elétrica apresentar valores diferenciados para os dias da semana (segunda-feira a sexta-feira) e para os finais de semana (sábados e domingos), optou-se por fazer a média das demandas para as segundas, terças, quartas, quintas e sextas e para os sábados e domingos.

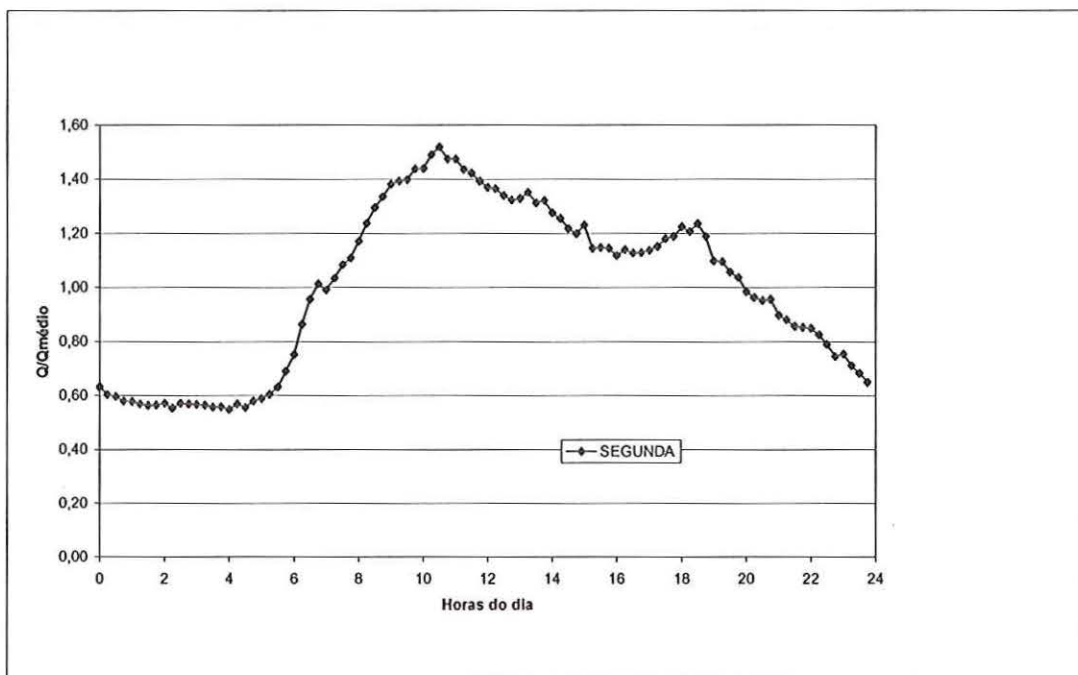


Figura 11 – Curva de consumo referente a média das segundas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

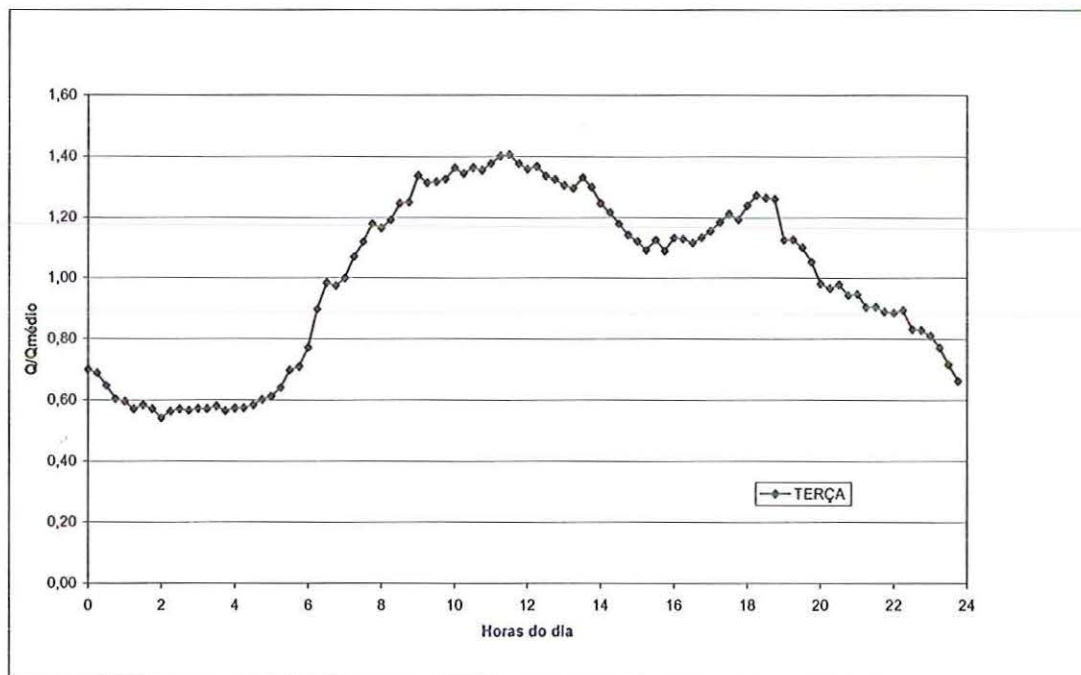


Figura 12 – Curva de consumo referente a média das terças-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

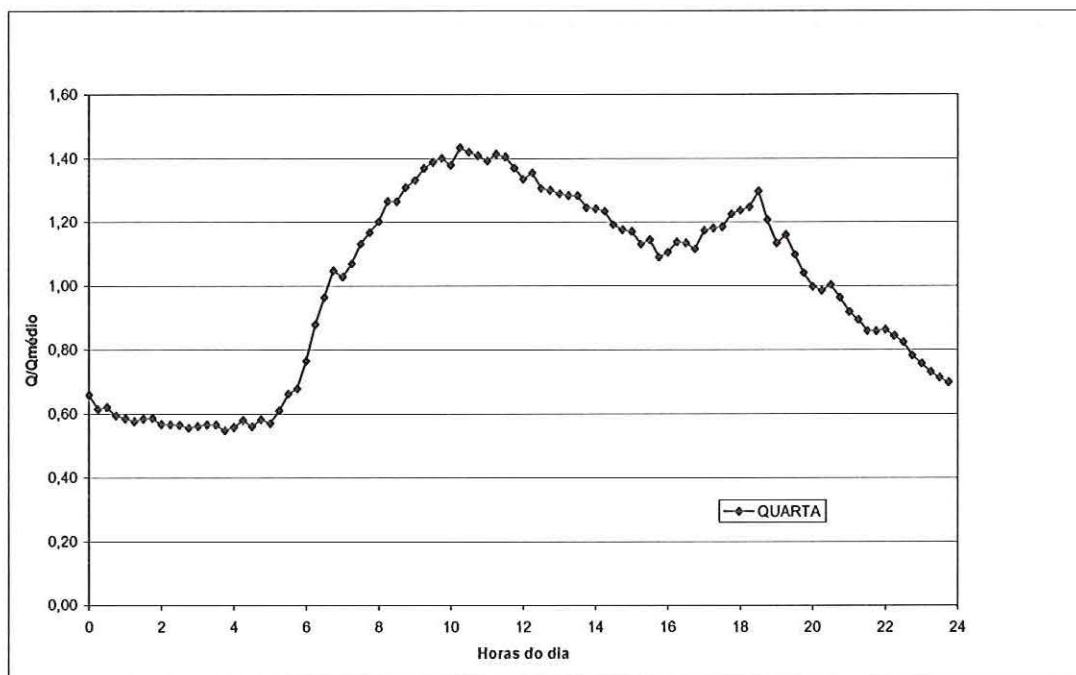


Figura 13 – Curva de consumo referente a média das quartas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

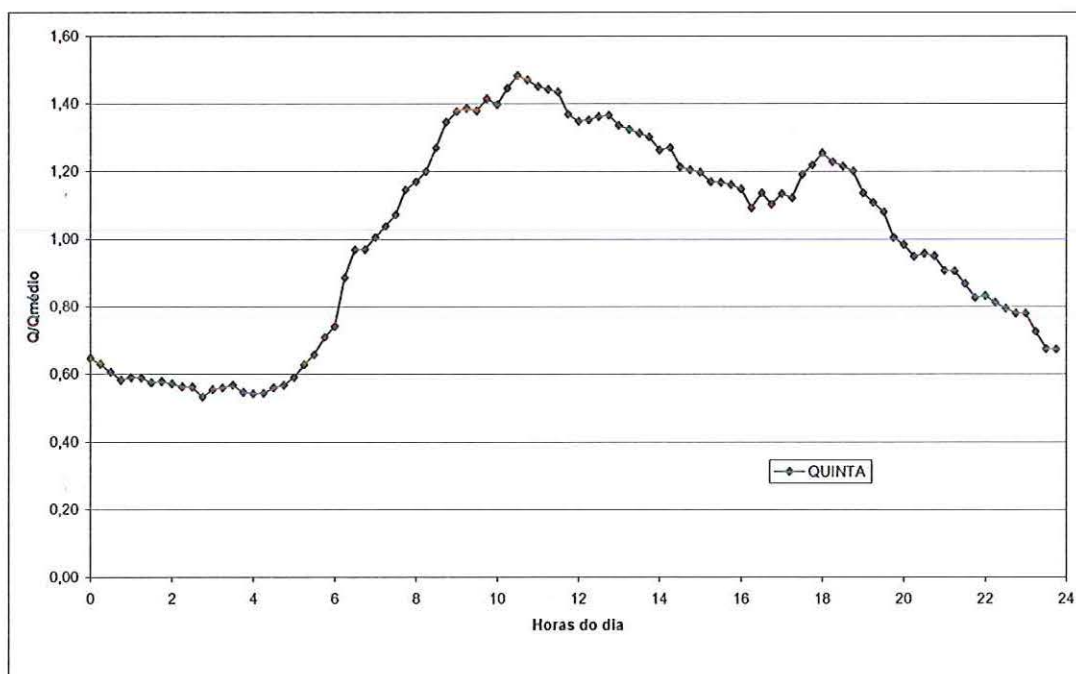


Figura 14 – Curva de consumo referente a média das quintas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

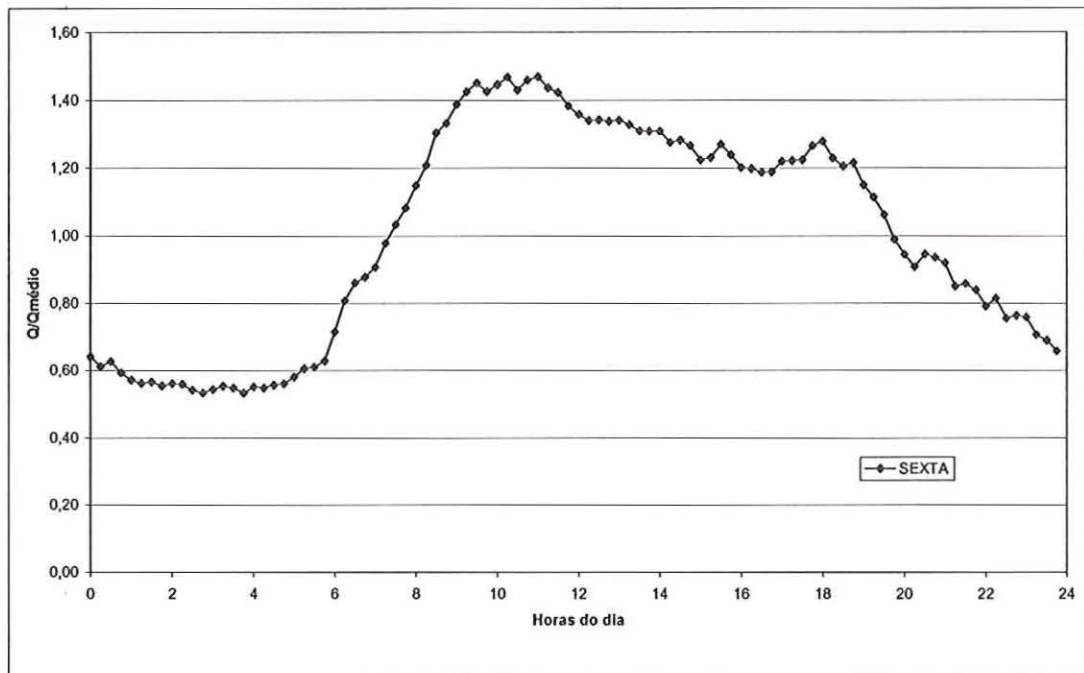


Figura 15 – Curva de consumo referente a média das sextas-feiras do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

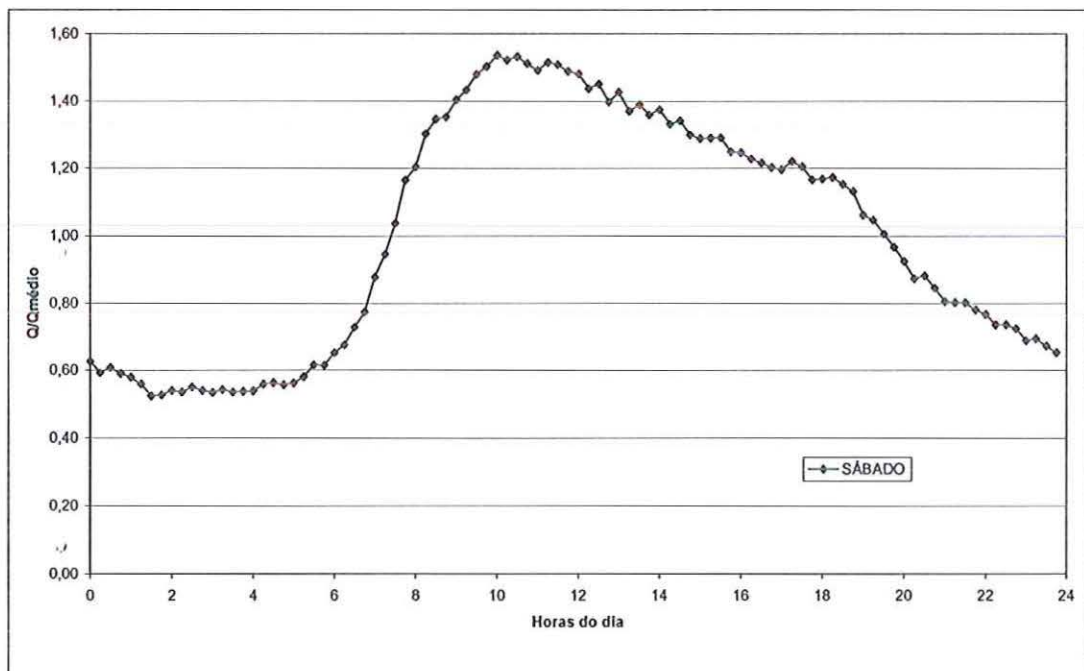


Figura 16 – Curva de consumo referente a média dos sábados do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

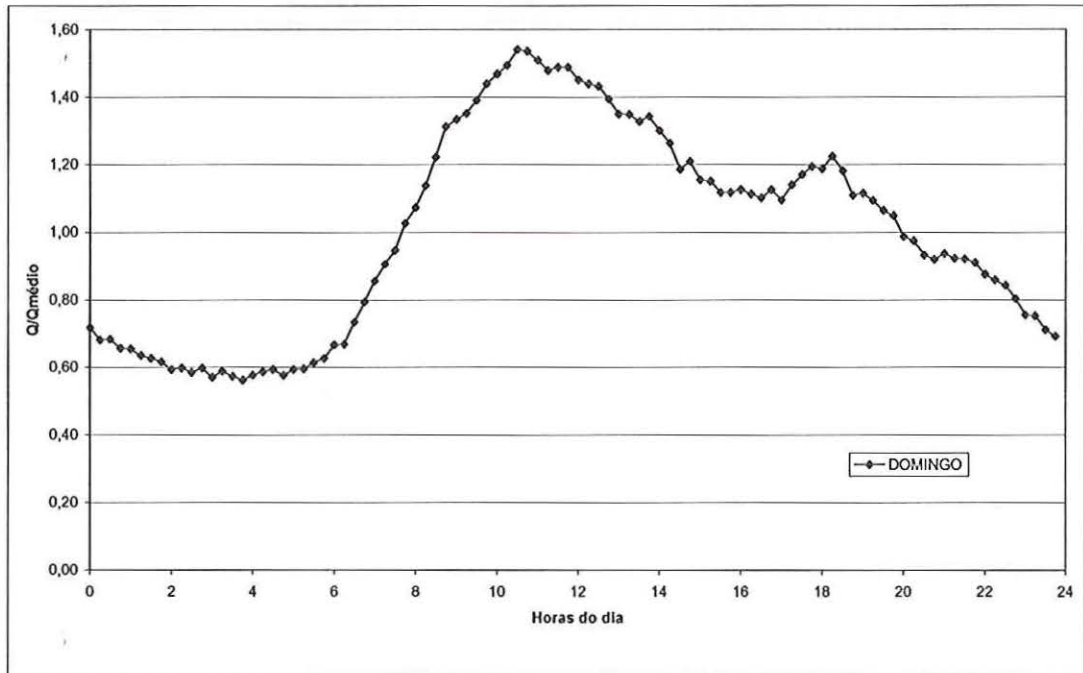


Figura 17 – Curva de consumo referente a média dos domingos do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

Analisando tais gráficos, notam-se semelhanças de comportamento no consumo entre o período de segunda a sexta-feira e no período de sábado a domingo. Tal fato propiciou a adoção de uma curva de vazão média horária para o período de simulação de segunda a sexta-feira e outra curva média para sábado e domingo.

Tabela 1 – Média das vazões horárias de consumo para os períodos de segunda a sexta e sábado a Domingo

Horas do dia	Média das Vazões Segunda a Sexta (m ³ /h)	Média das Vazões Sábado a Domingo (m ³ /h)
1	129	133
2	119	122
3	116	117
4	116	115
5	117	118
6	131	124
7	183	147
8	220	201
9	258	258
10	286	294
11	296	314
12	293	310
13	278	297
14	271	283
15	255	267
16	241	251
17	236	243
18	246	243
19	256	241
20	225	217
21	199	189
22	182	177
23	169	164
24	148	145

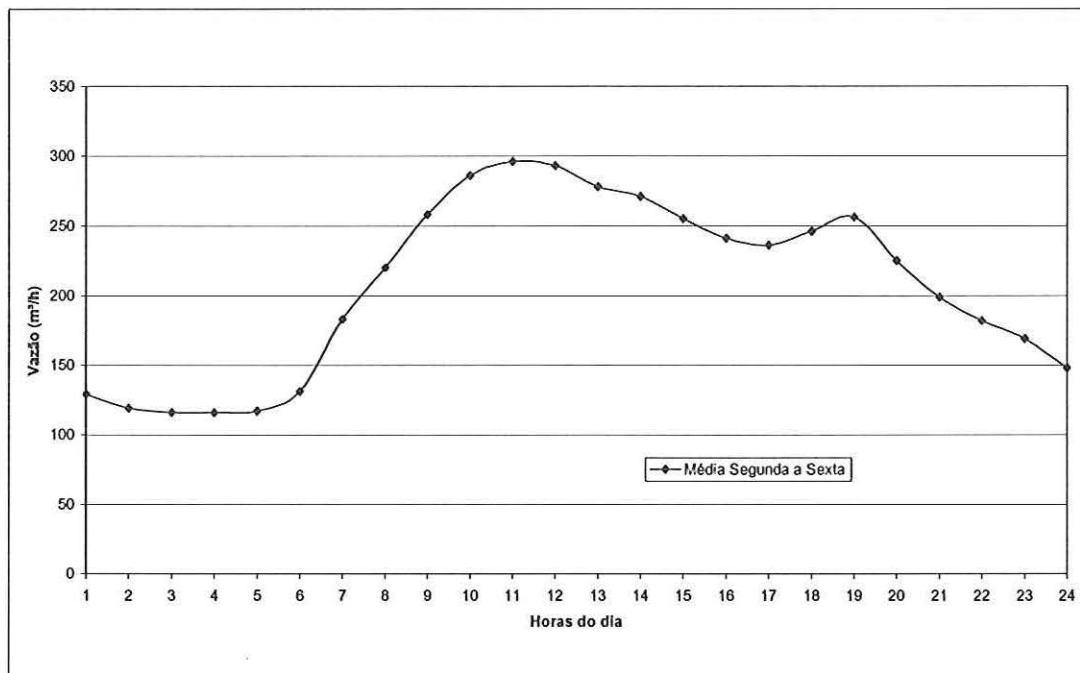


Figura 18 – Curva de consumo referente a média do período de segunda a sexta-feira do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

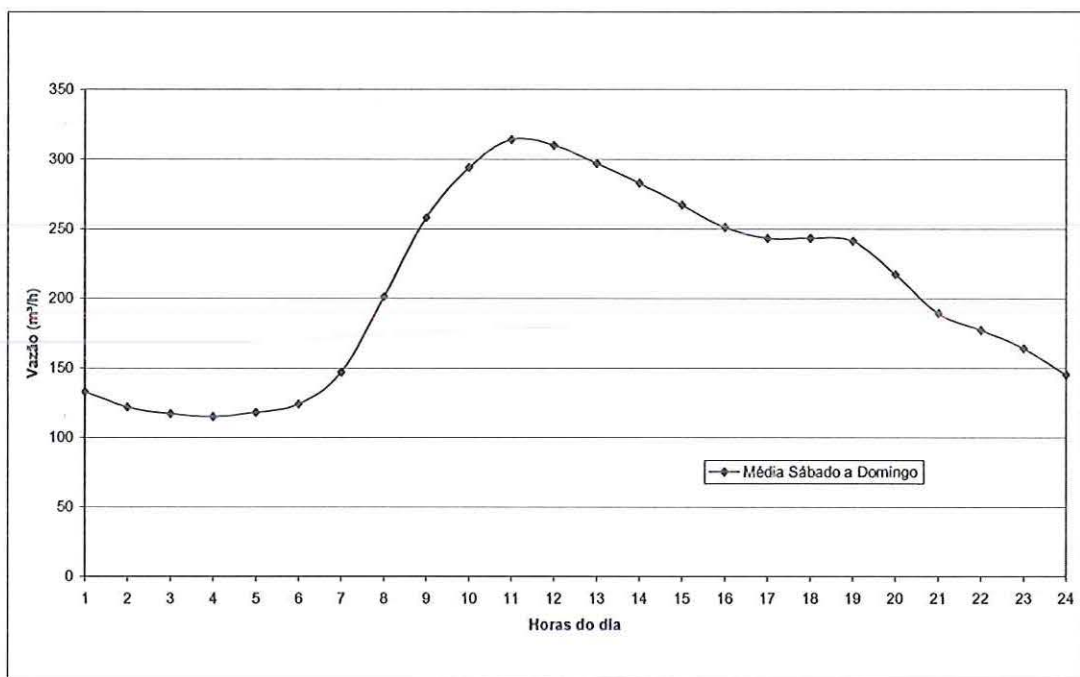


Figura 19 – Curva de consumo referente a média do período de sábado a domingo do mês de março de 2000. Fonte: SAAE – São Carlos

A simulação computacional foi feita levando-se em consideração esses dois casos, para o período de segunda a sexta-feira e para o sábado e domingo, pois as restrições quanto à tarifa de energia elétrica são diferenciadas para as duas situações.

5.3. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

A classificação dos consumidores para a cobrança das tarifas de energia elétrica é determinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O consumidor é classificado em função da atividade exercida (residencial, rural, iluminação pública, industriais, etc) e pode pertencer a dois grupos de faturamento: grupo A (alta tensão) e grupo B (baixa tensão).

O Subsistema de Abastecimento de Água do Jardim Cruzeiro do Sul se enquadra desde outubro de 1999 até setembro de 2004 entre os consumidores do grupo A, que são faturados com as cobranças dos componentes de demanda contratada e consumo. A cobrança da tarifa é feita segundo o sistema horo-sazonal azul, cuja modalidade tarifária é estruturada para aplicação de preços diferenciados de demanda e consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano. A demanda contratada é a demanda a ser obrigatoriamente e continuamente colocada à disposição por parte da concessionária ao consumidor, conforme valor e período de vigência fixados em contrato de alta tensão e ser obrigatoriamente paga mensalmente pelo consumidor em sua totalidade, independentemente de ser ou não utilizada.

O funcionamento das bombas é restrito nos Horários de Ponta (compreendido entre as 18:00 e 21:00 horas), que compreende o período de três horas contínuas definidas pela concessionária, de segunda-feira à sexta-feira, estando as demais horas complementares fora das restrições de demanda, além de sábados, domingos e feriados. A tarifa também pode variar de acordo com o período, sendo chamado de Período Úmido os cinco meses consecutivos, de dezembro de um ano até abril do ano seguinte e Período Seco os sete meses consecutivos, de maio até novembro.

O subsistema possui fornecimento de Tensão Nominal 11,9 kV e Tensão de Medição 11,9 kV para o Horário de Ponta compreendido das 18:00 as 21:00 horas. A Demanda Contratada/Assegurada (kW) do faturamento de outubro/1999 ao faturamento de setembro/2004 é de 30 kW (Ponta) e 140 kW (Fora de Ponta) segundo o Contrato de Fornecimento de Energia Elétrica – Tarifa Horo-Sazonal Azul (Nº 031 / CGA / 99) firmado entre a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL e o contratante Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE – São Carlos.

A tarifa azul é aplicada considerando-se a seguinte estrutura:

1. Demanda de potência (kW)
 - Preço para ponta (R\$ 13,605667/kW);
 - Preço para fora de ponta (R\$ 4,533333/kW).
2. Consumo de energia (kWh)
 - Preço para ponta em período úmido (R\$ 0,082688/kWh);
 - Preço para fora de ponta em período úmido (R\$ 0,037545/kWh);
 - Preço para ponta em período seco (R\$ 0,10046/kWh);

- Preço para fora de ponta em período seco (R\$ 0,04776/kWh).

Os valores citados acima correspondem às tarifas do mês de março de 2000. Para o estudo de caso, a tarifa referente à demanda contratada não será aplicada devido ao fato do conjunto moto-bomba do poço artesiano ser impedido de ligar no período compreendido entre 18:00 e 21:00 horas e somente o conjunto moto-bomba de recalque não possui potência suficiente para ultrapassar o mínimo valor da demanda contratada no período de simulação de segunda à sexta.

5.4. VARIÁVEIS DE DECISÃO

Constituem variáveis de decisão as grandezas do sub-sistema que buscamos otimizar, assumindo valores 0 ou 1 para o desliga ou liga das bombas e valores do tipo real para as vazões bombeadas. São citadas abaixo as variáveis de decisão do problema:

- Operação da bomba do poço artesiano fornecendo água para o reservatório elevado ou apoiado ($X1(j) = 0$ ou 1);
- Operação da bomba do poço artesiano desligada ou ligada ($X2(j) = 0$ ou 1);
- Operação da bomba de recalque desligada ou ligada ($X3(j) = 0$ ou 1);
- Operação do registro localizado na tubulação de reforço do Jardim Boa Vista fechada ou aberta ($X4(j) = 0$ ou 1);
- Vazão variável de reforço do Jardim Boa Vista ($X5(j) = 0$ a $216 \text{ m}^3/\text{h}$);
- Vazão variável da bomba de recalque ($X6(j) = 0$ a $300 \text{ m}^3/\text{h}$).

Para $j = 1, \dots, 24$.

5.5. FUNÇÃO OBJETIVO OU FUNÇÃO DE APTIDÃO

Trata-se de um problema de otimização cujo objetivo é minimizar o custo de operação de bombeamento de água do sub-sistema Jardim Cruzeiro do Sul. O problema é formulado considerando-se as restrições de balanço hídrico dos reservatórios que compõem o sub-sistema, o atendimento das demandas horárias, os limites de volume mínimo e máximo para os reservatórios e a capacidade de transporte de vazão pelas tubulações, como:

$$F.O. = \text{Máx}[\text{Custo de Energia Elétrica} + \text{Importe}]^{-1} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$VRENT(24) = VRENT(0) \quad (2)$$

$$VRELE(24) = VRELE(0) \quad (3)$$

$$VRELE(j) \geq VRELE_{\text{MIN}} \quad (4)$$

$$VRELE(j) \leq VRELE_{\text{MAX}} \quad (5)$$

$$VRENT(j) \geq VRENT_{\text{MIN}} \quad (6)$$

$$VRENT(j) \leq VRENT_{\text{MAX}} \quad (7)$$

Para $j = 1, \dots, 24$

$$\text{Onde: Custo de Energia Elétrica} = \sum_{j=1}^{24} [C_i \cdot Pot_i(j) + C_w \cdot Pot_w(j)] \quad (8)$$

Para $j = 1, \dots, 24$; $i = 1$; $w = 1$.

$V_{RENT}(j)$ = volume do reservatório enterrado (m^3) no período j ;

$V_{RELE}(j)$ = volume do reservatório elevado (m^3) no período j ;

V_{RENT_MIN} = volume mínimo do reservatório enterrado (m^3);

V_{RENT_MAX} = volume máximo do reservatório enterrado (m^3);

V_{RELE_MIN} = volume mínimo do reservatório elevado (m^3);

V_{RELE_MAX} = volume máximo do reservatório elevado (m^3);

C_i = custo da tarifa de energia elétrica em R\$/kWh do conjunto moto-bomba i do sub-sistema;

C_w = custo da tarifa de energia elétrica em R\$/kWh do conjunto moto-bomba w do sub-sistema;

Pot_i = potência de operação de cada conjunto moto-bomba i do sub-sistema (kW);

$$\text{Onde: } Pot_i = \frac{Pot_{ib}}{\eta_i} \quad (9)$$

η_i = rendimento do motor i do sub-sistema;

Pot_{ib} = potência de operação da bomba i do sub-sistema (kW);

$$\text{Onde: } Pot_{ib} = \frac{\gamma Q_i H_i}{n_{ib}} \quad (10)$$

γ = peso específico da água (kgf/cm³);

Q_i = vazão da bomba i (m³/h);

H_i = altura manométrica da bomba i (m);

Pot_w = potência de operação de cada conjunto moto-bomba w do sub-sistema;

$$\text{Onde: } Pot_w = \frac{Pot_{wb}}{n_w} \quad (11)$$

n_w = rendimento do motor w do sub-sistema;

Pot_{wb} = potência de operação da bomba w do sub-sistema (kW);

$$\text{Onde: } Pot_{wb} = \frac{\gamma Q_w H_w}{n_{wb}} \quad (12)$$

Q_w = vazão da bomba w (m³/h);

H_w = altura manométrica da bomba w (m);

Como os AGs são ferramentas aplicáveis a problemas irrestritos, as restrições foram tratados na forma de penalidades aplicadas à função objetivo. Com isso obtemos a equação:

$$\text{F.O.} = \text{Máx} [\text{Custo de Energia Elétrica} + \text{Penalidades} + \text{Importe}]^{-1} \quad (13)$$

Onde:

$$\text{Penalidades} = W(P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6) \quad (14)$$

$$\text{Importe} = (V_{ACBV} * C_z) \quad (15)$$

Tal que:

$$P1 = \sum_{j=1}^{24} [VRENT(j) - VRENT_{MAX}]^2 \quad (16)$$

$$P2 = \sum_{j=1}^{24} [VRENT_{MIN} - VRENT(j)]^2 \quad (17)$$

$$P3 = \sum_{j=1}^{24} [VRELE(j) - VRELE_{MAX}]^2 \quad (18)$$

$$P4 = \sum_{j=1}^{24} [VRELE_{MIN} - VRELE(j)]^2 \quad (19)$$

$$P5 = VRELE(24) - VRELE(0) \quad (20)$$

$$P6 = VRENT(24) - VRENT(0) \quad (21)$$

$$V_{ACBV} = \sum_{j=1}^{24} [V_{BV}(j)] \quad (22)$$

Sendo:

$P1$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume máximo no reservatório enterrado(m^3);

$P2$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume mínimo no reservatório enterrado(m^3);

$P3$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume máximo no reservatório elevado(m^3);

$P4$ = Soma da diferença quadrada entre o volume no instante j e o volume mínimo no reservatório elevado(m^3);

$P5$ = Diferença entre o volume inicial e final do reservatório elevado no período de simulação(m^3);

$P6$ = Diferença entre o volume inicial e final do reservatório enterrado no período de simulação(m^3);

V_{ACBV} = Valor do volume acumulado da vazão que chega da adutora do
Jd. Boa Vista (m^3);

V_{BV} = Vazão de importe que chega da adutora do Jd. Boa Vista (m^3/h);

C_z = Tarifa estipulada pela cobrança da água que chega da adutora do
Jd. Boa Vista ($R\$/m^3$);

W = multiplicador das penalidades;

Adotou-se o valor de C_z como sendo $R\ \$ 0,05/m^3$ por se tratar de um
valor de importe de água que faz com que o sistema utilize primeiro os
recursos próprios de água e depois utilize o importe.

A Equação do balanço hídrico do sistema é apresentada pelas
equações:

$$VRENT(j+1) = VRENT_{(j)} + X1_{(j)} \cdot X2_{(j)} \cdot 117 - X3_{(j)} \cdot X6_{(j)} + X4_{(j)} \cdot X5_{(j)} \quad (23)$$

$$VRELE(j+1) = VRELE_{(j)} + X2_{(j)} \cdot (1 - X1_{(j)}) \cdot 117 + X3_{(j)} \cdot X6_{(j)} - DEM_{(j)} \quad (24)$$

para $j = 1, \dots, 24$

ondê:

$X1(j)$ = bomba do poço artesiano fornecendo água para o reservatório
elevado (0) ou apoiado (1);

$X2(j)$ = bomba do poço artesiano desligada (0) ou ligada (1);

$X3(j)$ = bomba de recalque desligada (0) ou ligada (1);

$X4(j)$ = registro da tubulação de água que chega do Jardim Boa Vista fechada (0) ou aberta (1);

$X5(j)$ = vazão de reforço que chega do Jardim Boa Vista (0 a 216 m^3/h);

$X6(j)$ = vazão da bomba de recalque (0 a 300 m^3/h);

$X7(j)$ = vazão da bomba do poço artesiano (117 m^3/h).

5.6. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Para que fosse possível o estudo e a aplicação da técnica de AGs, elaborou-se um programa computacional na linguagem FORTRAN 4.0. O fluxograma da estrutura do programa é apresentado na Figura 20.

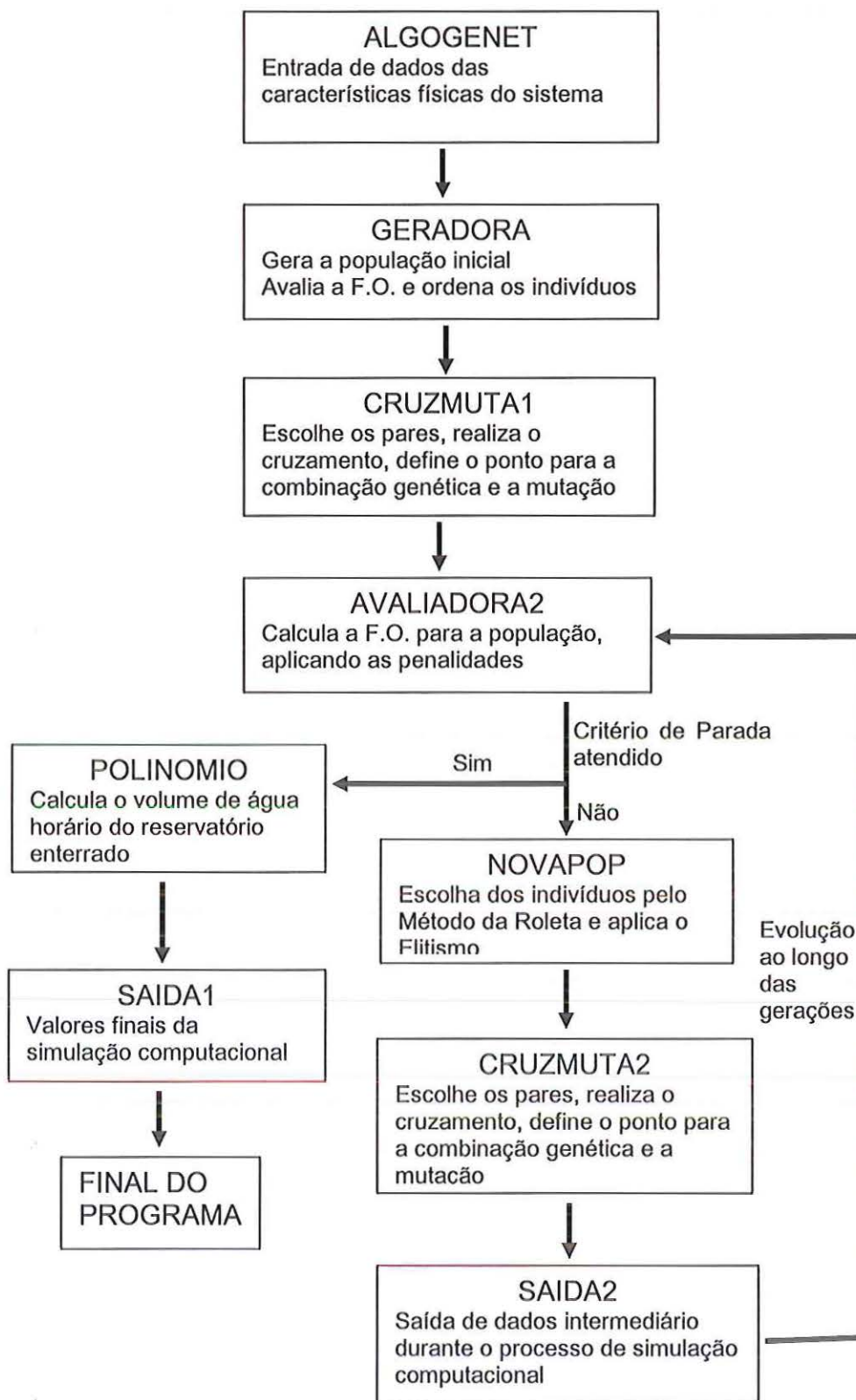


Figura 20 – Fluxograma típico do programa

5.7. PROGRAMA PRINCIPAL

O programa principal é chamado de ALGOGENET e realiza simulações através da análise dos indivíduos pseudo-aleatórios gerados inicialmente. A simulação é realizada para um período de 24 horas, apresentando um programa para o período de segunda-feira à sexta-feira e outro programa para o período de sábado a domingo. Isso ocorre devido ao tipo de contrato de tarifa de energia elétrica, diferenciado durante a semana nos horários das 18:00 às 21:00 horas e nos finais de semana liberado. Sua estrutura é bastante complexa e necessita das sub-rotinas: GERADORA, CRUZMUTA1, CRUZMUTA2, POLINOMIO e SAIDA1. O programa necessita da entrada dos seguintes dados:

- Características físicas do sistema estudado;
- Parâmetros utilizados pelos operadores genéticos e avaliadores da função de aptidão.

Esses valores são apresentados na Tabela 2 e suas nomenclaturas são definidas a seguir.

NPOP = Número de indivíduos na população;

NVAR = Número de variáveis de decisão;

NCRU = Número de cruzamentos (probabilidade);

ISTRG = Comprimento de cada indivíduo;

NLOOP = Número de gerações;

PMUT = Probabilidade de mutação;

NUMALE = Semente aleatória inicial;

W = Multiplicador das penalidades;

P = Expoente das penalidades;

C1 = Tarifa de consumo de energia elétrica fora do horário de ponta
(R\$/kWh);

C2 = Tarifa de consumo de energia elétrica no horário de ponta
(R\$/kWh);

C3 = Tarifa fictícia cobrada pela água de reforço do Jardim Boa Vista
(R\$/m³);

VIRELE = Volume inicial do reservatório elevado (m³);

VRELEMAX = Volume do reservatório elevado máximo (m³);

VRELEMIN = Volume do Reservatório Elevado Mínimo (m³);

QRSE = Vazão de Sobras do Reservatório Elevado (m³/h);

VIRENT = Volume Inicial do Reservatório Enterrado (m^3);

VRENTMAX = Volume do Reservatório Enterrado Máximo (m^3);

VRENTMIN = Volume do Reservatório Enterrado Mínimo (m^3);

DEM(j) = Vazão de Consumo de Água Horária (m^3/h), $j = 1, \dots, 24$;

XMAX(5) = Vazão máxima que chega do Jardim Boa Vista (m^3/h);

XMIN(5) = Vazão mínima que chega do Jardim Boa Vista (m^3/h) ;

XMAX(6) = Vazão máxima da bomba de recalque (m^3/h);

XMIN(6) = Vazão mínima da bomba de recalque (m^3/h);

XMAX(7) = Vazão máxima da bomba do poço (m^3/h);

XMIN(7) = Vazão mínima da bomba do poço (m^3/h).

Tabela 2 – Dados iniciais de entrada no programa para o período de segunda à sexta-feira

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE	PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
NPOP	30	-	DEM(1)	126	m ³ /h
NVAR	6	-	DEM(2)	122	m ³ /h
NCRU	30	-	DEM(3)	120	m ³ /h
ISTRG	24	-	DEM(4)	116	m ³ /h
NUMALE (**)	76	-	DEM(5)	118	m ³ /h
NLOOP (**)	30000	-	DEM(6)	137	m ³ /h
W (*)	100	-	DEM(7)	185	m ³ /h
P (*)	2	-	DEM(8)	232	m ³ /h
C1	0,037545	R\$/kWh	DEM(9)	273	m ³ /h
C2 "	0,082688	R\$/kWh	DEM(10)	295	m ³ /h
C3	0,05	R\$/m ³	DEM(11)	315	m ³ /h
VIRELE	150	m ³	DEM(12)	295	m ³ /h
VRELEMAX	200	m ³	DEM(13)	285	m ³ /h
VRELEMIN	65	m ³	DEM(14)	275	m ³ /h
QRSE	102	m ³ /h	DEM(15)	255	m ³ /h
VIRENT	500	m ³	DEM(16)	242	m ³ /h
VRENTMAX	700	m ³	DEM(17)	235	m ³ /h
VRENTMIN	200	m ³	DEM(18)	252	m ³ /h
XMAX(5)	216	m ³ /h	DEM(19)	250	m ³ /h
XMIN(5)	0	m ³ /h	DEM(20)	220	m ³ /h
XMAX(6)	300	m ³ /h	DEM(21)	200	m ³ /h
XMIN(6)	0	m ³ /h	DEM(22)	180	m ³ /h
XMAX(7)	117	m ³ /h	DEM(23)	158	m ³ /h
XMIN(7)	117	m ³ /h	DEM(24)	147	m ³ /h

(*) Dados a serem inseridos no início da Rotina GERADORA e AVALIADORA2.

(**) Dados a serem inseridos no início do programa ALGOGENET.

Tabela 3 - Dados iniciais de entrada no programa para o período de sábado à domingo

PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE	PARÂMETRO	VALOR	UNIDADE
NPOP	30	-	DEM(1)	133	m ³ /h
NVAR	6	-	DEM(2)	122	m ³ /h
NCRU	30	-	DEM(3)	117	m ³ /h
ISTRG	24	-	DEM(4)	115	m ³ /h
NUMALE (**)	76	-	DEM(5)	118	m ³ /h
NLOOP (**)	30000	-	DEM(6)	124	m ³ /h
W (*)	100	-	DEM(7)	147	m ³ /h
P (*)	2	-	DEM(8)	201	m ³ /h
C1	0,037545	R\$/kWh	DEM(9)	258	m ³ /h
C3	0,05	R\$/m ³	DEM(10)	294	m ³ /h
VIRELE	150	m ³	DEM(11)	314	m ³ /h
VRELEMAX	200	m ³	DEM(12)	310	m ³ /h
VRELEMIN	65	m ³	DEM(13)	297	m ³ /h
QRSE	102	m ³ /h	DEM(14)	283	m ³ /h
VIRENT	500	m ³	DEM(15)	267	m ³ /h
VRENTMAX	700	m ³	DEM(16)	251	m ³ /h
VRENTMIN	200	m ³	DEM(17)	243	m ³ /h
XMAX(5)	216	m ³ /h	DEM(18)	243	m ³ /h
XMIN(5)	0	m ³ /h	DEM(19)	241	m ³ /h
XMAX(6)	300	m ³ /h	DEM(20)	217	m ³ /h
XMIN(6)	0	m ³ /h	DEM(21)	189	m ³ /h
XMAX(7)	117	m ³ /h	DEM(22)	177	m ³ /h
XMIN(7)	117	m ³ /h	DEM(23)	164	m ³ /h
			DEM(24)	145	m ³ /h

(*) Dados a serem inseridos no início da Rotina GERADORA e AVALIADORA2.

(**) Dados a serem inseridos no início do programa ALGOGENET.

a) Rotina GERADORA

A rotina GERADORA, como o próprio nome indica, gera a população inicial de possíveis soluções para o problema. Quando se introduz uma dada semente aleatória à rotina RANDOM do programa FORTRAN, uma dada de números pseudo-aleatórios é gerada.

As soluções são representadas por cadeias de códigos que estabelecem as condições de operação do sistema, ou seja, inteiros 0 ou 1, que representam as variáveis de decisões de ligar ou desligar as bombas, ou das variáveis reais, que indicam as vazões das bombas ou a vazão que chega do Jardim Boa Vista. Adotou-se este padrão devido ao comprimento da cadeia ser extensa, com 6 variáveis de decisão (6 variáveis de decisão x 24 horas = 144 variáveis de decisão ao longo do dia).

Nesta rotina é necessária a entrada de dois valores já citados anteriormente W (multiplicador das penalidades) e P (potência para equivalência de ordem de grandeza das penalidades). Depois de fornecidos os dados necessários ao programa, esta rotina gera "pseudo-aleatoriamente" os valores das variáveis de decisão necessárias para a simulação do problema, avaliando e ordenando os melhores indivíduos de acordo com sua função de aptidão, para que o melhor indivíduo seja preservado para a próxima geração (elitismo).

b) Rotina CRUZMUTA1

A rotina CRUZMUTA1 utiliza os dados fornecidos pela rotina GERADORA, realizando recombinação entre pares de soluções da geração

atual. Todos os indivíduos realizam o cruzamento, sendo escolhidos aleatoriamente apenas os seus parceiros. O cruzamento é feito através da troca de códigos genéticos de tamanhos variados para cada par de indivíduos, ou seja, o posicionamento do corte e o tamanho do código genético a ser trocado em cada par são definidos aleatoriamente.

Para cada novo indivíduo criado é testada a probabilidade de mutação do código genético que o compõe. Este artifício faz com que o algoritmo busque outros pontos de possível solução na vizinhança da área de busca. Os resultados obtidos são transferidos para as rotinas SAIDA2 e AVALIADORA2.

b.1) Rotina AVALIADORA2

A rotina AVALIADORA2 calcula o valor da Função de Aptidão de cada solução criada pela rotina CRUZMUTA1, verificando as restrições impostas inicialmente (penalidades). Para a simulação do final de semana, sábado e domingo, a restrição quanto ao funcionamento das bombas no horário das 18:00 às 21:00 horas não existe. A rotina para os finais de semana é alterada de maneira a adaptar-se a essa situação.

b.2) Rotina NOVAPOP

Realiza a seleção dos indivíduos da população utilizando o “método da roleta”, através do qual é realizado o fatiamento do percentual para cada indivíduo, proporcionalmente à função de aptidão. O melhor indivíduo é escolhido e transferido para a próxima geração.

c) Rotina CRUZMUTA2

A rotina CRUZMUTA2 é idêntica a CRUZMUTA1, apenas se encontra em outra posição na estrutura do programa principal.

c.1) Rotina SAIDA2

A rotina SAIDA2 é utilizada como saída auxiliar, apresenta dados intermediários obtidos durante o processo de simulação do programa. Serve como uma janela de verificação da formulação e do comportamento do processo de otimização.

d) Rotina POLINOMIO

A rotina POLINOMIO é utilizada para avaliar o volume de água horário do reservatório enterrado, necessária devido à complexidade do seu formato.

e) Rotina SAIDA1

A rotina SAIDA1 realiza a formatação de saída dos dados obtidos na simulação, apresentando a melhor solução encontrada na simulação para a função de aptidão.

5.8. EQUIPAMENTOS

Boa parte dos estudos realizados foram de natureza computacional, para o qual foram utilizados os seguintes equipamentos:

Um microcomputador Pentium III de 450 MHz;

Software FORTRAN PowerStation 4.0.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da simulação computacional compreendendo os custos de energia elétrica na otimização da operação de bombas com o emprego dos AGs. Paralelamente ao estudo de otimização, foram feitos testes computacionais de adequação do parâmetro W , variação do tamanho da população inicial e da probabilidade de mutação.

6.1. POPULAÇÕES ALEATÓRIAS INICIAIS

Adotou-se uma população de 30 soluções para cada geração, pois segundo SIMPSON et. al (1994) os seguintes parâmetros podem ser utilizados:

- Tamanho da população: usualmente entre 30 e 200 indivíduos;
- Probabilidade de cruzamento: usualmente 70% a 100%;
- Probabilidade de mutação: usualmente 1% a 5%.

Neste trabalho, foi utilizado o número de cruzamentos igual a 30, dando uma probabilidade de 100% para todos os indivíduos, cujo parceiro é sorteado aleatoriamente para a troca do material genético. Isso faz com que o espaço de busca seja amplo e diversificado, dando possibilidade para que todos os indivíduos da população façam o cruzamento. Nesta mesma etapa é realizado a mutação com as probabilidades de 5% e 10%. Todas as características dos indivíduos podem sofrer mutação.

Foram testados dois programas de simulação computacional, sendo um para os dias da semana no período de segunda a sexta-feira e outro para os sábados e domingos. Foram utilizados os valores de sementes aleatórias variando de 0 a 100; PMUT = 0.05 e 0.10 (probabilidade de mutação); W = 1, 10 e 100 (parâmetro multiplicador das penalidades); NLOOP = 30000 (número de iterações).

Adotaram-se como volumes iniciais dos reservatórios os valores utilizados pela operação do SAAE, sendo VIRELE = 150 m³ (volume inicial do reservatório elevado) e o VIRENT = 500 m³ (volume inicial do reservatório enterrado).

Os resultados da simulação computacional para os períodos de segunda a sexta-feira e de sábado a domingo são apresentados nas figuras e tabelas a seguir. Um quadro com o resumo dos melhores valores é apresentado na Tabela 4 e Tabela 5, onde os melhores resultados da "F.O. (Custo)⁻¹" foram extraídos somente das soluções que apresentaram penalidades zero, condicionando o melhor valor do custo de energia elétrica.

Tabela 4 – Resumo dos resultados da simulação computacional para o período de Segunda a Sexta-feira

SEGUNDA A SEXTA				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
10	5,155E-03	61,555	0,05	100
69	4,943E-03	65,018	0,05	10
85	5,069E-03	71,658	0,05	1
44	5,934E-03	54,957	0,10	100
27	5,026E-03	67,527	0,10	10
99	5,027E-03	67,488	0,10	1

Tabela 5 – Resumo dos resultados da simulação computacional para o período de Sábado a Domingo

SÁBADO A DOMINGO				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
50	6,763E-03	62,004	0,05	100
28	6,320E-03	61,980	0,05	10
28	6,310E-03	64,943	0,05	1
53	6,310E-03	65,255	0,10	100
44	6,351E-03	61,602	0,10	10
59	6,280E-03	62,649	0,10	1

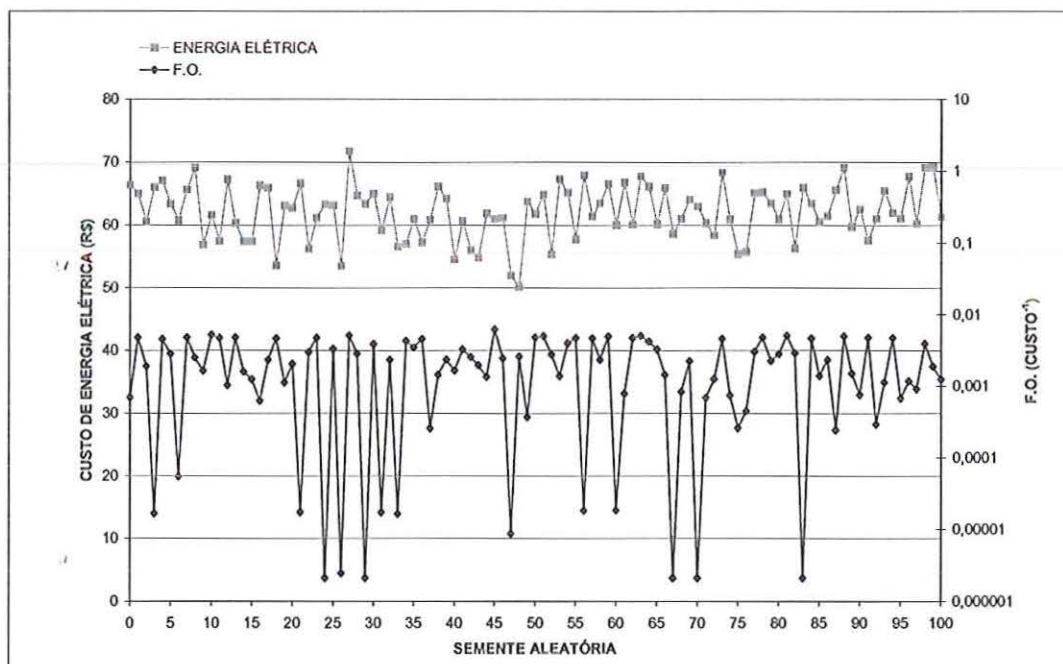


Figura 21 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=100)

Tabela 6 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta-feira para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=100

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	6,995E-04	66,368	12,3	51	4,921E-03	64,809	0,0
1	4,779E-03	64,992	0,0	52	2,717E-03	55,309	1,5
2	1,898E-03	60,568	3,2	53	1,372E-03	67,248	5,2
3	1,664E-05	66,018	598,9	54	3,923E-03	65,068	0,5
4	4,499E-03	67,012	0,2	55	4,654E-03	57,718	0,0
5	2,821E-03	63,337	1,5	56	1,828E-05	67,893	*****
6	5,470E-05	60,713	180,8	57	4,627E-03	61,318	0,1
7	4,792E-03	65,630	0,1	58	2,312E-03	63,412	2,3
8	2,496E-03	69,089	2,0	59	4,896E-03	66,524	0,0
9	1,634E-03	56,833	4,0	60	1,830E-05	59,982	*****
10	5,155E-03	61,555	0,0	61	7,841E-04	66,669	10,7
11	4,731E-03	57,399	0,1	62	4,646E-03	60,050	0,1
12	1,033E-03	67,195	7,6	63	4,989E-03	67,736	0,0
13	4,787E-03	60,273	0,0	64	4,172E-03	66,133	0,4
14	1,595E-03	57,344	4,3	65	3,235E-03	60,137	1,0
15	1,237E-03	57,351	6,0	66	1,442E-03	65,907	4,9
16	6,219E-04	66,215	14,0	67	2,082E-06	58,628	*****
17	2,314E-03	65,882	2,3	68	8,359E-04	60,981	9,9
18	4,605E-03	53,532	0,0	69	2,226E-03	64,084	2,4
19	1,117E-03	63,025	6,9	70	2,080E-06	63,013	*****
20	2,021E-03	62,663	2,9	71	6,851E-04	60,277	12,5
21	1,722E-05	66,570	578,7	72	1,254E-03	58,349	5,8
22	2,959E-03	56,202	1,2	73	4,576E-03	68,358	0,2
23	4,746E-03	61,103	0,0	74	7,376E-04	60,860	11,5
24	2,082E-06	63,250	*****	75	2,608E-04	55,385	36,2
25	3,266E-03	63,089	1,0	76	4,529E-04	55,681	19,9
26	2,440E-06	53,414	101,0	77	3,035E-03	65,100	1,3
27	5,059E-03	71,706	0,0	78	4,773E-03	65,215	0,1
28	2,832E-03	64,641	1,5	79	2,241E-03	63,440	2,4
29	2,082E-06	63,337	*****	80	2,794E-03	60,884	1,5
30	3,863E-03	64,981	0,6	81	5,055E-03	64,928	0,0
31	1,722E-05	59,112	578,6	82	2,879E-03	56,254	1,6
32	2,333E-03	64,431	2,2	83	2,082E-06	65,928	*****
33	1,633E-05	56,571	610,7	84	4,634E-03	63,403	0,1
34	4,251E-03	56,985	0,2	85	1,380E-03	60,465	5,2
35	3,479E-03	60,920	0,8	86	2,316E-03	61,408	2,2
36	4,536E-03	57,222	0,1	87	2,420E-04	65,546	39,3
37	2,565E-04	60,839	36,9	88	4,972E-03	69,111	0,0
38	1,430E-03	66,112	5,0	89	1,492E-03	59,681	4,6
39	2,360E-03	64,166	2,2	90	7,525E-04	62,512	11,2
40	1,655E-03	54,515	4,1	91	4,708E-03	57,515	0,0
41	3,229E-03	60,653	1,0	92	2,906E-04	60,917	32,3
42	2,534E-03	56,007	1,8	93	1,133E-03	65,436	6,9
43	1,947E-03	54,818	3,0	94	4,653E-03	61,886	0,0
44	1,341E-03	61,806	5,7	95	6,758E-04	61,048	12,7
45	6,155E-03	60,957	0,1	96	1,172E-03	67,701	6,5
46	2,438E-03	61,099	2,0	97	9,016E-04	60,187	9,0
47	8,629E-06	51,955	101,0	98	3,889E-03	69,128	0,6
48	2,582E-03	50,130	2,0	99	1,871E-03	69,174	3,3
49	3,660E-04	63,712	25,2	100	1,232E-03	61,256	6,0
50	4,763E-03	61,735	0,2				

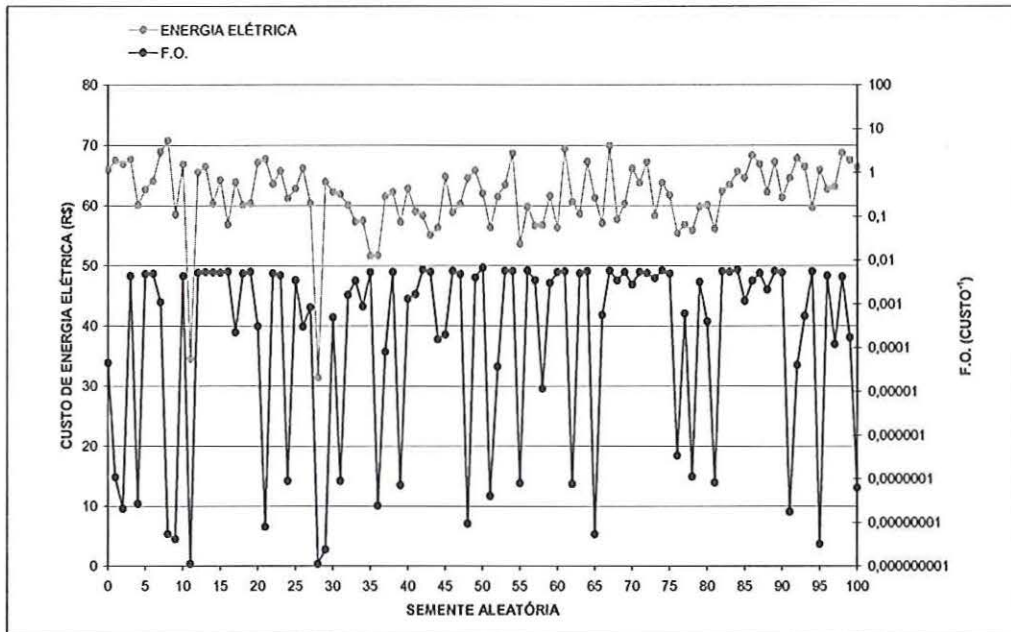


Figura 22 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=100)

Tabela 7 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=100

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,524E-05	65,927	20,9	51	4,077E-08	56,343	*****
1	1,079E-07	67,439	464,8	52	3,704E-05	61,467	20,2
2	2,072E-08	66,819	*****	53	5,758E-03	63,417	0,3
3	4,337E-03	67,607	0,7	54	5,660E-03	68,626	0,0
4	2,678E-08	60,044	*****	55	7,956E-08	53,605	500,4
5	4,839E-03	62,606	1,0	56	5,774E-03	59,827	0,0
6	4,945E-03	64,047	0,4	57	3,494E-03	56,661	1,3
7	1,099E-03	68,867	3,5	58	1,166E-05	56,713	41,0
8	5,427E-09	70,726	*****	59	3,040E-03	61,609	1,3
9	4,121E-09	58,473	200,9	60	5,340E-03	56,276	0,0
10	4,324E-03	66,782	0,7	61	5,516E-03	69,302	0,1
11	1,111E-09	34,500	*****	62	7,629E-08	60,512	513,0
12	5,204E-03	65,479	0,4	63	5,020E-03	58,585	0,1
13	5,357E-03	66,431	0,0	64	5,596E-03	67,239	0,1
14	5,286E-03	60,319	0,0	65	5,380E-09	61,224	1000,1
15	5,171E-03	64,200	0,6	66	5,600E-04	57,024	4,2
16	5,486E-03	56,839	0,0	67	5,760E-03	69,868	0,0
17	2,245E-04	63,856	9,6	68	3,448E-03	57,650	1,0
18	4,961E-03	60,130	0,5	69	5,354E-03	60,227	*****
19	5,459E-03	60,348	0,2	70	2,812E-03	66,095	1,3
20	3,111E-04	67,141	8,8	71	5,415E-03	63,745	0,4
21	7,941E-09	67,702	1586,5	72	5,071E-03	67,157	0,3
22	4,989E-03	63,558	0,4	73	3,908E-03	58,271	1,2
23	4,552E-03	65,740	0,8	74	5,768E-03	63,755	0,1
24	8,959E-08	61,196	*****	75	4,948E-03	61,729	0,4
25	3,459E-03	62,806	1,4	76	3,414E-07	55,399	*****
26	3,059E-04	66,154	7,4	77	6,049E-04	56,793	5,0
27	8,404E-04	60,340	4,5	78	1,123E-07	55,862	424,4
28	1,111E-09	31,424	*****	79	3,199E-03	59,779	1,6
29	2,397E-09	63,924	*****	80	4,000E-04	60,056	7,3
30	4,936E-04	62,252	7,1	81	8,204E-08	56,075	497,0
31	8,973E-08	61,856	472,7	82	5,611E-03	62,359	0,2
32	1,617E-03	60,038	3,0	83	5,421E-03	63,450	0,3
33	3,400E-03	57,297	1,5	84	6,034E-03	65,613	0,1
34	8,809E-04	57,503	4,3	85	1,168E-03	64,538	4,2
35	5,296E-03	51,639	0,0	86	3,402E-03	68,332	1,0
36	2,452E-08	51,703	*****	87	5,071E-03	66,855	0,4
37	8,100E-05	61,545	16,0	88	2,143E-03	62,233	2,3
38	5,366E-03	62,240	0,5	89	5,659E-03	67,219	0,2
39	7,147E-08	57,225	598,9	90	5,228E-03	61,264	0,1
40	1,321E-03	62,808	2,8	91	1,775E-08	64,535	*****
41	1,663E-03	58,979	3,0	92	4,020E-05	67,809	27,0
42	6,082E-03	58,308	0,0	93	5,334E-04	66,414	5,0
43	5,428E-03	55,082	0,0	94	5,518E-03	59,648	0,0
44	1,568E-04	56,300	12,3	95	3,214E-09	65,910	100,9
45	1,985E-04	64,767	10,1	96	4,421E-03	62,654	0,8
46	5,686E-03	58,858	0,0	97	1,211E-04	63,085	12,3
47	4,784E-03	60,306	0,7	98	4,196E-03	68,700	1,1
48	9,408E-09	64,541	1458,0	99	1,713E-04	67,518	13,0
49	4,010E-03	65,802	1,0	100	6,250E-08	66,302	400,8
50	6,763E-03	62,004	0,0				

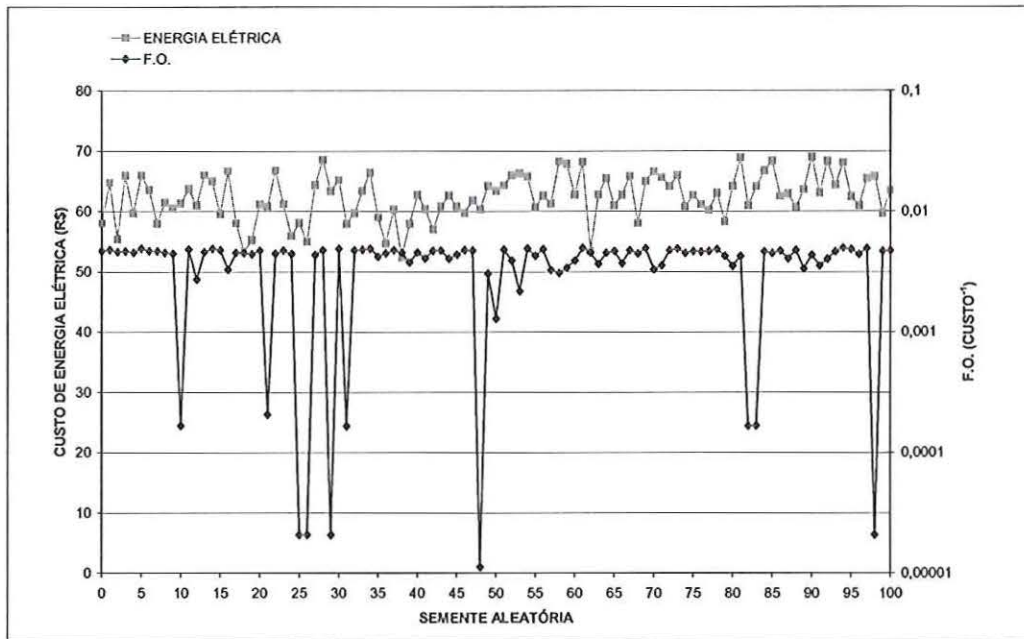


Figura 23 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=10)

Tabela 8 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=10

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,692E-03	58,065	0,0	51	4,815E-03	64,277	0,0
1	4,802E-03	64,731	0,0	52	3,914E-03	65,954	5,2
2	4,621E-03	55,394	0,0	53	2,176E-03	66,271	25,6
3	4,686E-03	65,967	1,0	54	4,923E-03	65,733	0,0
4	4,555E-03	59,679	1,1	55	4,294E-03	60,651	2,3
5	4,914E-03	65,936	0,0	56	4,859E-03	62,632	0,0
6	4,700E-03	63,574	0,6	57	3,265E-03	61,274	9,6
7	4,686E-03	58,007	0,1	58	3,077E-03	68,240	12,5
8	4,537E-03	61,433	1,0	59	3,400E-03	67,848	9,5
9	4,452E-03	60,482	1,5	60	3,922E-03	62,756	4,9
10	1,667E-04	61,334	578,7	61	4,976E-03	68,170	0,1
11	4,834E-03	63,707	0,0	62	4,544E-03	53,440	0,0
12	2,721E-03	60,989	15,8	63	3,675E-03	62,754	6,0
13	4,620E-03	65,982	1,3	64	4,516E-03	65,493	1,9
14	4,904E-03	64,927	7,2	65	4,673E-03	61,033	0,4
15	4,791E-03	59,581	0,0	66	3,708E-03	62,732	6,4
16	3,291E-03	66,639	10,0	67	4,738E-03	65,874	0,8
17	4,546E-03	58,064	0,7	68	4,481E-03	58,031	1,0
18	4,528E-03	53,338	0,1	69	4,943E-03	65,018	0,0
19	4,425E-03	55,288	1,0	70	3,311E-03	66,594	9,8
20	4,733E-03	61,196	0,1	71	3,566E-03	65,623	7,8
21	2,067E-04	60,799	462,8	72	4,754E-03	64,126	0,3
22	4,478E-03	66,806	1,9	73	4,900E-03	65,954	0,1
23	4,752E-03	61,224	0,0	74	4,511E-03	60,786	0,6
24	4,437E-03	55,972	0,9	75	4,680E-03	62,649	0,8
25	2,073E-05	58,096	*****	76	4,616E-03	61,110	0,6
26	2,073E-05	55,015	*****	77	4,681E-03	60,219	0,4
27	4,378E-03	64,358	2,1	78	4,849E-03	63,020	0,0
28	4,782E-03	68,551	0,9	79	4,276E-03	58,327	2,1
29	2,074E-05	63,338	*****	80	3,520E-03	64,166	7,7
30	4,906E-03	65,190	0,1	81	4,256E-03	68,864	3,5
31	1,660E-04	57,955	581,0	82	1,664E-04	60,983	579,9
32	4,772E-03	59,679	0,1	83	1,668E-04	64,096	578,8
33	4,829E-03	63,408	0,1	84	4,655E-03	66,722	1,1
34	4,902E-03	66,430	0,0	85	4,518E-03	68,335	2,2
35	4,227E-03	59,008	2,3	86	4,709E-03	62,517	0,7
36	4,504E-03	54,665	0,7	87	4,047E-03	62,931	4,1
37	4,768E-03	60,354	0,0	88	4,768E-03	60,692	0,0
38	4,567E-03	52,373	0,0	89	3,345E-03	63,616	9,2
39	3,787E-03	57,924	5,1	90	4,347E-03	68,962	3,0
40	4,557E-03	62,764	1,3	91	3,545E-03	63,084	7,6
41	4,085E-03	60,397	3,5	92	4,021E-03	68,277	4,9
42	4,717E-03	57,047	0,0	93	4,655E-03	64,366	0,7
43	4,747E-03	60,861	0,1	94	4,984E-03	68,068	0,1
44	4,063E-03	62,626	4,0	95	4,855E-03	62,424	0,0
45	4,388E-03	60,818	1,8	96	4,429E-03	60,959	1,6
46	4,784E-03	59,711	0,0	97	4,929E-03	65,502	0,0
47	4,743E-03	61,803	0,0	98	2,074E-05	65,823	*****
48	1,121E-05	60,347	*****	99	4,704E-03	59,690	0,4
49	3,048E-03	64,196	12,1	100	4,732E-03	63,489	0,5
50	1,283E-03	63,347	57,3				

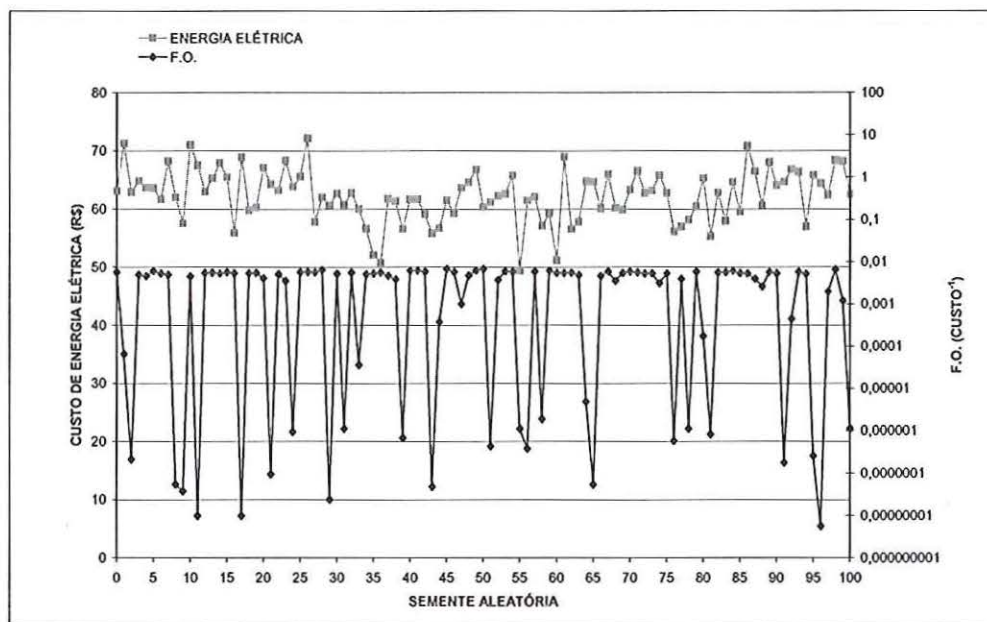


Figura 24 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=10)

Tabela 9 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=10

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	5,697E-03	63,070	0,7	51	4,268E-07	61,147	*****
1	6,521E-05	71,252	54,9	52	3,720E-03	62,262	5,3
2	2,123E-07	62,927	*****	53	5,963E-03	62,605	0,0
3	4,897E-03	64,782	1,4	54	5,746E-03	65,793	0,1
4	4,570E-03	63,671	3,0	55	1,130E-06	49,380	421,6
5	6,106E-03	63,562	0,7	56	3,836E-07	61,474	723,1
6	5,281E-03	61,706	0,0	57	5,827E-03	62,078	0,2
7	4,949E-03	68,192	1,6	58	1,888E-06	57,136	324,6
8	5,359E-08	62,017	*****	59	6,133E-03	59,200	0,2
9	3,776E-08	57,555	200,1	60	5,472E-03	51,202	0,0
10	4,531E-03	70,978	2,4	61	5,427E-03	68,957	0,7
11	9,800E-09	67,516	*****	62	5,484E-03	56,546	1,3
12	5,477E-03	62,997	0,0	63	4,833E-03	57,805	1,0
13	5,524E-03	65,271	0,0	64	4,885E-06	64,740	*****
14	5,255E-03	67,907	0,1	65	5,393E-08	64,697	1926,9
15	5,691E-03	65,499	0,0	66	4,568E-03	60,133	2,6
16	5,336E-03	55,901	0,8	67	5,904E-03	65,966	0,1
17	9,815E-09	68,879	*****	68	3,549E-03	60,212	4,0
18	5,337E-03	59,776	0,2	69	5,353E-03	59,880	0,3
19	5,436E-03	60,262	0,0	70	5,817E-03	63,309	0,1
20	4,079E-03	67,124	3,5	71	5,552E-03	66,522	0,1
21	9,473E-08	64,271	1446,8	72	5,275E-03	62,750	0,2
22	5,099E-03	63,193	0,7	73	5,260E-03	63,204	0,2
23	3,552E-03	68,351	3,4	74	3,115E-03	65,808	3,9
24	9,393E-07	63,819	*****	75	5,265E-03	62,722	0,4
25	5,701E-03	65,583	0,1	76	5,808E-07	56,119	*****
26	5,741E-03	72,118	0,1	77	3,937E-03	56,960	3,6
27	5,659E-03	57,808	0,0	78	1,131E-06	58,110	422,1
28	6,320E-03	61,980	0,0	79	5,737E-03	60,409	0,0
29	2,398E-08	60,661	*****	80	1,724E-04	65,302	29,2
30	5,189E-03	62,612	2,1	81	8,234E-07	55,333	494,9
31	1,122E-06	60,795	422,0	82	5,577E-03	62,846	0,5
32	5,581E-03	62,773	0,4	83	5,651E-03	57,933	0,5
33	3,601E-05	59,984	74,7	84	6,102E-03	64,602	0,0
34	5,104E-03	56,610	1,3	85	5,355E-03	59,528	0,4
35	5,256E-03	52,065	0,0	86	5,244E-03	70,816	0,1
36	5,566E-03	50,769	0,2	87	3,954E-03	66,483	3,5
37	4,659E-03	61,771	3,2	88	2,580E-03	60,650	7,5
38	3,837E-03	61,350	5,1	89	5,682E-03	68,013	0,0
39	6,815E-07	56,564	615,1	90	5,281E-03	64,072	0,1
40	6,158E-03	61,646	0,3	91	1,775E-07	64,613	*****
41	6,206E-03	61,677	0,0	92	4,412E-04	66,787	24,3
42	5,893E-03	59,155	0,7	93	5,724E-03	66,413	0,0
43	4,796E-08	55,814	100,7	94	5,136E-03	57,001	1,5
44	3,772E-04	56,661	22,3	95	2,567E-07	65,819	882,3
45	6,657E-03	61,485	0,1	96	5,632E-09	64,369	201,2
46	5,733E-03	59,282	0,0	97	1,944E-03	62,402	8,3
47	9,975E-04	63,624	13,5	98	6,490E-03	68,342	0,3
48	4,719E-03	64,580	3,4	99	1,194E-03	68,177	14,3
49	6,237E-03	66,780	1,0	100	1,131E-06	62,511	421,1
50	6,719E-03	60,333	0,2				

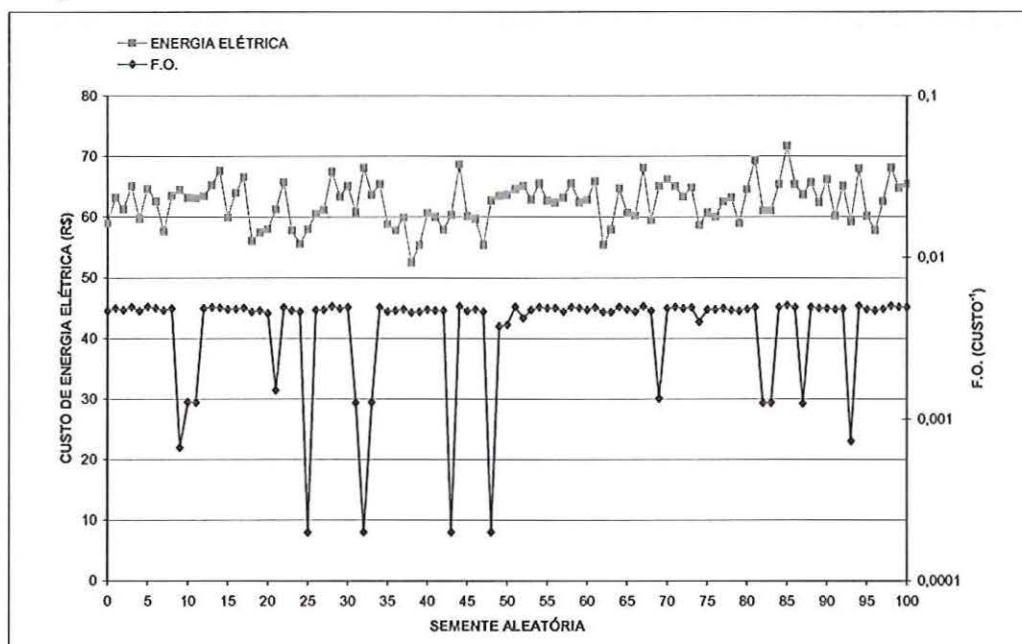


Figura 25 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.05; W=1)

Tabela 10 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=1

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,677E-03	58,951	0,0	51	4,955E-03	64,528	0,0
1	4,847E-03	63,157	0,0	52	4,219E-03	65,099	34,6
2	4,729E-03	61,195	1,2	53	4,731E-03	62,820	5,3
3	4,943E-03	65,013	0,0	54	4,932E-03	65,473	0,0
4	4,671E-03	59,684	5,4	55	4,859E-03	62,665	0,0
5	4,951E-03	64,562	0,1	56	4,867E-03	62,315	0,0
6	4,861E-03	62,576	0,0	57	4,629E-03	63,158	9,7
7	4,706E-03	57,654	0,0	58	4,925E-03	65,491	0,3
8	4,839E-03	63,503	0,0	59	4,865E-03	62,371	0,0
9	6,661E-04	64,405	*****	60	4,742E-03	62,764	4,9
10	1,274E-03	63,104	578,7	61	4,908E-03	65,805	0,7
11	1,274E-03	63,045	578,8	62	4,607E-03	55,420	1,0
12	4,842E-03	63,372	0,0	63	4,588E-03	57,916	5,1
13	4,936E-03	65,256	0,0	64	4,951E-03	64,661	0,0
14	4,898E-03	67,588	5,1	65	4,770E-03	60,634	0,0
15	4,783E-03	59,914	0,2	66	4,622E-03	60,225	7,0
16	4,800E-03	64,012	1,1	67	5,011E-03	68,078	0,0
17	4,883E-03	66,564	1,0	68	4,662E-03	59,432	0,3
18	4,613E-03	56,052	0,0	69	1,340E-03	65,071	*****
19	4,711E-03	57,437	0,0	70	4,847E-03	66,201	2,9
20	4,529E-03	57,996	7,9	71	4,942E-03	65,014	0,0
21	1,512E-03	61,273	450,9	72	4,843E-03	63,340	0,0
22	4,924E-03	65,750	0,0	73	4,908E-03	64,841	1,7
23	4,702E-03	57,783	0,0	74	4,008E-03	58,641	36,0
24	4,624E-03	55,574	0,0	75	4,768E-03	60,728	0,0
25	1,994E-04	57,992	*****	76	4,777E-03	60,049	0,3
26	4,729E-03	60,526	1,9	77	4,856E-03	62,520	0,3
27	4,758E-03	61,183	0,0	78	4,733E-03	63,186	4,9
28	5,007E-03	67,481	0,9	79	4,677E-03	58,955	0,0
29	4,843E-03	63,319	0,0	80	4,800E-03	64,516	0,7
30	4,938E-03	65,081	0,1	81	4,936E-03	69,336	1,8
31	1,265E-03	60,816	580,7	82	1,263E-03	61,034	581,5
32	2,000E-04	68,112	*****	83	1,268E-03	61,045	578,8
33	1,273E-03	63,639	578,5	84	4,935E-03	65,343	0,0
34	4,928E-03	65,357	0,3	85	5,069E-03	71,658	0,0
35	4,633E-03	58,768	2,2	86	4,933E-03	65,344	0,1
36	4,702E-03	57,803	0,0	87	1,256E-03	63,674	589,7
37	4,785E-03	59,899	0,1	88	4,927E-03	65,643	0,0
38	4,565E-03	52,480	0,0	89	4,866E-03	62,370	0,0
39	4,628E-03	55,355	0,0	90	4,846E-03	66,128	2,9
40	4,768E-03	60,564	0,2	91	4,781E-03	60,162	0,0
41	4,705E-03	60,030	3,5	92	4,823E-03	65,093	4,9
42	4,701E-03	57,857	0,0	93	7,313E-04	59,177	1153,3
43	1,996E-04	60,336	*****	94	5,012E-03	67,968	0,1
44	4,996E-03	68,647	0,1	95	4,760E-03	60,122	1,0
45	4,660E-03	60,087	5,5	96	4,696E-03	57,811	0,3
46	4,781E-03	59,684	0,4	97	4,805E-03	62,478	2,5
47	4,623E-03	55,341	0,3	98	5,008E-03	68,113	0,1
48	1,998E-04	62,707	*****	99	4,950E-03	64,724	0,0
49	3,755E-03	63,418	59,7	100	4,923E-03	65,379	0,5
50	3,828E-03	63,605	54,3				

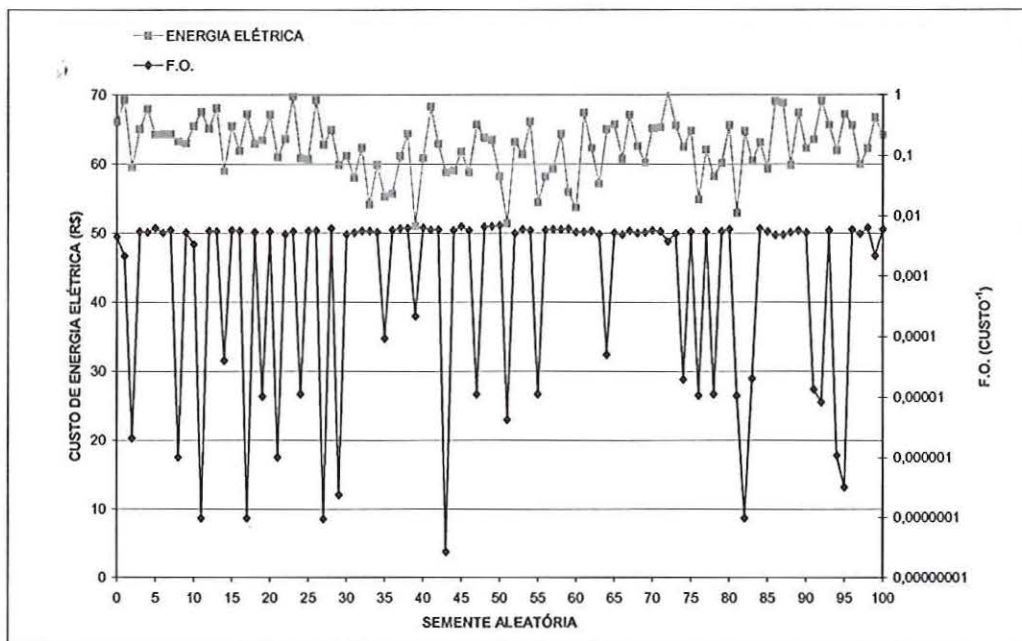


Figura 26 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.05; W=1)

Tabela 11 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de PMUT=0.05 E W=1

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,501E-03	66,164	9,7	51	4,265E-06	51,411	*****
1	2,146E-03	69,243	24,6	52	5,147E-03	63,232	9,1
2	2,102E-06	59,532	*****	53	5,926E-03	61,400	0,1
3	5,498E-03	65,061	0,2	54	5,735E-03	66,152	0,2
4	5,314E-03	67,992	5,1	55	1,129E-05	54,448	422,4
5	6,223E-03	64,304	0,7	56	5,823E-03	58,207	0,1
6	5,198E-03	64,326	0,7	57	5,958E-03	59,257	0,6
7	5,720E-03	64,349	0,1	58	5,936E-03	64,396	0,2
8	1,012E-06	63,307	*****	59	6,132E-03	55,995	1,2
9	5,272E-03	63,040	1,1	60	5,376E-03	53,675	1,1
10	3,355E-03	65,509	14,6	61	5,416E-03	67,424	0,7
11	9,763E-08	67,519	*****	62	5,621E-03	62,359	1,3
12	5,591E-03	65,130	0,1	63	4,919E-03	57,168	0,1
13	5,514E-03	68,087	0,1	64	5,001E-05	65,037	*****
14	4,028E-05	58,976	221,6	65	5,188E-03	65,774	4,1
15	5,690E-03	65,496	0,3	66	4,888E-03	60,779	5,3
16	5,619E-03	61,925	0,1	67	5,624E-03	67,115	0,7
17	9,819E-08	67,215	*****	68	5,174E-03	62,604	0,1
18	5,345E-03	62,968	1,0	69	5,354E-03	60,229	0,1
19	1,029E-05	63,451	441,0	70	5,727E-03	65,160	0,4
20	5,436E-03	67,140	3,9	71	5,479E-03	65,324	0,9
21	1,012E-06	61,017	1405,4	72	3,765E-03	70,419	13,5
22	4,957E-03	63,659	5,8	73	5,052E-03	65,604	0,1
23	5,442E-03	69,732	2,9	74	1,969E-05	62,466	225,2
24	1,129E-05	60,835	*****	75	5,400E-03	64,847	0,1
25	5,638E-03	60,734	2,2	76	1,069E-05	54,909	*****
26	5,667E-03	69,196	1,2	77	5,445E-03	62,113	4,9
27	9,385E-08	62,777	*****	78	1,129E-05	58,245	422,3
28	6,181E-03	64,943	0,0	79	5,525E-03	60,143	0,6
29	2,398E-07	59,922	*****	80	5,918E-03	65,637	0,2
30	4,916E-03	61,199	9,0	81	1,061E-05	52,962	436,1
31	5,246E-03	58,043	5,1	82	9,763E-08	64,782	*****
32	5,616E-03	62,379	0,1	83	2,040E-05	60,483	*****
33	5,571E-03	54,161	1,1	84	6,156E-03	63,173	0,1
34	5,291E-03	59,910	2,6	85	5,475E-03	59,313	0,4
35	9,288E-05	55,300	145,6	86	4,800E-03	69,049	3,8
36	5,795E-03	55,729	0,2	87	4,863E-03	68,896	4,6
37	6,150E-03	61,125	0,9	88	5,326E-03	59,888	2,2
38	6,231E-03	64,438	0,2	89	5,698E-03	67,422	0,4
39	2,176E-04	51,017	94,1	90	5,302E-03	62,336	0,0
40	6,326E-03	60,834	0,4	91	1,346E-05	63,599	*****
41	5,846E-03	68,271	3,6	92	8,338E-06	69,141	488,9
42	5,892E-03	62,943	1,1	93	5,742E-03	65,697	0,6
43	2,683E-08	58,815	*****	94	1,083E-06	61,975	961,2
44	5,776E-03	59,029	2,1	95	3,213E-07	67,228	100,7
45	6,647E-03	61,808	0,2	96	5,853E-03	65,661	0,1
46	5,745E-03	58,818	0,4	97	5,044E-03	59,948	8,6
47	1,121E-05	65,723	424,5	98	6,341E-03	62,274	0,7
48	6,604E-03	63,819	0,5	99	2,179E-03	66,743	28,0
49	6,713E-03	63,482	0,1	100	5,913E-03	64,199	1,0
50	6,958E-03	58,211	0,7				

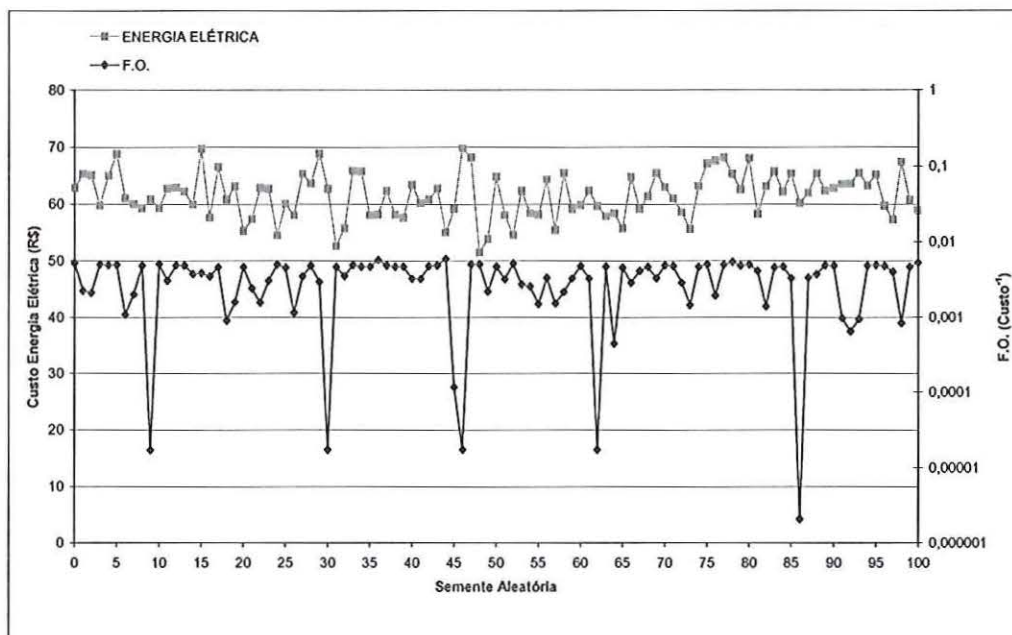


Figura 27 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=100)

Tabela 12 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de PMUT=0.10 E W=100

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	5,253E-03	62,827	0,0	51	3,196E-03	58,067	1,0
1	2,249E-03	65,332	2,4	52	5,170E-03	54,547	0,0
2	2,113E-03	65,071	2,7	53	2,737E-03	62,361	1,6
3	5,014E-03	59,706	0,0	54	2,584E-03	58,376	1,8
4	4,943E-03	65,010	0,0	55	1,498E-03	58,104	5,1
5	4,992E-03	68,777	0,0	56	3,359E-03	64,316	1,0
6	1,086E-03	61,042	7,1	57	1,529E-03	55,429	4,4
7	2,011E-03	60,030	2,9	58	2,169E-03	65,384	2,6
8	4,801E-03	59,273	0,1	59	3,289E-03	59,105	1,2
9	1,722E-05	60,816	578,8	60	4,789E-03	59,770	0,0
10	5,070E-03	59,301	0,0	61	3,273E-03	62,392	1,0
11	3,073E-03	62,743	1,2	62	1,723E-05	59,603	578,4
12	4,849E-03	62,894	0,0	63	4,696E-03	57,871	0,0
13	4,850E-03	62,190	0,0	64	4,435E-04	58,379	20,4
14	3,768E-03	59,872	0,6	65	4,559E-03	55,692	0,1
15	3,837E-03	69,673	0,6	66	2,875E-03	64,716	1,5
16	3,505E-03	57,645	0,8	67	4,105E-03	59,098	0,3
17	4,582E-03	66,526	0,3	68	4,643E-03	61,375	0,1
18	8,972E-04	60,776	9,0	69	3,304E-03	65,375	1,0
19	1,586E-03	63,113	4,3	70	4,852E-03	62,964	0,0
20	4,630E-03	55,258	0,0	71	4,748E-03	60,960	0,0
21	2,425E-03	57,314	2,0	72	2,866E-03	58,495	1,4
22	1,568E-03	62,851	4,3	73	1,444E-03	55,576	4,8
23	3,064E-03	62,677	1,2	74	4,660E-03	63,099	0,1
24	5,022E-03	54,491	0,0	75	5,035E-03	67,134	0,0
25	4,561E-03	60,049	0,1	76	1,948E-03	67,635	3,4
26	1,142E-03	58,020	6,6	77	5,006E-03	68,167	0,0
27	3,505E-03	65,331	0,8	78	5,421E-03	65,286	0,0
28	4,824E-03	63,626	0,1	79	4,861E-03	62,538	0,0
29	2,974E-03	68,833	1,4	80	5,012E-03	68,083	0,0
30	1,722E-05	62,674	578,8	81	4,133E-03	58,257	0,3
31	4,630E-03	52,594	0,1	82	1,405E-03	63,098	5,1
32	3,537E-03	55,729	1,0	83	4,617E-03	65,726	0,1
33	4,914E-03	65,861	0,0	84	4,719E-03	62,168	0,1
34	4,707E-03	65,756	0,1	85	3,305E-03	65,305	1,0
35	4,675E-03	58,052	0,0	86	2,082E-06	60,167	*****
36	5,764E-03	58,126	0,0	87	3,378E-03	61,947	1,0
37	4,861E-03	62,324	0,0	88	3,697E-03	65,353	0,7
38	4,682E-03	58,105	0,0	89	4,866E-03	62,358	0,0
39	4,677E-03	57,584	0,0	90	4,842E-03	62,774	0,0
40	3,262E-03	63,410	1,0	91	9,678E-04	63,467	8,3
41	3,235E-03	60,176	1,0	92	6,449E-04	63,576	13,4
42	4,765E-03	60,807	0,0	93	9,409E-04	65,396	8,6
43	4,857E-03	62,715	0,0	94	4,845E-03	63,221	0,0
44	5,934E-03	54,957	0,0	95	4,923E-03	65,169	0,0
45	1,163E-04	59,076	84,5	96	4,780E-03	59,684	0,0
46	1,723E-05	69,780	578,5	97	4,019E-03	57,227	0,6
47	5,009E-03	68,150	0,0	98	8,342E-04	67,380	10,0
48	5,103E-03	51,504	0,1	99	4,631E-03	60,696	0,1
49	2,201E-03	53,854	2,6	100	5,294E-03	58,851	0,1
50	4,702E-03	64,833	0,1				

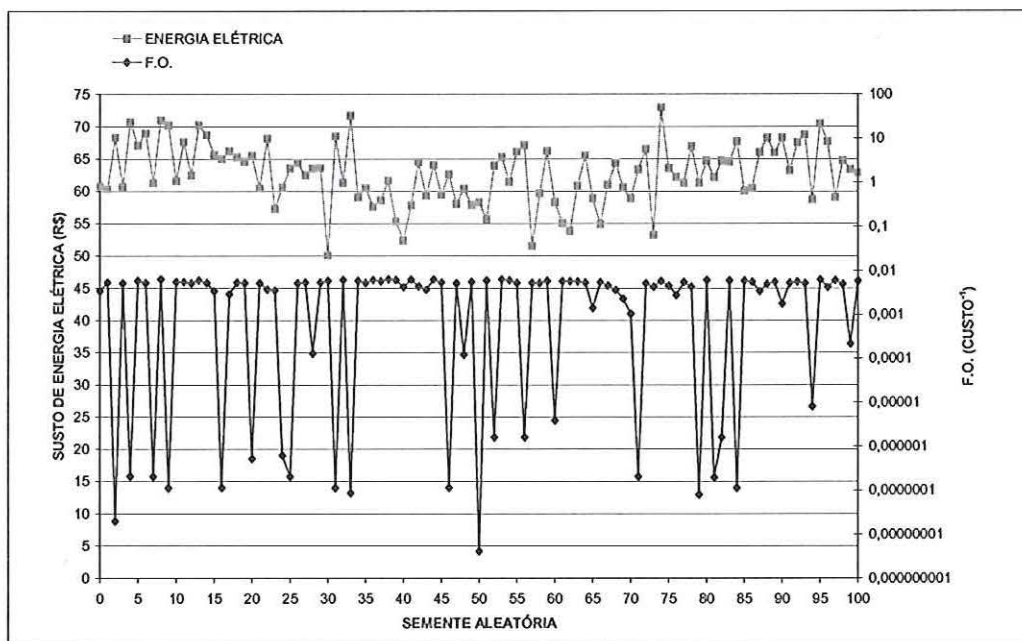


Figura 28 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=100)

Tabela 13 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de PMUT=0.10 E W=100

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	3,462E-03	60,765	1,0	51	5,875E-03	55,674	0,1
1	5,318E-03	60,300	0,0	52	1,580E-06	63,924	113,3
2	1,996E-08	68,297	629,3	53	6,307E-03	65,255	0,0
3	5,139E-03	60,674	0,0	54	6,007E-03	61,417	0,0
4	2,047E-07	70,722	158,3	55	5,260E-03	66,104	0,0
5	5,801E-03	67,035	0,0	56	1,580E-06	67,086	112,6
6	5,157E-03	68,948	0,0	57	5,248E-03	51,517	0,5
7	2,028E-07	61,280	169,0	58	5,204E-03	59,677	0,3
8	6,258E-03	70,946	0,0	59	5,796E-03	66,190	0,4
9	1,113E-07	70,204	423,1	60	3,855E-06	58,308	72,0
10	5,516E-03	61,578	0,0	61	5,730E-03	55,066	0,1
11	5,506E-03	67,586	0,1	62	5,693E-03	53,895	0,0
12	5,161E-03	62,406	0,0	63	5,630E-03	60,778	0,3
13	5,997E-03	70,198	0,0	64	5,377E-03	65,519	0,0
14	5,236E-03	68,706	0,0	65	1,389E-03	58,863	3,3
15	3,419E-03	65,605	1,5	66	5,415E-03	54,896	0,1
16	1,130E-07	64,974	420,6	67	4,571E-03	60,968	0,7
17	2,889E-03	66,222	1,8	68	3,616E-03	64,319	1,0
18	5,349E-03	65,236	0,1	69	2,272E-03	60,527	1,5
19	5,209E-03	64,560	0,0	70	1,041E-03	58,878	4,7
20	5,148E-07	65,461	201,0	71	2,028E-07	63,350	169,0
21	5,155E-03	60,473	0,0	72	5,137E-03	66,474	0,4
22	3,695E-03	68,108	1,0	73	4,271E-03	53,207	0,7
23	3,508E-03	57,254	1,0	74	5,769E-03	72,974	0,0
24	6,120E-07	60,570	180,7	75	4,505E-03	63,540	0,8
25	2,028E-07	63,519	144,0	76	2,757E-03	62,200	1,3
26	5,119E-03	64,322	0,0	77	5,479E-03	61,278	0,1
27	5,299E-03	62,474	0,3	78	4,280E-03	66,939	1,2
28	1,294E-04	63,507	12,2	79	7,890E-08	61,334	503,5
29	5,390E-03	63,556	0,4	80	6,029E-03	64,670	0,0
30	5,810E-03	50,041	0,1	81	1,924E-07	62,157	153,0
31	1,123E-07	68,455	422,0	82	1,580E-06	64,689	112,6
32	6,081E-03	61,313	0,0	83	5,856E-03	64,563	0,0
33	8,657E-08	71,652	480,7	84	1,123E-07	67,676	422,0
34	5,829E-03	59,094	0,0	85	5,882E-03	60,036	0,0
35	5,281E-03	60,447	0,3	86	5,526E-03	60,475	0,0
36	6,103E-03	57,583	0,0	87	3,410E-03	65,994	1,0
37	5,735E-03	58,550	0,1	88	5,000E-03	68,240	0,5
38	6,298E-03	61,654	0,0	89	5,519E-03	65,952	0,0
39	6,144E-03	55,350	0,1	90	1,754E-03	68,253	2,8
40	4,194E-03	52,383	0,9	91	5,207E-03	63,202	0,0
41	6,224E-03	57,810	0,0	92	5,587E-03	67,473	0,1
42	4,365E-03	64,463	0,7	93	5,119E-03	68,744	0,0
43	3,714E-03	59,341	1,0	94	7,987E-06	58,720	50,3
44	6,260E-03	64,039	0,0	95	6,185E-03	70,416	0,0
45	5,323E-03	59,417	0,7	96	4,206E-03	67,682	1,4
46	1,131E-07	62,606	422,8	97	5,960E-03	59,026	0,0
47	5,138E-03	58,047	0,8	98	4,922E-03	64,702	0,7
48	1,213E-04	60,362	12,7	99	2,159E-04	63,415	10,8
49	5,512E-03	57,847	0,1	100	5,749E-03	62,819	0,0
50	4,090E-09	58,250	200,2				

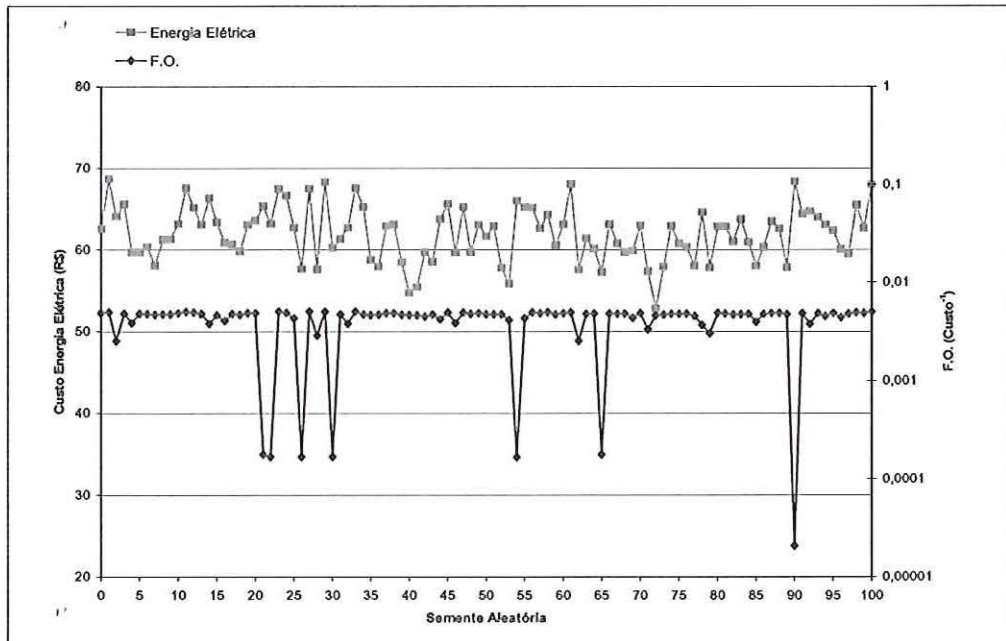


Figura 29 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=10)

Tabela 14 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de PMUT=0.10 E W=10

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,862E-03	62,522	0,0	51	4,731E-03	62,878	0,5
1	4,983E-03	68,713	0,0	52	4,703E-03	57,765	0,0
2	2,531E-03	64,129	18,8	53	4,131E-03	55,842	2,5
3	4,808E-03	65,570	0,5	54	1,665E-04	66,000	580,4
4	3,856E-03	59,689	5,1	55	4,303E-03	65,218	3,0
5	4,790E-03	59,679	0,0	56	4,940E-03	65,137	0,0
6	4,763E-03	60,390	0,1	57	4,844E-03	62,606	0,1
7	4,667E-03	58,081	0,1	58	4,961E-03	64,288	0,0
8	4,726E-03	61,237	0,1	59	4,717E-03	60,528	0,3
9	4,734E-03	61,302	0,1	60	4,841E-03	63,111	0,0
10	4,846E-03	63,193	0,0	61	4,943E-03	68,050	0,3
11	5,021E-03	67,576	0,0	62	2,517E-03	57,546	18,5
12	4,939E-03	65,161	0,0	63	4,753E-03	61,401	0,0
13	4,783E-03	63,095	0,3	64	4,782E-03	60,114	0,0
14	3,784E-03	66,348	6,1	65	1,768E-04	57,276	*****
15	4,620E-03	63,366	1,0	66	4,800E-03	63,115	0,2
16	4,037E-03	60,873	3,8	67	4,767E-03	60,786	0,0
17	4,770E-03	60,622	0,0	68	4,792E-03	59,683	0,0
18	4,678E-03	59,802	0,5	69	4,337E-03	59,896	2,2
19	4,850E-03	63,029	0,0	70	4,852E-03	62,937	0,0
20	4,837E-03	63,576	0,0	71	3,309E-03	57,346	9,0
21	1,770E-04	65,316	*****	72	4,560E-03	52,768	0,0
22	1,668E-04	63,155	578,8	73	4,700E-03	57,899	0,0
23	5,027E-03	67,480	0,0	74	4,766E-03	62,875	0,4
24	4,895E-03	66,644	0,0	75	4,763E-03	60,754	0,0
25	4,299E-03	62,701	2,7	76	4,777E-03	60,328	0,0
26	1,669E-04	57,645	578,0	77	4,542E-03	58,037	0,7
27	5,026E-03	67,527	0,0	78	3,677E-03	64,556	6,4
28	2,878E-03	57,610	13,5	79	3,030E-03	57,806	11,7
29	5,004E-03	68,321	0,0	80	4,855E-03	62,814	0,0
30	1,669E-04	60,230	578,1	81	4,805E-03	62,846	0,2
31	4,736E-03	61,327	0,1	82	4,670E-03	60,997	0,4
32	3,794E-03	62,670	5,8	83	4,719E-03	63,715	0,5
33	5,024E-03	67,586	0,0	84	4,764E-03	60,922	0,0
34	4,706E-03	65,228	1,0	85	3,961E-03	57,990	4,0
35	4,643E-03	58,770	0,2	86	4,762E-03	60,313	0,1
36	4,699E-03	57,952	0,0	87	4,840E-03	63,453	0,0
37	4,850E-03	62,930	0,0	88	4,852E-03	62,562	0,0
38	4,839E-03	63,111	0,0	89	4,702E-03	57,829	0,0
39	4,681E-03	58,505	0,0	90	2,074E-05	68,372	*****
40	4,642E-03	54,726	0,0	91	4,818E-03	64,401	0,0
41	4,626E-03	55,437	0,0	92	3,777E-03	64,671	6,3
42	4,472E-03	59,704	1,5	93	4,825E-03	63,986	0,0
43	4,686E-03	58,529	0,0	94	4,536E-03	63,051	1,4
44	4,229E-03	63,760	3,0	95	4,846E-03	62,328	0,1
45	4,928E-03	65,604	0,0	96	4,383E-03	60,058	1,9
46	3,842E-03	59,641	5,2	97	4,783E-03	59,468	0,1
47	4,937E-03	65,252	0,0	98	4,931E-03	65,495	0,0
48	4,791E-03	59,723	0,0	99	4,860E-03	62,629	0,0
49	4,850E-03	63,048	0,0	100	4,991E-03	67,964	0,1
50	4,731E-03	61,663	0,1				

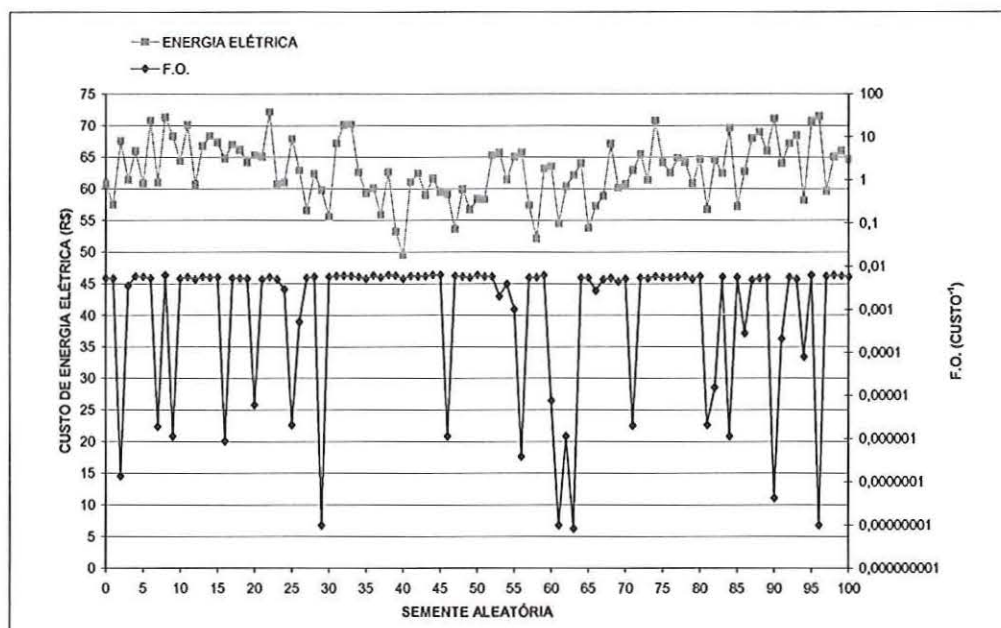


Figura 30 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=10)

Tabela 15 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de PMUT=0.10 E W=10

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	5,294E-03	60,765	0,0	51	5,792E-03	58,307	0,0
1	5,208E-03	57,462	0,4	52	5,838E-03	65,284	0,0
2	1,365E-07	67,602	*****	53	2,020E-03	65,705	8,0
3	3,545E-03	61,388	4,2	54	3,915E-03	61,378	4,2
4	5,869E-03	65,997	0,0	55	1,001E-03	65,037	9,0
5	5,742E-03	60,831	0,1	56	3,833E-07	65,711	738,1
6	5,246E-03	70,812	0,1	57	5,488E-03	57,375	0,0
7	1,884E-06	60,969	*****	58	5,577E-03	52,096	0,3
8	6,174E-03	71,271	0,6	59	6,222E-03	63,180	0,0
9	1,131E-06	68,296	422,6	60	7,611E-06	63,496	162,3
10	5,183E-03	64,372	1,7	61	9,818E-09	54,486	*****
11	5,628E-03	70,068	0,1	62	1,131E-06	60,328	422,7
12	5,005E-03	60,638	0,0	63	8,282E-09	62,103	*****
13	5,712E-03	66,723	0,4	64	5,376E-03	64,000	0,0
14	5,483E-03	68,340	0,1	65	5,413E-03	53,752	0,0
15	5,601E-03	67,321	0,2	66	2,743E-03	57,217	4,3
16	8,718E-07	64,771	471,2	67	4,982E-03	58,854	1,2
17	5,287E-03	67,003	1,0	68	5,330E-03	67,054	1,0
18	5,282E-03	66,156	0,7	69	4,406E-03	60,168	1,6
19	5,215E-03	64,203	0,1	70	5,112E-03	60,685	0,1
20	6,056E-06	65,325	182,5	71	1,981E-06	62,903	*****
21	4,982E-03	65,041	0,0	72	5,423E-03	65,397	0,0
22	5,661E-03	72,161	0,0	73	5,228E-03	61,331	0,1
23	5,062E-03	60,743	1,0	74	5,812E-03	70,772	0,0
24	2,915E-03	60,951	4,0	75	5,555E-03	64,151	0,3
25	2,047E-06	67,878	*****	76	5,527E-03	62,491	0,3
26	5,149E-04	62,881	18,7	77	5,569E-03	64,828	0,0
27	5,458E-03	56,549	0,1	78	5,976E-03	64,175	0,7
28	5,719E-03	62,351	0,0	79	5,101E-03	60,783	1,3
29	9,818E-09	59,788	*****	80	5,924E-03	64,620	0,8
30	5,770E-03	55,575	0,0	81	2,047E-06	56,723	*****
31	6,023E-03	67,171	0,3	82	1,526E-05	64,573	114,8
32	6,051E-03	70,075	0,0	83	5,731E-03	62,391	0,0
33	5,954E-03	70,152	1,4	84	1,131E-06	69,535	420,6
34	5,744E-03	62,590	0,0	85	5,653E-03	57,196	0,0
35	5,210E-03	59,276	1,0	86	2,817E-04	62,705	25,0
36	6,067E-03	60,081	0,0	87	4,920E-03	67,968	1,8
37	5,521E-03	55,883	0,0	88	5,308E-03	68,926	0,5
38	6,261E-03	62,617	0,0	89	5,518E-03	65,954	0,1
39	6,041E-03	53,225	0,1	90	4,193E-08	71,083	200,1
40	5,151E-03	49,456	0,8	91	2,095E-04	63,985	30,7
41	5,911E-03	61,015	1,2	92	5,643E-03	67,116	0,0
42	5,811E-03	62,364	0,1	93	5,087E-03	68,388	0,4
43	5,919E-03	58,986	0,1	94	7,879E-05	58,113	50,3
44	6,351E-03	61,602	0,0	95	6,195E-03	70,662	0,1
45	6,289E-03	59,473	0,0	96	9,821E-09	71,417	*****
46	1,125E-06	59,149	424,5	97	5,939E-03	59,623	0,0
47	6,017E-03	53,574	0,1	98	6,207E-03	65,058	0,1
48	5,801E-03	59,900	0,0	99	6,019E-03	65,987	0,6
49	5,527E-03	56,726	0,5	100	5,771E-03	64,607	0,1
50	6,298E-03	58,368	0,0				

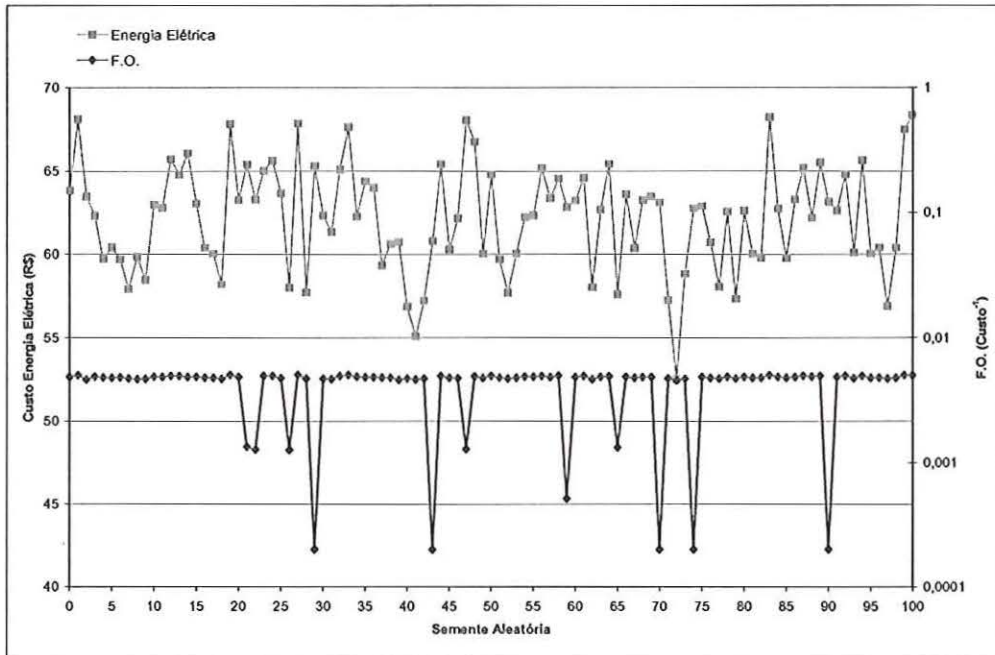


Figura 31 – Simulação de segunda a sexta (PMUT=0.10; W=1)

Tabela 16 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta para os parâmetros de PMUT=0.10 E W=1

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	4,832E-03	63,808	0,0	51	4,792E-03	59,685	0,0
1	5,011E-03	68,101	0,0	52	4,705E-03	57,688	0,0
2	4,638E-03	63,459	9,0	53	4,784E-03	60,050	0,0
3	4,867E-03	62,306	0,0	54	4,868E-03	62,231	0,0
4	4,791E-03	59,725	0,0	55	4,863E-03	62,325	0,2
5	4,775E-03	60,409	0,0	56	4,939E-03	65,151	0,0
6	4,792E-03	59,686	0,0	57	4,842E-03	63,371	0,0
7	4,700E-03	57,918	0,0	58	4,955E-03	64,534	0,0
8	4,658E-03	59,834	0,0	59	5,139E-04	62,834	*****
9	4,688E-03	58,472	0,0	60	4,845E-03	63,231	0,0
10	4,851E-03	62,963	0,0	61	4,953E-03	64,588	0,0
11	4,856E-03	62,801	0,0	62	4,639E-03	58,006	2,7
12	4,926E-03	65,702	0,0	63	4,858E-03	62,674	0,0
13	4,949E-03	64,771	0,0	64	4,893E-03	65,415	1,6
14	4,858E-03	66,054	2,4	65	1,323E-03	57,588	*****
15	4,850E-03	63,040	0,0	66	4,837E-03	63,606	0,0
16	4,776E-03	60,397	0,0	67	4,776E-03	60,370	0,0
17	4,783E-03	60,056	0,0	68	4,845E-03	63,260	0,0
18	4,694E-03	58,177	0,0	69	4,840E-03	63,474	0,0
19	5,018E-03	67,810	0,0	70	1,998E-04	63,090	*****
20	4,845E-03	63,245	0,0	71	4,715E-03	57,254	0,0
21	1,340E-03	65,385	*****	72	4,563E-03	52,517	0,1
22	1,274E-03	63,283	578,5	73	4,674E-03	58,833	0,3
23	4,943E-03	65,007	0,0	74	1,998E-04	62,748	*****
24	4,925E-03	65,601	0,1	75	4,854E-03	62,880	0,0
25	4,742E-03	63,657	4,0	76	4,767E-03	60,709	0,1
26	1,264E-03	57,987	578,0	77	4,697E-03	58,045	0,0
27	5,016E-03	67,836	0,1	78	4,861E-03	62,556	0,0
28	4,702E-03	57,710	0,1	79	4,713E-03	57,327	0,0
29	1,999E-04	65,305	*****	80	4,861E-03	62,590	0,0
30	4,689E-03	62,334	7,7	81	4,775E-03	60,031	0,4
31	4,664E-03	61,324	4,0	82	4,780E-03	59,785	0,4
32	4,941E-03	65,087	0,0	83	5,009E-03	68,208	0,0
33	5,023E-03	67,619	0,0	84	4,857E-03	62,721	0,0
34	4,868E-03	62,282	0,0	85	4,778E-03	59,756	0,6
35	4,818E-03	64,378	0,0	86	4,844E-03	63,275	0,0
36	4,828E-03	63,985	0,0	87	4,939E-03	65,155	0,0
37	4,800E-03	59,339	0,0	88	4,870E-03	62,182	0,0
38	4,770E-03	60,620	0,0	89	4,931E-03	65,483	0,0
39	4,600E-03	60,723	7,6	90	1,998E-04	63,148	*****
40	4,724E-03	56,853	0,0	91	4,860E-03	62,610	0,0
41	4,634E-03	55,080	0,0	92	4,948E-03	64,779	0,0
42	4,684E-03	57,197	1,5	93	4,750E-03	60,091	1,5
43	1,996E-04	60,801	*****	94	4,928E-03	65,625	0,0
44	4,933E-03	65,399	0,0	95	4,784E-03	60,028	0,0
45	4,766E-03	60,289	0,5	96	4,775E-03	60,402	0,0
46	4,751E-03	62,170	5,1	97	4,723E-03	56,889	0,0
47	1,285E-03	68,032	578,5	98	4,775E-03	60,401	0,0
48	4,901E-03	66,738	0,0	99	5,027E-03	67,488	0,0
49	4,784E-03	60,035	0,0	100	5,005E-03	68,359	0,0
50	4,947E-03	64,778	0,1				

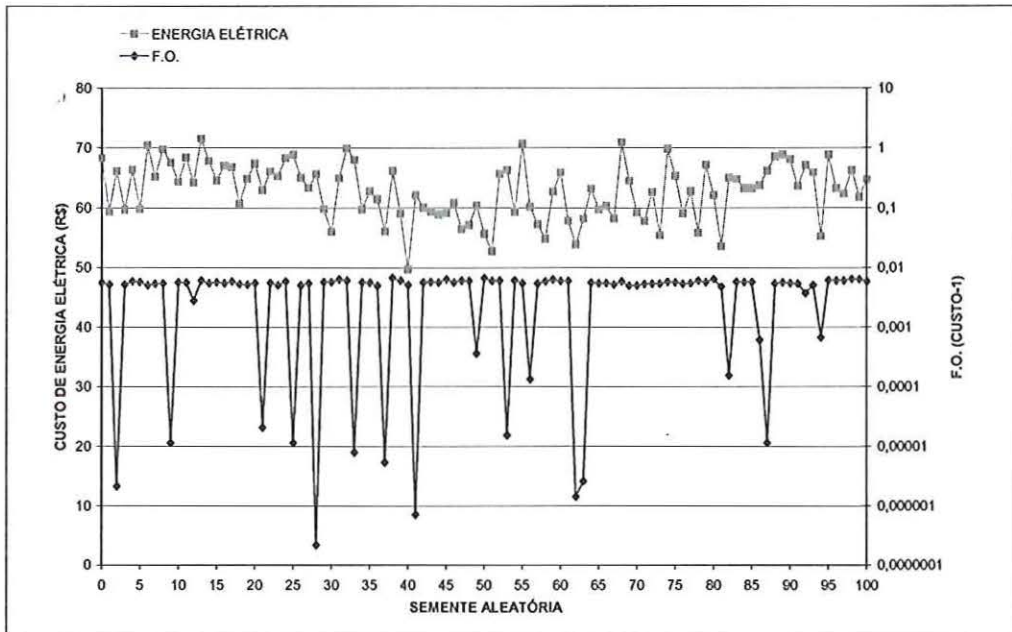


Figura 32 – Simulação de sábado a domingo (PMUT=0.10; W=1)

Tabela 17 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo para os parâmetros de $PMUT=0.10$ E $W=1$

SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades	SEMENTE ALEATÓRIA	F.O. (CUSTO) ⁻¹	ENERGIA ELÉTRICA (R\$)	Σ Penalidades
0	5,552E-03	68,289	0,1	51	5,978E-03	52,749	0,1
1	5,182E-03	59,386	0,1	52	6,027E-03	65,649	0,1
2	2,121E-06	66,072	518,3	53	1,522E-05	66,269	256,0
3	5,168E-03	59,604	0,1	54	6,063E-03	59,248	0,1
4	5,853E-03	66,352	0,4	55	5,465E-03	70,711	0,1
5	5,699E-03	59,733	1,3	56	1,332E-04	60,161	138,7
6	5,078E-03	70,425	1,3	57	5,416E-03	57,196	0,1
7	5,348E-03	65,136	0,1	58	5,867E-03	54,812	0,4
8	5,365E-03	69,749	5,1	59	6,282E-03	62,649	0,1
9	1,129E-05	67,541	422,8	60	5,948E-03	65,877	0,1
10	5,614E-03	64,291	0,1	61	5,928E-03	57,814	0,1
11	5,607E-03	68,396	0,3	62	1,414E-06	53,862	841,5
12	2,778E-03	64,145	18,1	63	2,570E-06	58,161	883,0
13	6,057E-03	71,497	1,1	64	5,563E-03	63,121	0,1
14	5,491E-03	67,779	0,1	65	5,450E-03	59,702	0,1
15	5,659E-03	64,546	0,6	66	5,493E-03	60,259	0,4
16	5,427E-03	66,993	0,1	67	5,174E-03	58,188	0,1
17	5,819E-03	66,724	0,1	68	5,800E-03	70,885	1,1
18	5,269E-03	60,705	0,1	69	4,956E-03	64,435	0,2
19	5,176E-03	64,809	1,2	70	5,004E-03	59,133	0,2
20	5,458E-03	67,376	0,2	71	5,252E-03	57,759	0,1
21	2,040E-05	62,892	157,1	72	5,307E-03	62,560	1,2
22	5,480E-03	66,038	0,7	73	5,335E-03	55,408	0,1
23	5,037E-03	65,194	4,1	74	5,683E-03	69,788	0,4
24	5,787E-03	68,287	0,2	75	5,592E-03	65,291	1,2
25	1,129E-05	68,793	420,6	76	5,308E-03	58,971	0,4
26	4,999E-03	65,004	0,2	77	5,456E-03	62,701	0,1
27	5,368E-03	63,270	0,4	78	5,964E-03	55,838	0,1
28	2,161E-07	65,633	200,1	79	5,664E-03	67,177	0,7
29	5,707E-03	59,735	0,3	80	6,348E-03	62,053	0,7
30	5,695E-03	55,950	1,8	81	4,726E-03	53,551	7,6
31	6,282E-03	64,900	0,1	82	1,538E-04	64,972	112,8
32	6,058E-03	69,879	0,1	83	5,733E-03	64,732	0,1
33	7,795E-06	67,956	504,6	84	5,645E-03	63,158	0,4
34	5,673E-03	59,706	0,2	85	5,642E-03	63,158	1,2
35	5,570E-03	62,699	0,1	86	6,058E-04	63,728	54,1
36	4,931E-03	61,407	8,1	87	1,129E-05	66,145	422,7
37	5,292E-06	56,007	304,0	88	5,361E-03	68,569	0,5
38	6,677E-03	66,139	0,8	89	5,590E-03	68,793	0,9
39	5,991E-03	59,011	0,1	90	5,431E-03	68,070	1,0
40	5,067E-03	49,654	4,8	91	5,349E-03	63,585	0,1
41	7,031E-07	62,042	1686,0	92	3,719E-03	67,055	14,1
42	5,548E-03	59,968	0,4	93	5,043E-03	65,845	1,1
43	5,715E-03	59,334	0,1	94	6,730E-04	55,226	51,0
44	5,596E-03	58,890	6,6	95	6,080E-03	68,838	0,1
45	6,288E-03	59,110	0,7	96	6,006E-03	63,215	0,4
46	5,614E-03	60,780	4,1	97	6,052E-03	62,346	0,1
47	5,996E-03	56,421	0,5	98	6,381E-03	66,230	0,7
48	5,911E-03	57,083	0,8	99	6,331E-03	61,751	0,7
49	3,602E-04	60,381	72,7	100	5,835E-03	64,747	0,2
50	6,632E-03	55,639	0,2				

Através da simulação computacional considerando valores de W igual a 1, 10, 100, podemos notar que elevados valores de W não garantem melhores resultados para a função de aptidão, devido ao fato da busca evitar as regiões do espaço de soluções próximas às violações das restrições, também demonstrado por Reis & Akutsu (2002). Segundo os resultados apresentados, pode-se observar que ocorreu tal acontecimento devido aos valores das penalidades não tenderem a zero, pois o valor de W é um multiplicador das penalidades e quanto maior seu valor, maior o valor acrescido à F.O.. Os elevados valores de W são úteis no sentido de agilizar o algoritmo a buscar rapidamente a solução ótima, mas à medida que se aproxima da solução, o valor elevado de W impede que pequenos passos sejam dados próximos às restrições. Valores menores de W podem demorar mais para atingir tal região, mas quando alcançados, produzem resultados melhores como comprovados nos resultados da simulação.

Os resultados obtidos nas simulações anteriores com volume inicial do reservatório elevado $VIRELE=150 \text{ m}^3$ e volume inicial do reservatório enterrado $VIRENT=500 \text{ m}^3$ para as simulações computacionais do período de segunda a Sexta-feira e sábado a domingo foram testadas novamente variando as faixas de volumes para 50, 60, 70, 80, 90 e 100% do volume máximo do reservatório elevado.

Tabela 18 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 50%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 50%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	6,381E-04	58,081	0,05	100
38	2,415E-03	60,333	0,05	10
38	4,310E-03	58,578	0,05	1
48	9,860E-04	74,595	0,10	100
72	4,540E-03	56,261	0,10	10
72	4,615E-03	55,974	0,10	1

Tabela 19 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 50%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 50%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	2,5292E-08	62,462	0,05	100
36	5,3589E-03	61,275	0,05	10
60	2,9777E-04	69,020	0,05	1
30	7,0737E-06	68,251	0,10	100
40	5,5789E-03	57,314	0,10	10
40	5,5789E-03	57,314	0,10	1

Tabela 20 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 60%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 60%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	4,65664E-09	58,525	0,05	100
38	1,57956E-10	62,301	0,05	10
38	1,26239E-09	57,643	0,05	1
48	1,71683E-11	56,503	0,10	100
72	4,52223E-09	56,026	0,10	10
72	4,61866E-09	55,730	0,10	1

Tabela 21 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 60%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 60%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	8,71075E-11	62,810	0,05	100
36	1,41382E-13	57,390	0,05	10
60	1,12815E-11	55,979	0,05	1
30	2,90391E-12	62,663	0,10	100
40	1,12814E-11	55,072	0,10	10
40	1,12814E-11	55,072	0,10	1

Tabela 22 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 70%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 70%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	8,793E-04	57,364	0,05	100
38	4,855E-03	62,361	0,05	10
38	4,770E-03	60,627	0,05	1
48	5,761E-03	58,394	0,10	100
72	4,713E-03	61,251	0,10	10
72	4,772E-03	60,537	0,10	1

Tabela 23 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 70%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 70%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	3,376E-04	59,890	0,05	100
36	5,653E-03	54,345	0,05	10
60	5,190E-03	61,420	0,05	1
30	7,109E-06	65,326	0,10	100
40	5,904E-03	58,622	0,10	10
40	5,904E-03	58,622	0,10	1

Tabela 24 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 80%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 80%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	5,526E-04	60,884	0,05	100
38	4,482E-03	65,515	0,05	10
38	4,912E-03	64,903	0,05	1
48	1,122E-03	63,455	0,10	100
72	4,778E-03	60,272	0,10	10
72	4,780E-03	60,178	0,10	1

Tabela 25 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 80%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 80%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	1,005E-04	63,494	0,05	100
36	7,888E-05	59,381	0,05	10
60	6,018E-03	56,610	0,05	1
30	5,850E-03	64,550	0,10	100
40	1,968E-05	51,778	0,10	10
40	1,968E-05	51,778	0,10	1

Tabela 26 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 90%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 90%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	2,423E-03	62,805	0,05	100
38	5,569E-03	53,968	0,05	10
38	5,463E-03	62,444	0,05	1
48	1,678E-06	68,458	0,10	100
72	5,269E-03	55,301	0,10	10
72	5,269E-03	55,301	0,10	1

Tabela 27 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 90%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 90%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	5,422E-03	59,995	0,05	100
36	5,569E-03	53,968	0,05	10
60	5,463E-03	62,444	0,05	1
30	1,678E-06	68,458	0,10	100
40	5,269E-03	55,301	0,10	10
40	5,269E-03	55,301	0,10	1

Tabela 28 – Resultados da simulação computacional de segunda a sexta com VIRELE = 100%

SEGUNDA A SEXTA (VIRELE = 100%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
18	4,241E-03	65,475	0,05	100
38	4,783E-03	60,028	0,05	10
38	4,852E-03	62,917	0,05	1
48	5,517E-03	53,714	0,10	100
72	4,720E-03	56,955	0,10	10
72	4,768E-03	60,693	0,10	1

Tabela 29 – Resultados da simulação computacional de sábado a domingo com VIRELE = 100%

SÁBADO E DOMINGO (VIRELE = 100%)				
Semente Aleatória	F.O. (Custo) ⁻¹	Energia Elétrica (R\$)	PMUT	W
35	3,866E-05	63,639	0,05	100
36	6,561E-03	70,770	0,05	10
60	2,590E-05	54,021	0,05	1
30	3,879E-05	64,693	0,10	100
40	1,299E-05	64,890	0,10	10
40	1,299E-05	64,890	0,10	1

Nota-se que os AGs convergem rapidamente com baixo tempo computacional a qualquer modificação nos dados de entrada e não possui uma estrutura de comandos rígida. Pode-se, através dessa flexibilidade, testar vários parâmetros para que a otimização seja alcançada.

Depois de várias simulações podemos afirmar que dentre os valores analisados, o melhor resultado obtido para o programa do período de simulação de segunda a sexta-feira, com VIRELE = 150 m³, VIRENT = 500 m³, W = 100 e PMUT = 0.10, com valor da F.O. = 5.934E-03 e Custo de Energia Elétrica = R\$ 54,957/dia.

As restrições e penalidades foram atendidas, como pode ser observado na Figura 33 do nível do reservatório elevado e na Figura 34 do nível do reservatório enterrado.

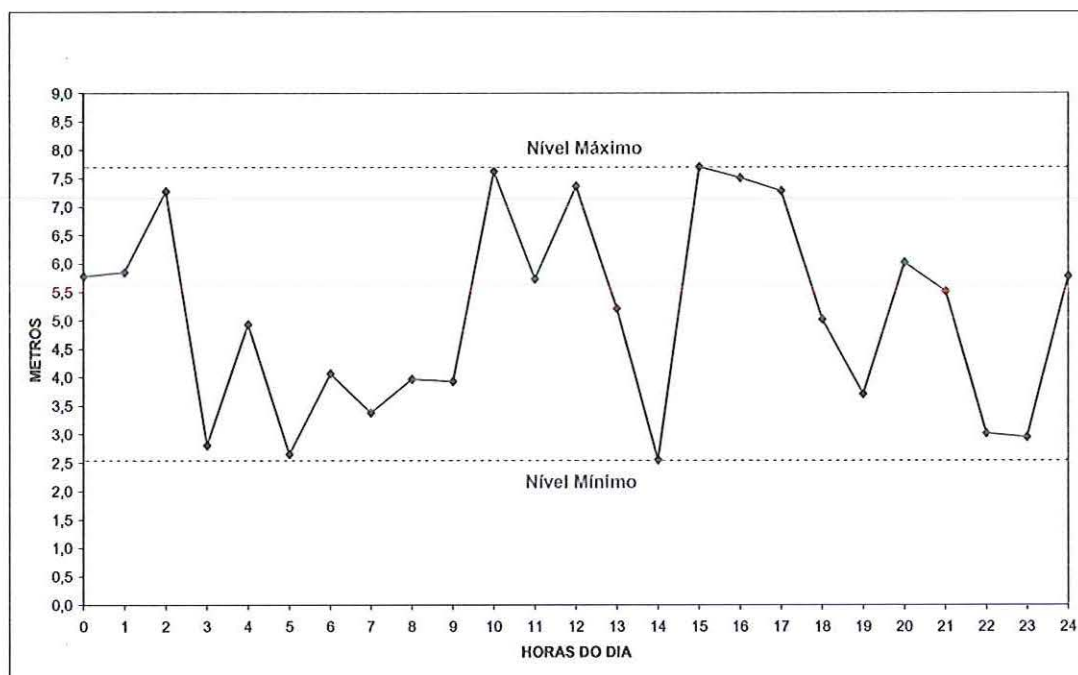


Figura 33 – Nível do reservatório elevado no período da simulação computacional

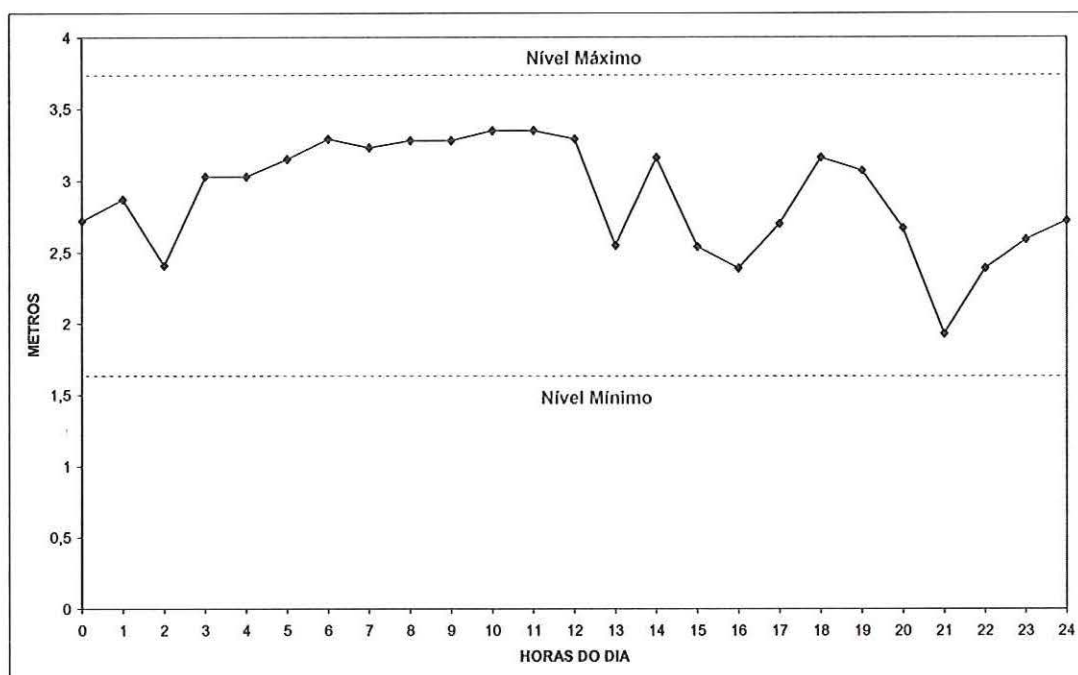


Figura 34 - Nível do reservatório enterrado no período da simulação computacional



Figura 35 – Esquema de funcionamento das bombas no período de simulação computacional de segunda a sexta-feira

Os melhores resultados para a simulação computacional do período de simulação de sábado a domingo, com VIRELE = 150 m³, VIRENT = 500 m³, W = 100 e PMUT = 0.05 com valor da F.O. = 6.673E-03 e Custo de Energia Elétrica = R\$ 62,004/dia.

As restrições e penalidades foram atendidas, como pode ser observado na Figura 36 do nível do reservatório elevado e na Figura 37 do nível do reservatório enterrado.

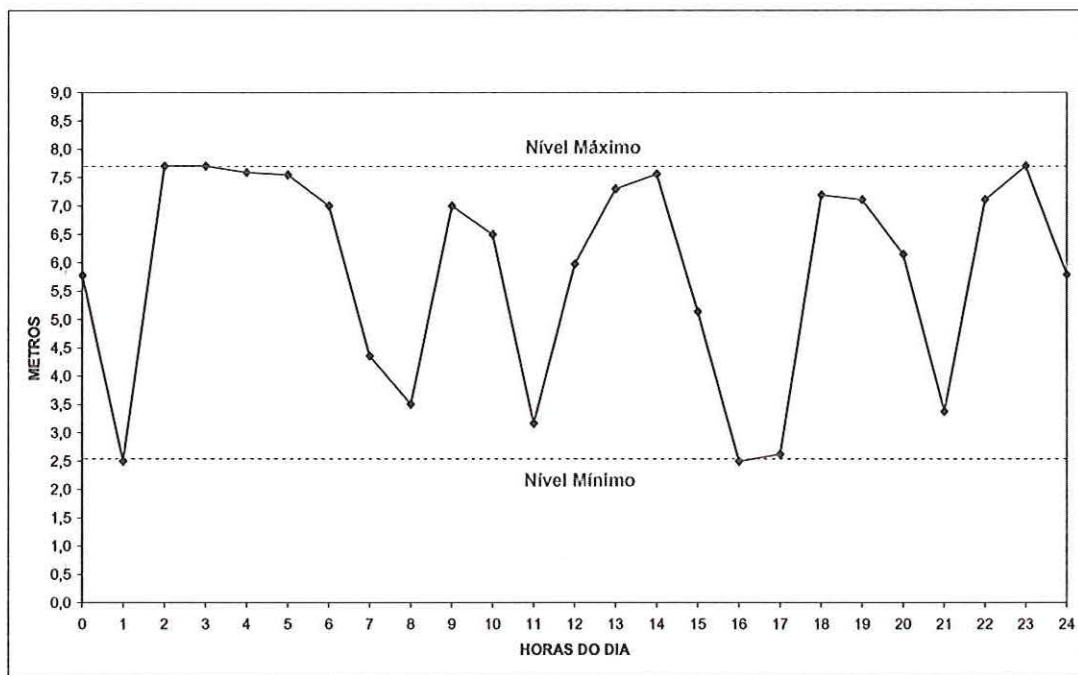


Figura 36 - Nível do reservatório elevado no período da simulação computacional

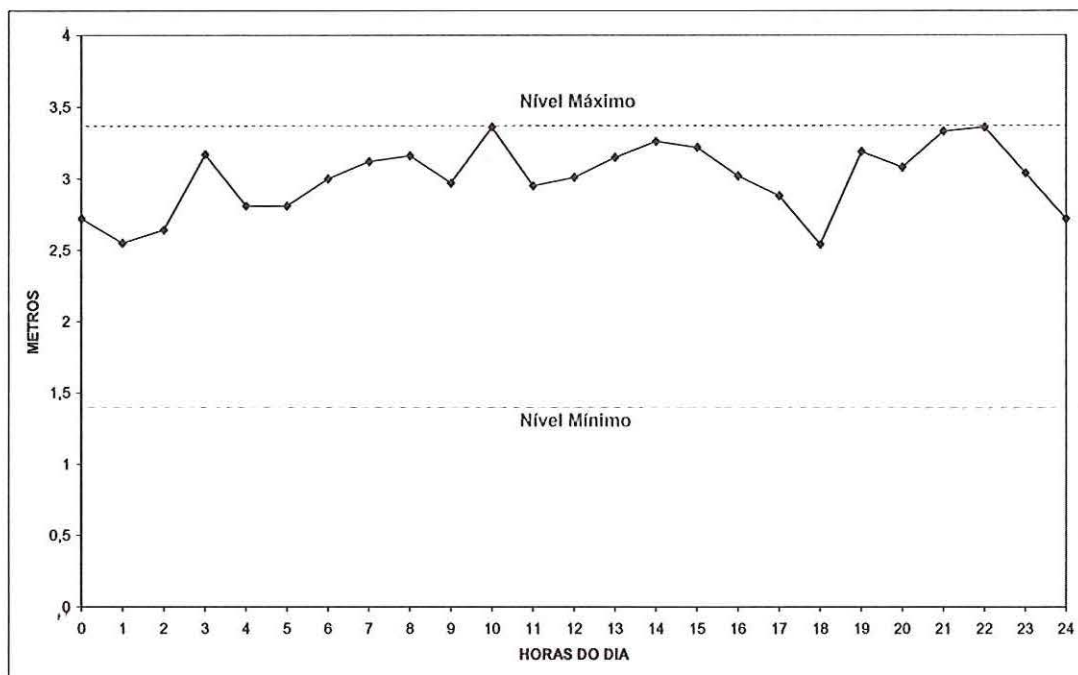


Figura 37 - Nível do reservatório enterrado no período da simulação computacional



Figura 38 - Esquema de funcionamento das bombas no período de simulação computacional de sábado a domingo

A estratégia “ótima” para a operação das bombas do sub-sistema Jardim Cruzeiro do Sul foi determinada pela simulação computacional resultando no valor do custo de energia elétrica para o período de simulação de Segunda a Sexta-feira de R\$ 54,957/dia e para o período de simulação de Sábado a Domingo com o valor de R\$ 62,004/dia. A operação atual do sub-sistema apresentou um gasto mensal com energia elétrica para o

referido mês (março de 2000) no valor de R\$2694,00/mês com um consumo na ponta de 1490 kWh e 68475 kWh fora de ponta (Fonte: SAAE – São Carlos).

A simulação determinou um valor de consumo na ponta de 44,318 kWh/dia e 1501,641 kWh/dia fora de ponta para o período de Segunda a Sexta-feira e 1886,074 kWh/dia de consumo fora de ponta para o período de Sábado a Domingo. Uma comparação simplificada pode ser feita para que se tenha uma ordem de grandeza quanto a operação atual e a simulada, totalizando os valores mensais de 887 kWh/mês na ponta e 48860 kWh/mês fora da ponta.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

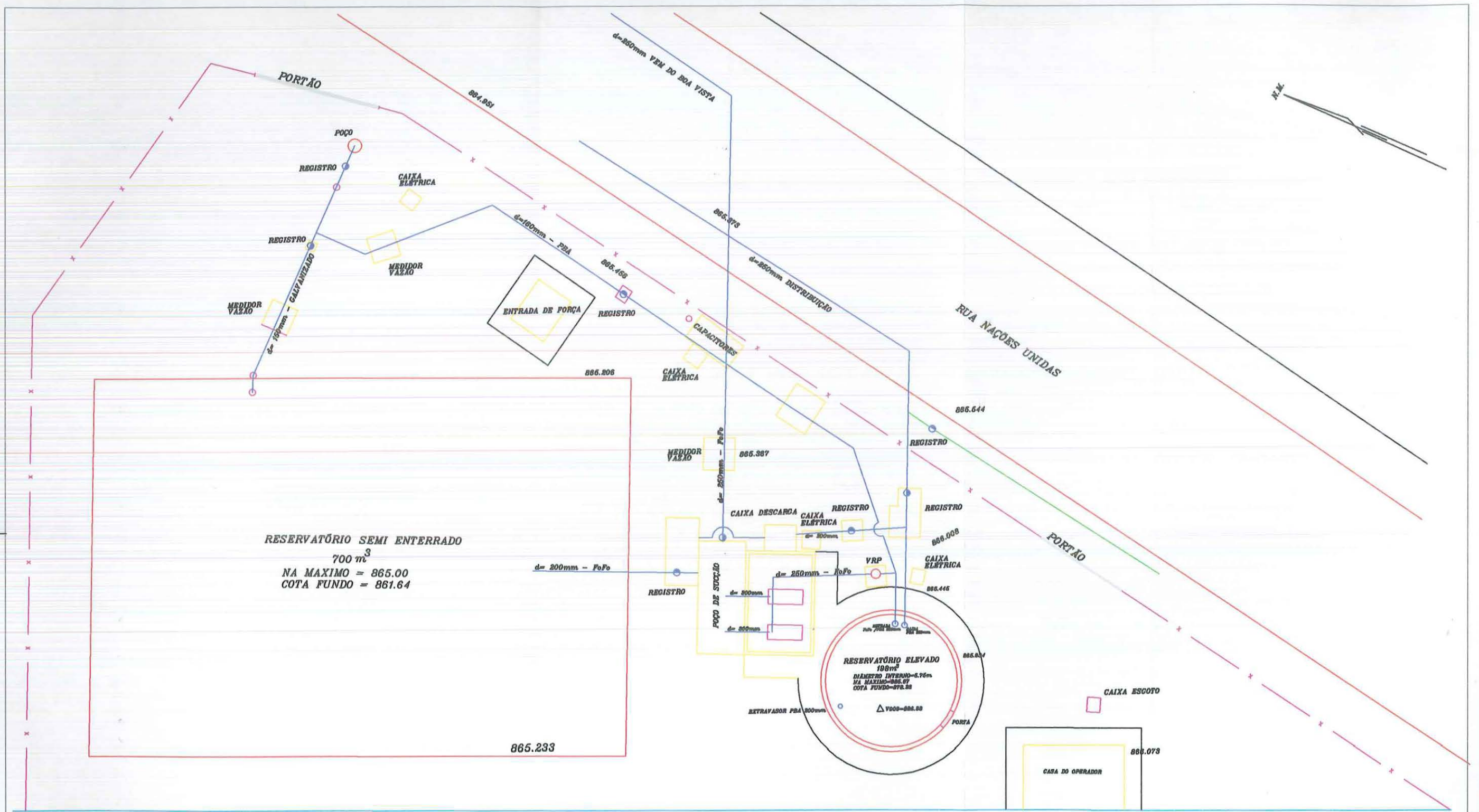
O presente trabalho analisou o estudo da operação otimizada de um sistema de abastecimento de água, onde o objetivo é reduzir os custos da operação de bombeamento. As análises efetuadas permitiram diversas conclusões no que se refere aos custos de energia elétrica apresentando resultado satisfatório.

No que se refere à otimização da operação dos sub-sistemas foram adotadas simplificações tais como: demandas médias para o período de segunda a sexta e sábado e domingo; disponibilidade hídrica inesgotável do aquífero para o poço artesiano operando á plena carga. Tais hipóteses permitiram que a potência do conjunto moto-bomba do poço artesiano fosse mantido constante, embora, na realidade, as variações de nível provocadas pelo tempo de bombeamento e desgaste dos equipamentos e seus acessórios promovam variações na potência consumida.

Quanto ao emprego dos AGs, dentre as vantagens pode-se destacar a sua simplicidade, possibilitando a introdução de restrições variadas, além da sua notada eficiência em produzir soluções para problemas de natureza complexa. Tal versatilidade permite que outros critérios sejam levados em conta na escolha da melhor estratégia operacional para as bombas, como fixar a quantidade de períodos em que a bomba pode permanecer ligada, estabelecer faixas de vazões, etc. Não foram considerados na função objetivo os custos associados ao acionamento das bombas e os custos de demanda contratada de energia elétrica.

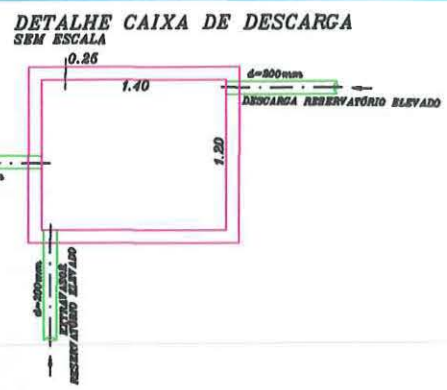
Diversas são as possibilidades de continuidade quanto as investigações aqui realizadas, investigações que diz respeito aos parâmetros

dos AGs, tais como probabilidade de mutação através de operadores de cruzamento, utilização de codificação de variáveis utilizando números binários (permitindo maior precisão nos resultados), utilização de operadores de cruzamento variados e melhor investigação dos parâmetros W.



RESERVATÓRIO SEMI ENTERRADO
 700 m³
 NA MÁXIMO = 865.00
 COTA FUNDO = 861.64

RESERVATÓRIO ELEVADO
 198 m³
 DIÂMETRO INTERNO = 5.76m
 NA MÁXIMO = 865.07
 COTA FUNDO = 862.88



S. A. A. E.
 SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESCOTO

**ÁREA DE PRODUÇÃO E RESERVAÇÃO
 CRUZEIRO DO SUL**

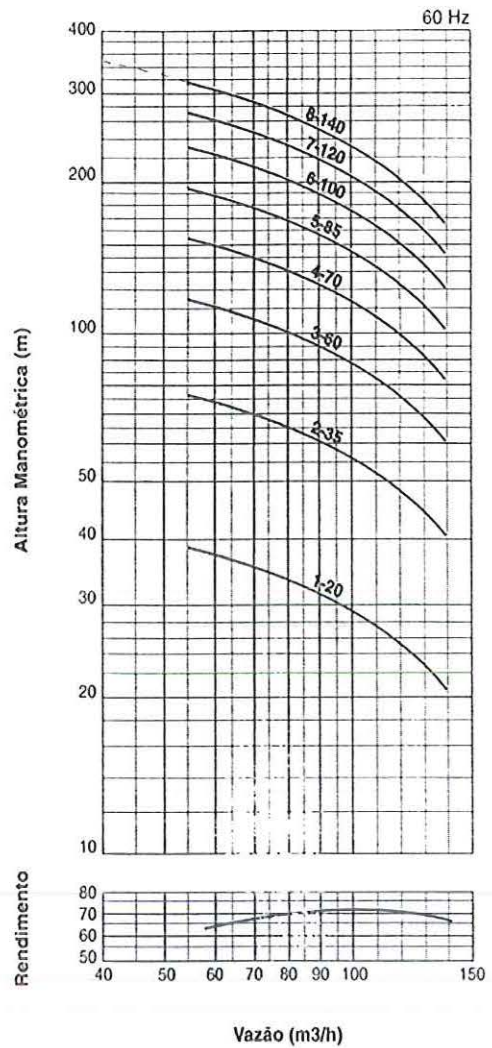
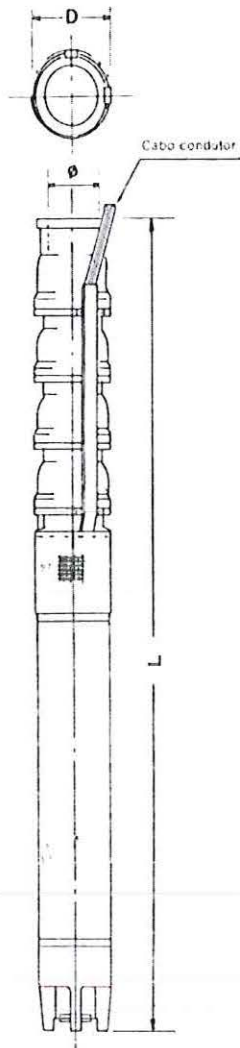
ESCALA	DESENHO	PROJETADO	APROVADO	CROQUI
	Archie	VALTRI		
SEN. 0011	Em. 08/08/2000	Em. 20/08/2000	Em. / ... / 20	
Início Em. / ... / ... Término Em. / ... / ...				



BOMBA SUBMERSA EBARA

BHS 1010
Curva Característica

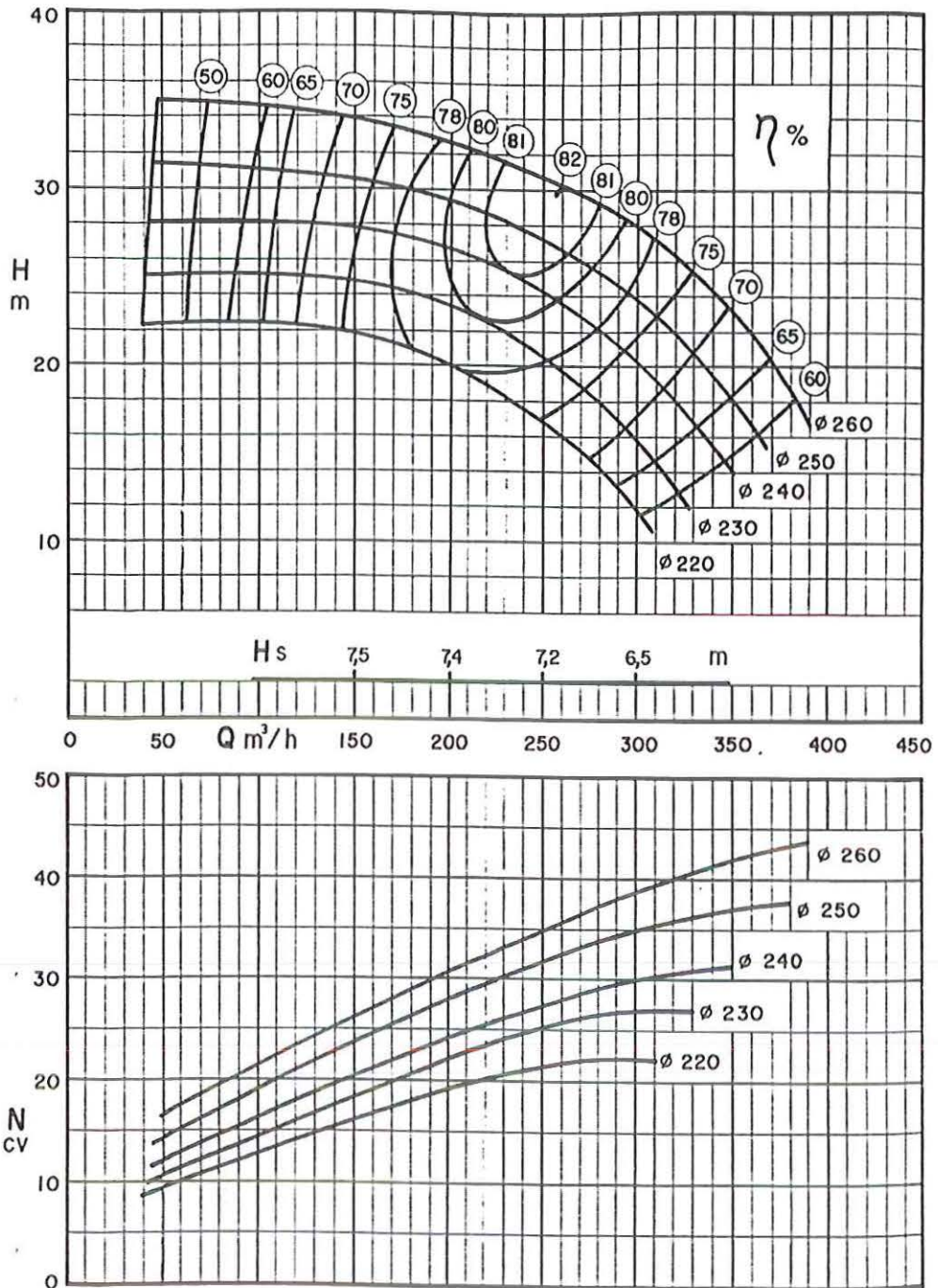
BHS 1010
Bombas Submersas para Poço de 10"



MODELO	EST.	HP	Dmm	φ POL.	Lmm	VAZÃO E ALTURA ELEVATÓRIA					
						55	80	105	125	140	m3/h.
BHS1010-1	1	20	237	6	1745	39	36	31	25,5	20,5	m
BHS1010-2	2	35	237	6	1858	78	72	62	51	41	m
BHS1010-3	3	50	237	6	2063	117	108	93	76,5	61,5	m
BHS1010-4	4	70	237	6	2438	156	144	124	102	82	m
BHS1010-5	5	85	237	6	2583	195	180	155	127,5	102,5	m
BHS1010-6	6	100	237	6	2728	234	216	186	153	123	m
BHS1010-7	7	120	237	6	3079	273	252	217	178,5	143,5	m
BHS1010-8	8	140	237	6	3364	312	288	248	204	164	m

Figura 39 – Curva característica da bomba submersa

ITA 125.260



ROTOR

Ø Máximo	260 mm	Flange Sucção	150 mm
Ø Mínimo	220 mm	Flange Pressão	125 mm
Largura	28 mm	Peso específico γ	1 kgf/dm^3
Rotação	1750 rpm	Viscosidade μ	1 cP



Figura 40 – Curva característica da bomba de recalque


```

*****
*          PROGRAMA: ALGORITMO GENÉTICO          *
*          OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA          *
*          SUBSISTEMA JARDIM CRUZEIRO DO SUL - SAAE - SÃO CARLOS - SP          *
*          MESTRANDO: ENGENHEIRO JORGE YUTAKA OUGUI - SHS - EESC - USP          *
*          ORIENTADORA: LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS - SHS - EESC - USP          *
*****
PROGRAM ALGOGENET
C SEGUNDA-FEIRA A SEXTA-FEIRA
  INTEGER Y,CICLO
  REAL VIRELE,VIRENT,VRELEMAX,VRELEMIN,VRENTMAX,VRENTMIN,FOFINAL,
  $FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRENTI,PVRELEI,
  $VIRENT1,VIRELE1,QACBV,POTAC7,POTAC6,VRENT,VRELE,VX6,IS,QSRE,
  $IS2,IS3,ISC1,ISC2,ISFINAL,H,HRELE,HRENT,POTP6,POTP7,CUSTO
  PARAMETER (NPOP=30,NVAR=6+1,ISTRG=24,NCRU=30,C1=0.037545,
  $C2=0.082688,C3=0.05,NUMALE=41,NLOOP=50000,PMUT=0.15,wp=10,pp=2)
  DIMENSION IS(NPOP,NVAR,ISTRG),IS2(2*NPOP,NVAR,ISTRG),
  $IS3(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),X(NVAR),
  $ISC2(NPOP,NVAR,ISTRG),XMAX(NVAR),XMIN(NVAR),DEM(ISTRG),
  $FO(2*NCRU),FOP(2*NCRU),FOK(2*NCRU),ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),
  $HRELE(ISTRG),HRENT(ISTRG)
  COMMON /A1/VIRELE,VIRENT,VRELEMAX,VRELEMIN,VRENTMAX,VRENTMIN,QSRE
C ***** DADOS INICIAIS - VARIÁVEIS FIXAS *****
C NPOP = Número de Indivíduos na População Inicial
C NVAR = Número de Variáveis de Decisão
C NCRU = Número de Cruzamentos
C ISTRG = Comprimento DO String de cada indivíduo
C C1 = Tarifa de Consumo de Energia Elétrica Fora DO Horário de Ponta
C C2 = Tarifa de Consumo de Energia Elétrica no Horário de Ponta
C C3 = Tarifa Fictícia Cobrada pela Água Vinda DO Jardim Boa Vista
C ***** RESERVATÓRIO ELEVADO *****
C VIRELE = Volume Inicial DO Reservatório Elevado (m³)
C H = 12,50 + 5,00 m (Altura DO Nível Inicial)
  VIRELE=150
C VRELEMAX = Volume DO Reservatório Elevado Máximo (m³)
C H = 12,50 + 7,64 m (Altura DO Nível Máximo)
  VRELEMAX=200
C VRELEMIN = Volume DO Reservatório Elevado Mínimo (m³)
C H = 12,50 + 2,50 m (Altura DO Nível Mínimo)
  VRELEMIN=65
C QRSE = Vazão de Sobras DO Reservatório Elevado (m³/h)
  QSRE=102
C ***** RESERVATÓRIO ENTERRADO *****
C VIRENT = Volume Inicial DO Reservatório Enterrado (m³)
C H = 2,72 m (Altura DO Nível Inicial)
  VIRENT=500
C VRENTMAX = Volume DO Reservatório Enterrado Máximo (m³)
C H = 3,36 m (Altura DO Nível Máximo)
  VRENTMAX=700
C VRENTMIN = Volume DO Reservatório Enterrado Mínimo (m³)
C H = 1,44 m (Altura DO Nível Mínimo)
  VRENTMIN=201
C ***** VARIÁVEIS DE RESTRIÇÃO - VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS *****
C X(1) = {0 ou 1} R.elev./R.enter. (Q poço artesiano)
C X(2) = {0 ou 1} Desliga/Liga bomba DO poço artesiano
C X(3) = {0 ou 1} Desliga/Liga bomba de recalque
C X(4) = {0 ou 1} Desliga/Liga vazão DO Boa Vista
C XMAX(5) E XMIN(5) = Q Boa Vista para o Cruzeiro DO Sul (m³/h)
  XMAX(5)=216
  XMIN(5)=0
C XMAX(6) E XMIN(6) = Q bomba de recalque (depende da rot. da bomba) (m³/h)
  XMAX(6)=300
  XMIN(6)=0
C XMAX(7) E XMIN(7) = Q bomba DO poço (rotação fixa) (m³/h)
  XMAX(7)=117
  XMIN(7)=117
C ***** VAZÃO DE DEMANDA - CONSUMO NOS HORÁRIOS *****
C DEM(1 ao 24) = Q distribuição (demanda) (m³/h)
  DEM(1)=129
  DEM(2)=119
  DEM(3)=116
  DEM(4)=116
  DEM(5)=117
  DEM(6)=131

```

```

DEM(7)=183
DEM(8)=220
DEM(9)=258
DEM(10)=286
DEM(11)=296
DEM(12)=293
DEM(13)=278
DEM(14)=271
DEM(15)=255
DEM(16)=241
DEM(17)=236
DEM(18)=246
DEM(19)=255
DEM(20)=225
DEM(21)=199
DEM(22)=182
DEM(23)=169
DEM(24)=148
C   PARA VARIAR OS NÚMEROS ALEATÓRIOS GERADOS, MUDE NO INÍCIO DO
C   PROGRAMA O VALOR DE NUMALE
DO 100 I=1,NUMALE
      CALL RANDOM(RAND)
100 CONTINUE
C   *****
C   GERA ALEATOREAMENTE A POPULAÇÃO INICIAL COM NPOP INDIVÍDUOS
      CALL GERADORA (NPOP,NVAR,ISTRG,IS,XMAX,XMIN,FOFINAL,ISFINAL,FOT,
      $FO,FOP,FOK,DEM,C1,C2,C3,Wp,Pp)
C   *****
C   CRUZA OS INDIVÍDUOS COM DOIS PONTOS DE CORTE E REALIZA A MUTAÇÃO
      CALL CRUZMUTA1 (IS,IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,
      $XMAX,XMIN,FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,
      $PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRENTI,PVRELEI,DEM,C1,C2,C3,PMUT,Wp,Pp)
C   ***** REALIZA K INTERAÇÕES EM BUSCA DO RESULTADO ÓTIMO *****
      Y=2*NPOP
      DO 200 J=1,NLOOP
        CICLO=J
C   *****
C   CRUZA OS INDIVÍDUOS COM DOIS PONTOS DE CORTE E REALIZA A MUTAÇÃO
      CALL CRUZMUTA2 (IS,IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,XMAX,XMIN,
      $FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
      $PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,DEM,CICLO,C1,C2,C3,PMUT,Wp,Pp,NLOOP)
C   ***** CALCULA AS PENALIDADES PARA O VALOR DE ISFINAL(1,J,K) *****
      VIRENT1=VIRENT
      VIRELE1=VIRELE
      PVRENTMAX=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÁXIMO}
      PVRENTMIN=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÍNIMO}
      PVRELEMAX=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÁXIMO}
      PVRELEMIN=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÍNIMO}
      POTP6=0
      POTP7=0
      POTAC6=0
      POTAC7=0
      QACBV=0
      DO 111 K=1,ISTRG
        DO 112 L=1,NVAR
          X(L)=ISFINAL(1,L,K)
112 CONTINUE
      VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
      VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
      IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
        VX6=VRELE-VRELEMAX
        IF(VX6.GE.QSRE)THEN
          VRELE=VRELE-QSRE
          VRENT=VRENT+QSRE
        ELSE
          VRELE=VRELE-VX6
          VRENT=VRENT+VX6
        ENDIF
      ELSE
        ENDIF
      ENDIF

```



```

C ***** PENALIDADES *****
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO
  IF(VRENT.GT.VRENTMAX)THEN
    PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
  ENDIF
  IF(VRENT.LT.VRENTMIN)THEN
    PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
  ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
  IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
    PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
  ENDIF
  IF(VRELE.LT.VRELEMIN)THEN
    PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
  ENDIF
C **** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em KW
  X(7)=75.6
C X(6)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em KW
  X(6)=0.081129*X(6)
  IF (K.NE.19) THEN
    IF (K.NE.20) THEN
      IF (K.NE.21) THEN
        POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
        POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
        GOTO 110
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
C CONSUMO DE PONTA DAS BOMBAS (18:00 ÀS 21:00)
C *OBS: O POÇO FICA DESLIGADO NESTE HORÁRIO, NÃO POSSUI VAZÃO
  POTP6=POTP6+X(3)*X(6)
  POTP7=POTP7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
110 QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
  VIRENT1=VIRENT
  VIRELE1=VIRELE
111 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
  IF(VRELE.NE.VIRELE)THEN
    PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**pp
  ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
  IF(VRENT.NE.VIRENT)THEN
    PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**pp
  ENDIF
  CUSTO=((POTAC7+POTAC6)*C1+(POTP6+POTP7)*C2)
C PARA QUE OS VALORES ABAIXO SEJAM IMPRIMIDOS ALTERE O VALOR DA CONDIÇÃO
C (1000000) PARA ZERO
  IF (CICLO.GE.0.AND.CICLO.LE.0) THEN
    WRITE(1,1) J,FOFINAL,CUSTO,PVRENTMIN,PVRENTMAX,PVRELEMIN,
    $PVRELEMAX,PVRENTI,PVRELEI,(QACBV*C3)
    1 FORMAT (2X,I7,2X,F10.3,2X,F8.3,2X,F6.0,2X,F6.0,2X,F6.0,2X,F6.0,2X,
    $F6.0,2X,F6.0,2X,F8.2)
  ENDIF
C VALORES APRESENTADOS ENQUANTO RODA O PROGRAMA
  WRITE(*,20) J,FOFINAL,CUSTO,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
  $PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI
  20 FORMAT (2X,I7,2X,F10.3,2X,F8.3,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,
  $F6.3,2X,F6.3)
200 CONTINUE
  VIRENT1=VIRENT
  VIRELE1=VIRELE
  DO 121 K=1,ISTRG
    DO 122 L=1,NVAR
      X(L)=ISFINAL(1,L,K)
122 CONTINUE
  VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
  VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
  IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
    VX6=VRELE-VRELEMAX
    IF(VX6.GE.QSRE)THEN
      VRELE=VRELE-QSRE
      VRENT=VRENT+QSRE

```

```

ELSE
  VRELE=VRELE-VX6
  VRENT=VRENT+VX6
ENDIF
ENDIF
C *****
C ENTRA COM O VOLUME DO RESERVATÓRIO ENTERRADO NA EQ. POLINÔMIO PARA
C CALCULAR O NÍVEL
C CALL POLINOMIO (VRENT,H)
C *****
C HRELE(K)=VRELE/25.9672
C HRENT(K)=H
C VIRENT1=VRENT
C VIRELE1=VRELE
121 CONTINUE
C *****
C SAÍDA DOS VALORES DA F.O. DE CADA INDIVÍDUO E SEU RESPECTIVO RANK
C CALL SAIDA1 (NVAR, ISTRG, ISFINAL, FOFINAL, HRELE, HRENT, CUSTO,
C $PVRELEMIN, PVRELEMAX, PVRENTMIN, PVRENTMAX, PVRELEI, PVRENTI, NUMALE,
C $NLOOP, QACBV, C3, POTP6, POTP7, POTAC6, POTAC7, C1, C2, VRELEMAX, VRELEMIN,
C $VIRELE, QSRE, VRENTMAX, VRENTMIN, VIRENT, DEM)
C *****
C END

*****
* SUB ROTINA GERADORA *
*****
SUBROUTINE GERADORA (NPOP, NVAR, ISTRG, IS, XMAX, XMIN, FOFINAL,
$ISFINAL, FOT, FO, FOP, FOK, DEM, C1, C2, C3, Wp, Pp)
INTEGER POSFINAL
REAL FOFINAL, FOT, QSRE, PVRENTMIN, PVRELEMAX, PVRELEMIN, PVRELEI,
$PVRENTI, POTAC7, POTAC6, QACBV, POTP6, POTP7, VX6, VRENT, VRELE,
$VIRENT1, VIRELE1, PVRENTMAX, IS, ISFINAL
DIMENSION IS(NPOP, NVAR, ISTRG), XMAX(NVAR), XMIN(NVAR),
$ISFINAL(1, NVAR, ISTRG), FO(NPOP), FOP(NPOP), FOK(NPOP), DEM(ISTRG),
$X(NVAR), FOKJ(NPOP)
COMMON /A1/VIRELE, VIRENT, VRELEMAX, VRELEMIN, VRENTMAX, VRENTMIN, QSRE
C W=Multiplicador das Penalidades
C P=Expoente das Penalidades
W=Wp
P=Pp
DO 10 I=1, NPOP
C GERA VALORES ALEATÓRIOS {0 ou 1} PARA x(1), x(2), x(3) e x(4)
DO 20 J=1, NVAR-3
DO 30 K=1, ISTRG
CALL RANDOM(RAND)
IS(I, J, K)=NINT(REAL(RAND))
30 CONTINUE
20 CONTINUE
C GERA VALORES ALEATÓRIOS (ENTRE XMIN e XMAX) PARA x(5), x(6) e x(7)
DO 40 J=5, NVAR
DO 50 K=1, ISTRG
CALL RANDOM(RAND)
IS(I, J, K)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J)))+XMIN(J))
50 CONTINUE
40 CONTINUE
C BOMBA DO POÇO DESLIGADA DAS 18:00 ÀS 21:00(CONTRATO)
J=2
DO 60 K=19, 21
IS(I, J, K)=0
60 CONTINUE
10 CONTINUE
C {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS DA GERADORA}
FOT=0
DO 80 I=1, NPOP
C ***** CALCULA A F.O. PARA OS VALORES DE IS(I, J, K) *****
VIRENT1=VIRENT
VIRELE1=VIRELE
PVRENTMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÁXIMO}
PVRENTMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÍNIMO}

```



```

PVRELEMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÁXIMO}
PVRELEMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÍNIMO}
POTP6=0
POTP7=0
POTAC6=0
POTAC7=0
QACBV=0
DO 90 K=1,ISTRG
    DO 100 J=1,NVAR
        X(J)=IS(I,J,K)
100    CONTINUE
VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
    VX6=VRELE-VRELEMAX
    IF (VX6.GE.QSRE) THEN
        VRELE=VRELE-QSRE
        VRENT=VRENT+QSRE
    ELSE
        VRELE=VRELE-VX6
        VRENT=VRENT+VX6
    ENDIF
ENDIF
C ***** PENALIDADES *****
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO
IF (VRENT.GT.VRENTMAX) THEN
    PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
ENDIF
IF (VRENT.LT.VRENTMIN) THEN
    PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
    PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
ENDIF
IF (VRELE.LT.VRELEMIN) THEN
    PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
ENDIF
C **** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em Kw
X(7)=75.6
C X(6)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em Kw
X(6)=0.081129*X(6)
IF (K.NE.19) THEN
    IF (K.NE.20) THEN
        IF (K.NE.21) THEN
            POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
            POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
            GOTO 110
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
C CONSUMO DE PONTA DAS BOMBAS (18:00 ÀS 21:00)
C *OBS: O POÇO FICA DESLIGADO NESTE HORÁRIO, NÃO POSSUI VAZÃO
POTP6=POTP6+X(3)*X(6)
POTP7=POTP7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
110 QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
VIRENT1=VRENT
VIRELE1=VRELE
90 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
IF (VRELE.NE.VIRELE) THEN
    PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**Pp
ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
IF (VRENT.NE.VIRENT) THEN
    PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**Pp
ENDIF
FO(I)=(((POTAC6+POTAC7)*C1)+((POTP6+POTP7)*C2)+
$W*((PVRENTMAX)+(PVRENTMIN)+(PVRELEMAX)+
$(PVRELEMIN)+(PVRELEI)+(PVRENTI))+QACBV*C3)

```

```

      FOT=FOT+FO(I)
80 CONTINUE
C   REALIZA O RANK DA F.O. EM ORDEM CRESCENTE
      FOK(1)=900000000
      DO 130 I=1,NPOP
        IF(FO(I).LT.FOK(1))THEN
          FOK(1)=FO(I)
          FOP(1)=INT(I)
        ENDIF
130 CONTINUE
      DO 140 J=2,NPOP
        FOKJ(J)=900000000
        L=J-1
        DO 150 K=1,NPOP
          IF (FO(K).LE.FOKJ(J))THEN
            IF (FO(K).GE.FOK(L))THEN
              DO 155 M=1,L
                IF (FOP(M).EQ.K)THEN
                  GOTO 150
              ENDIF
            CONTINUE
            FOKJ(J)=FO(K)
            FOK(J)=FO(K)
            FOP(J)=INT(K)
          ENDIF
        ENDIF
150 CONTINUE
140 CONTINUE
C   ARMAZENA O CONTEÚDO DO MELHOR INDIVÍDUO P/ A PRÓXIMA GERAÇÃO
      FOFINAL=FOK(1)
      POSFINAL=INT(FOP(1))
      I=POSFINAL
      DO 160 J=1,NVAR
        DO 170 K=1,ISTRG
          ISFINAL(1,J,K)=IS(I,J,K)
170 CONTINUE
160 CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

*****
*                               SUB ROTINA CRUZMUTA1                               *
*****
      SUBROUTINE CRUZMUTA1 (IS, IS2, IS3, ISC1, ISC2, NPOP, NVAR, ISTRG,
$NCRU, XMAX, XMIN, FO, FOP, FOK, FOFINAL, ISFINAL, FOT, PVRENTMAX, PVRENTMIN,
$PVRELEMAX, PVRELEMIN, PVRELEI, PVRENTI, DEM, C1, C2, C3, PMUT, Wp, Pp)
      INTEGER XP, Y, Y1, Y2, Y3, Z, T, W, VZ, VX, VW, VY1I, VY2I
      REAL VY1, VY2, VY1F, VY2F, FOFINAL, FOT, PVRENTMAX, PVRENTMIN, PVRELEMAX,
$PVRELEMIN, PVRELEI, PVRENTI, IS, IS2, IS3, ISC1, ISC2, ISFINAL
      DIMENSION IS(NPOP, NVAR, ISTRG), IS2(2*NPOP, NVAR, ISTRG),
$IS3(NPOP, NVAR, ISTRG), ISC1(NPOP, NVAR, ISTRG), DEM(ISTRG),
$ISC2(NCRU, NVAR, ISTRG), XMAX(NVAR), XMIN(NVAR),
$FO(2*NCRU), FOP(2*NCRU), FOK(2*NCRU), ISFINAL(1, NVAR, ISTRG)
      COMMON /A2/I
C   ***** CRUZAMENTO *****
      DO 10 I=1,NCRU
11      CALL RANDOM(RAND)
          XP=(NINT(REAL(RAND)*NPOP))
          IF (XP.EQ.I.OR.XP.EQ.0) THEN
            GOTO 11
          ENDIF
C   POSICIONAMENTO DO CORTE NO STRING (Y e Y2)
          CALL RANDOM(RAND)
          Y=NINT(REAL(RAND)*ISTRG*NVAR)
          IF (Y.EQ.0.OR.Y.EQ.(ISTRG*NVAR)) THEN
            Y=1
          ENDIF
          Y1=Y
          Y3=(ISTRG*NVAR)-Y
          CALL RANDOM(RAND)
          Z=NINT(REAL(RAND)*Y3)

```



```

        IF (Z.EQ.0) THEN
            Z=1
        ENDIF
        Y2=Y1+Z
C      {TROCA DO MATERIAL GENÉTICO ENTRE OS PARES}
        DO 20 J=1,NVAR
        DO 30 K=1,ISTRG
            ISC1(I,J,K)=IS(I,J,K)
            ISC2(I,J,K)=IS(XP,J,K)
30     CONTINUE
20     CONTINUE
        VY1=REAL(Y1)/ISTRG
        VY2=REAL(Y2)/ISTRG
        VY1I=INT(VY1)
        VY1F=VY1-VY1I
        VY2I=INT(VY2)
        VY2F=VY2-VY2I
        IF (VY1F.GT.0) THEN
            VY1I=VY1I+1
        ENDIF
        IF (VY2F.GT.0) THEN
            VY2I=VY2I+1
        ENDIF
        VZ=VY1I
        VX=(VY1I*ISTRG)-ISTRG
        VW=(VY2I*ISTRG)-ISTRG
        DO 70 J=VY1I,VY2I
            IF (VY1I.EQ.VY2I) THEN
                DO 71 K=Y1-VX,Y2-VW
                    ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
                    ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
71     CONTINUE
                ENDIF
                IF (J.NE.VY2I.AND.J.EQ.VZ) THEN
                    DO 72 K=Y1-VX,ISTRG
                        ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
                        ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
72     CONTINUE
                    ENDIF
                    IF (J.NE.VZ.AND.J.NE.VY2I) THEN
                        DO 73 K=1,ISTRG
                            ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
                            ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
73     CONTINUE
                        ENDIF
                        IF (J.NE.VZ.AND.J.EQ.VY2I) THEN
                            DO 74 K=1,Y2-VW
                                ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
                                ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
74     CONTINUE
                            ENDIF
70     CONTINUE
C      ***** MUTAÇÃO (ISC1) *****
        CALL RANDOM(RAND)
21     IF (RAND.LE.PMUT) THEN
            CALL RANDOM(RAND)
            J=NINT(REAL(RAND)*NVAR)
            IF (J.EQ.0) THEN
                GOTO 21
            ENDIF
22     CALL RANDOM(RAND)
            W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
            IF (W.EQ.0) THEN
                GOTO 22
            ENDIF
            GOTO (31,32,31,31,33,33),J
31     T=ISC1(I,J,W)
            IF (T.EQ.0) THEN
                ISC1(I,J,W)=1
            ELSE
                ISC1(I,J,W)=0
            ENDIF
            GOTO 21
32     IF (W.NE.19) THEN

```

```

        IF (W.NE.20) THEN
            IF (W.NE.21) THEN
                T=ISC1(I,J,W)
                IF (T.EQ.0) THEN
                    ISC1(I,J,W)=1
                ELSE
                    ISC1(I,J,W)=0
                ENDIF
            ENDIF
        ENDIF
        ENDIF
        GOTO 21
33     CALL RANDOM(RAND)
        ISC1(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        GOTO 21
    ENDIF
C     ***** MUTAÇÃO (ISC2) *****
        CALL RANDOM(RAND)
51     IF (RAND.LE.PMUT) THEN
            CALL RANDOM(RAND)
            J=NINT(REAL(RAND)*NVAR)
            IF (J.EQ.0) THEN
                GOTO 51
            ENDIF
52     CALL RANDOM(RAND)
            W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
            IF (W.EQ.0) THEN
                GOTO 52
            ENDIF
            GOTO (61,62,61,61,63,63),J
61     T=ISC2(I,J,W)
            IF (T.EQ.0) THEN
                ISC2(I,J,W)=1
            ELSE
                ISC2(I,J,W)=0
            ENDIF
            GOTO 51
62     IF (W.NE.19) THEN
            IF (W.NE.20) THEN
                IF (W.NE.21) THEN
                    T=ISC2(I,J,W)
                    IF (T.EQ.0) THEN
                        ISC2(I,J,W)=1
                    ELSE
                        ISC2(I,J,W)=0
                    ENDIF
                ENDIF
            ENDIF
        ENDIF
        GOTO 51
63     CALL RANDOM(RAND)
        ISC2(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        GOTO 51
        ENDIF
        Y1=Y1-((VY1I-1)*ISTRG)
        Y2=Y2-((VY2I-1)*ISTRG)
        IF (Y1.EQ.0) THEN
            Y1=24
        ENDIF
        IF (Y2.EQ.0) THEN
            Y2=24
        ENDIF
10    CONTINUE
C     ***** FIM DO CRUZAMENTO E MUTAÇÃO *****
        DO 80 I=1,NPOP
            Z=(2*I)-1
            DO 81 J=1,NVAR
                DO 82 K=1,ISTRG
                    IS2(Z,J,K)=ISC1(I,J,K)
22     CONTINUE
81     CONTINUE
            Z=2*I
            DO 83 J=1,NVAR
                DO 84 K=1,ISTRG

```

```

      IS2(Z, J, K)=ISC2(I, J, K)
84      CONTINUE
83      CONTINUE
80 CONTINUE
C      {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS GERADOS}
      CALL AVALIADORA2 (NCRU, NPOP, ISTRG, NVAR, IS2, IS3, FO, FOP, FOK,
$FOFINAL, ISFINAL, FOT, PVRENTMAX, PVRENTMIN, PVRELEMAX, PVRELEMIN,
$PVRELEI, PVRENTI, DEM, C1, C2, C3, Wp, Pp)
      RETURN
      END

*****
*              SUB ROTINA AVALIADORA2              *
*****

      SUBROUTINE AVALIADORA2 (NCRU, NPOP, ISTRG, NVAR, IS2, IS3, FO, FOP, FOK,
$FOFINAL, ISFINAL, FOT, PVRENTMAX, PVRENTMIN, PVRELEMAX, PVRELEMIN,
$PVRELEI, PVRENTI, DEM, C1, C2, C3, Wp, Pp)
      INTEGER Y
      REAL VRENT, VRELE, VIRENT1, VIRELE1, PVRENTMAX, QSRE, PVRENTMIN,
$PVRELEMAX, PVRELEMIN, POTAC7, POTAC6, QACBV, POTP6, POTP7, PVRELEI,
$PVRENTI, FOT, FOFINAL, FITOT, FIT, FITANT, VX6, IS2, IS3, ISFINAL
      DIMENSION X(NVAR), FO(2*NCRU), FOP(2*NCRU), FOK(2*NCRU), FOKJ(2*NCRU),
$IS2(2*NPOP, NVAR, ISTRG), IS3(NPOP, NVAR, ISTRG), ISFINAL(1, NVAR, ISTRG),
$DEM(ISTRG), FIT(2*NCRU), FITPOR(2*NCRU)
      COMMON /A1/VIRELE, VIRENT, VRELEMAX, VRELEMIN, VRENTMAX, VRENTMIN, QSRE
C      W=Multiplicador das Penalidades
C      P=Expoente das Penalidades
      W=Wp
      P=Pp
      FOT=0
      FITOT=0
      Y=2*NPOP
      DO 10 I=1, Y
C      ***** CALCULA A F.O. PARA OS VALORES DE IS2(I, J, K) *****
      VIRENT1=VIRENT
      VIRELE1=VIRELE
      PVRENTMAX=0
C      {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÁXIMO}
      PVRENTMIN=0
C      {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÍNIMO}
      PVRELEMAX=0
C      {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÁXIMO}
      PVRELEMIN=0
C      {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÍNIMO}
      POTP6=0
      POTP7=0
      POTAC6=0
      POTAC7=0
      QACBV=0
      DO 20 K=1, ISTRG
          DO 30 J=1, NVAR
              X(J)=IS2(I, J, K)
30          CONTINUE
          VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
          VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
          IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
              VX6=VRELE-VRELEMAX
              IF (VX6.GE.QSRE) THEN
                  VRELE=VRELE-QSRE
                  VRENT=VRENT+QSRE
              ELSE
                  VRELE=VRELE-VX6
                  VRENT=VRENT+VX6
              ENDIF
          ENDIF
          ***** PENALIDADES *****
C      VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO
          IF (VRENT.GT.VRENTMAX) THEN
              PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
          ENDIF
          IF (VRENT.LT.VRENTMIN) THEN

```



```

PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
ENDIF
IF(VRELE.LT.VRELEMIN)THEN
PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
ENDIF
C **** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em KW
X(7)=75.6
C X(6)=valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em KW
X(6)=0.081129*X(6)
IF (K.NE.19) THEN
IF (K.NE.20) THEN
IF (K.NE.21) THEN
POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
GOTO 110
ENDIF
ENDIF
ENDIF
C CONSUMO DE PONTA DAS BOMBAS (18:00 ÀS 21:00)
C *OBS: O POÇO FICA DESLIGADO NESTE HORÁRIO, NÃO POSSUI VAZÃO
POTP6=POTP6+X(3)*X(6)
POTP7=POTP7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
110 QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
VIRENT1=VRENT
VIRELE1=VRELE
20 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
IF(VRELE.NE.VIRELE)THEN
PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**Pp
ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
IF(VRENT.NE.VIRENT)THEN
PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**Pp
ENDIF
FO(I)=(((POTAC7+POTAC6)*C1)+((POTP6+POTP7)*C2)+
$W*((PVRENTMAX)+(PVRENTMIN)+(PVRELEMAX)+
$(PVRELEMIN)+(PVRELEI)+(PVRENTI))+QACBV*C3)
FIT(I)=1/FO(I)
FOT=FOT+FO(I)
FITOT=FITOT+FIT(I)
10 CONTINUE
C REALIZA O FATIAMENTO (PORCENTAGEM) PARA A REALIZAÇÃO DO SORTEIO
C PELO MÉTODO DA ROLETA
FITANT=0
DO 51 K=1,Y
FITPOR(K)=FITANT+(FIT(K)/FITOT)
FITANT=FITPOR(K)
51 CONTINUE
C REALIZA O RANK DA F.O. EM ORDEM CRESCENTE
FOK(1)=900000000
DO 60 I=1,Y
IF(FO(I).LT.FOK(1))THEN
FOK(1)=FO(I)
FOP(1)=INT(I)
ENDIF
60 CONTINUE
DO 61 J=2,Y
FOKJ(J)=900000000
L=J-1
DO 62 K=1,Y
IF (FO(K).LE.FOKJ(J))THEN
IF (FO(K).GE.FOK(L))THEN
DO 70 M=1,L
IF (FOP(M).EQ.K)THEN
GOTO 62
ENDIF
CONTINUE
FOKJ(J)=FO(K)

```



```

                                FOK(J)=FO(K)
                                FOP(J)=INT(K)
                                ENDIF
                                ENDIF
62      CONTINUE
61 CONTINUE
C      ESCOLHE N INDIVÍDUOS DA POPULAÇÃO ANTERIOR E FORMA UMA NOVA POPULAÇÃO
C      ARMAZENA O CONTEÚDO DO MELHOR INDIVÍDUO P/ A PRÓXIMA GERAÇÃO
      CALL NOVAPOP (FOK, FOP, NPOP, NVAR, ISTRG, NCRU, IS2, IS3,
$FOFINAL, ISFINAL, FITPOR)
      RETURN
      END

```

```

*****
*                                SUB ROTINA NOVAPOP                                *
*****

```

```

      SUBROUTINE NOVAPOP (FOK, FOP, NPOP, NVAR, ISTRG, NCRU, IS2, IS3,
$FOFINAL, ISFINAL, FITPOR)
      INTEGER Y, X
      REAL FOFINAL, R, ISFINAL, IS2, IS3
      DIMENSION ISFINAL(1, NVAR, ISTRG), FOP(2*NCRU), FOK(2*NCRU),
$IS2(2*NCRU, NVAR, ISTRG), IS3(NPOP, NVAR, ISTRG), FITPOR(2*NCRU)
C      REALIZA O TESTE QUE MANTÉM O MELHOR VALOR DA F.O. E O COPIA PARA A
C      PRÓXIMA GERAÇÃO
      Y=2*NPOP
      IF (FOK(1).LT.FOFINAL) THEN
          FOFINAL=FOK(1)
          I=INT(FOP(1))
          DO 10 J=1, NVAR
              DO 11 K=1, ISTRG
                  ISFINAL(1, J, K)=IS2(I, J, K)
11          CONTINUE
10      CONTINUE
          ENDIF
          DO 12 J=1, NVAR
              DO 13 K=1, ISTRG
                  IS3(1, J, K)=ISFINAL(1, J, K)
13          CONTINUE
12      CONTINUE
C      ROTINA QUE REAGRUPA OS INDIVÍDUOS DENTRO DA POPULAÇÃO
C      E SELECIONA(ALEATORIAMENTE) OS COMPONENTES DA PRÓXIMA GERAÇÃO
C      MÉTODO DA ROLETA
      DO 20 I=2, NPOP
          CALL RANDOM(RAND)
          R=REAL(RAND)
          DO 21 J=1, Y
              IF (FITPOR(J).LT.R) THEN
                  GOTO 21
              ENDIF
              X=J
              GOTO 30
21          CONTINUE
30      DO 22 J=1, NVAR
          DO 23 K=1, ISTRG
              IS3(I, J, K)=IS2(X, J, K)
23          CONTINUE
22      CONTINUE
20      CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

*****
*                                SUB ROTINA CRUZMUTA2                                *
*****

```

```

      SUBROUTINE CRUZMUTA2 (IS2, IS3, ISC1, ISC2, NPOP, NVAR, ISTRG, NCRU, XMAX,
$XMIN, FO, FOP, FOK, FOFINAL, ISFINAL, FOT, PVRENTMAX, PVRENTMIN, PVRELEMAX,

```

```

$PVRELEMIN, PVRELEI, PVRENTI, DEM, CICLO, C1, C2, C3, PMUT, wp, Pp, NLOOP)
  INTEGER XP, Y, Y1, Y2, Y3, Z, T, W, VZ, VX, VW, VY1I, VY2I, CICLO
  REAL VY1, VY2, VY1F, VY2F, FOT, FOFINAL, PVRENTMAX, PVRENTMIN, PVRELEMAX,
  $PVRELEMIN, PVRELEI, PVRENTI, IS2, IS3, ISC1, ISC2, ISFINAL, DELTA
  DIMENSION IS3(NPOP, NVAR, ISTRG), IS2(2*NPOP, NVAR, ISTRG),
  $ISC1(NPOP, NVAR, ISTRG), ISC2(NCRU, NVAR, ISTRG),
  $FO(2*NCRU), FOP(2*NCRU), FOK(2*NCRU), XMAX(NVAR), XMIN(NVAR),
  $ISFINAL(1, NVAR, ISTRG), DEM(ISTRG)
  COMMON /A3/I
C ***** CRUZAMENTO *****
  DO 10 I=1, NCRU
11    CALL RANDOM(RAND)
      XP=(NINT(REAL(RAND)*NPOP))
      IF (XP.EQ.I.OR.XP.EQ.0) THEN
          GOTO 11
      ENDIF
C    POSICIONAMENTO DO CORTE NO STRING (Y e Y2)
      CALL RANDOM(RAND)
      Y=NINT(REAL(RAND)*ISTRG*NVAR)
      IF (Y.EQ.0.OR.Y.EQ.(ISTRG*NVAR)) THEN
          Y=1
      ENDIF
      Y1=Y
      Y3=(ISTRG*NVAR)-Y
      CALL RANDOM(RAND)
      Z=NINT(REAL(RAND)*Y3)
      IF (Z.EQ.0) THEN
          Z=1
      ENDIF
      Y2=Y1+Z
C    {TROCA DO MATERIAL GENÉTICO ENTRE OS PARES}
      DO 20 J=1, NVAR
      DO 30 K=1, ISTRG
          ISC1(I, J, K)=IS3(I, J, K)
          ISC2(I, J, K)=IS3(XP, J, K)
30    CONTINUE
20    CONTINUE
      VY1=REAL(Y1)/ISTRG
      VY2=REAL(Y2)/ISTRG
      VY1I=INT(VY1)
      VY1F=VY1-VY1I
      VY2I=INT(VY2)
      VY2F=VY2-VY2I
      IF (VY1F.GT.0) THEN
          VY1I=VY1I+1
      ENDIF
      IF (VY2F.GT.0) THEN
          VY2I=VY2I+1
      ENDIF
      VZ=VY1I
      VX=(VY1I*ISTRG)-ISTRG
      VW=(VY2I*ISTRG)-ISTRG
      DO 70 J=VY1I, VY2I
          IF (VY1I.EQ.VY2I) THEN
              DO 71 K=Y1-VX, Y2-VW
                  ISC1(I, J, K)=IS3(XP, J, K)
                  ISC2(I, J, K)=IS3(I, J, K)
71    CONTINUE
              ENDIF
              IF (J.NE.VY2I.AND.J.EQ.VZ) THEN
                  DO 72 K=Y1-VX, ISTRG
                      ISC1(I, J, K)=IS3(XP, J, K)
                      ISC2(I, J, K)=IS3(I, J, K)
72    CONTINUE
              ENDIF
              IF (J.NE.VZ.AND.J.NE.VY2I) THEN
                  DO 73 K=1, ISTRG
                      ISC1(I, J, K)=IS3(XP, J, K)
                      ISC2(I, J, K)=IS3(I, J, K)
73    CONTINUE
              ENDIF
              IF (J.NE.VZ.AND.J.EQ.VY2I) THEN
                  DO 74 K=1, Y2-VW
                      ISC1(I, J, K)=IS3(XP, J, K)

```

```

        ISC2(I, J, K)=IS3(I, J, K)
74 CONTINUE
        ENDIF
70 CONTINUE
C ***** MUTAÇÃO (ISC1) *****
        CALL RANDOM(RAND)
21 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
        CALL RANDOM(RAND)
        J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
        IF (J.EQ.0) THEN
        GOTO 21
        ENDIF
22 CALL RANDOM(RAND)
        W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
        IF (W.EQ.0) THEN
        GOTO 22
        ENDIF
        GOTO (31, 32, 31, 31, 33, 33), J
31 T=ISC1(I, J, W)
        IF (T.EQ.0) THEN
        ISC1(I, J, W)=1
        ELSE
        ISC1(I, J, W)=0
        ENDIF
        GOTO 21
32 IF (W.NE.19) THEN
        IF (W.NE.20) THEN
        IF (W.NE.21) THEN
                T=ISC1(I, J, W)
                IF (T.EQ.0) THEN
                        ISC1(I, J, W)=1
                ELSE
                        ISC1(I, J, W)=0
                ENDIF
        ENDIF
        ENDIF
        ENDIF
        ENDIF
        GOTO 21
33 IF (NLOOP.LE.10000) THEN
        CALL RANDOM(RAND)
        ISC1(I, J, W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        ELSE
        DELTA=0.02
        CALL RANDOM(RAND)
                IF (RAND.LE.0.5) THEN
                        DELTA=DELTA*(-1)
                ENDIF
        ISC1(I, J, W)=(REAL(1-DELTA)*ISC1(I, J, W))
        ENDIF
        GOTO 21
        ENDIF
C ***** MUTAÇÃO (ISC2) *****
        CALL RANDOM(RAND)
51 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
        CALL RANDOM(RAND)
        J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
        IF (J.EQ.0) THEN
        GOTO 51
        ENDIF
52 CALL RANDOM(RAND)
        W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
        IF (W.EQ.0) THEN
        GOTO 52
        ENDIF
        GOTO (61, 62, 61, 61, 63, 63), J
61 T=ISC2(I, J, W)
        IF (T.EQ.0) THEN
        ISC2(I, J, W)=1
        ELSE
        ISC2(I, J, W)=0
        ENDIF
        GOTO 51
62 IF (W.NE.19) THEN
        IF (W.NE.20) THEN

```

```

        IF (W.NE.21) THEN
            T=ISC2(I,J,W)
            IF (T.EQ.0) THEN
                ISC2(I,J,W)=1
            ELSE
                ISC2(I,J,W)=0
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
    ENDIF
    GOTO 51
63  IF (NLOOP.LE.10000) THEN
    CALL RANDOM(RAND)
    ISC2(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
    ELSE
    DELTA=0.02
    CALL RANDOM(RAND)
        IF (RAND.LE.0.5) THEN
            DELTA=DELTA*(-1)
        ENDIF
    ISC2(I,J,W)=(REAL(1-DELTA)*ISC2(I,J,W))
    ENDIF
    GOTO 51

    ENDIF
    Y1=Y1-((VY1I-1)*ISTRG)
    Y2=Y2-((VY2I-1)*ISTRG)
    IF (Y1.EQ.0) THEN
        Y1=24
    ENDIF
    IF (Y2.EQ.0) THEN
        Y2=24
    ENDIF
    IF (CICLO.GE.0.AND.CICLO.LE.0) THEN
C *****
C APRESENTA OS VALORES DOS INDIVIDUOS APOS O CRUZAMENTO E A MUTAÇÃO
C CALL SAIDA2 (NPOP,NVAR,ISTRG,ISC1,ISC2,XP,VY1I,VY2I,Y1,Y2,CICLO)
C *****
    ENDIF
10  CONTINUE
C ***** FIM DO CRUZAMENTO E MUTAÇÃO *****
    DO 80 I=1,NPOP
        Z=(2*I)-1
        DO 81 J=1,NVAR
            DO 82 K=1,ISTRG
                IS2(Z,J,K)=ISC1(I,J,K)
82          CONTINUE
81          CONTINUE
        Z=2*I
        DO 83 J=1,NVAR
            DO 84 K=1,ISTRG
                IS2(Z,J,K)=ISC2(I,J,K)
84          CONTINUE
83          CONTINUE
80  CONTINUE
C {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS GERADOS}
    CALL AVALIADORA2 (NCRU,NPOP,ISTRG,NVAR,IS2,IS3,FO,FOP,FOK,
    $FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,
    $PVRELEI,PVRENTI,DEM,C1,C2,C3,Wp,Pp)
    RETURN
    END
*****
*                               SUB ROTINA SAIDA1                               *
*****
    SUBROUTINE SAIDA1 (NVAR,ISTRG,ISFINAL,FOFINAL,HRELE,HRENT,CUSTO,
    $PVRELEMIN,PVRELEMAX,PVRENTMIN,PVRENTMAX,PVRELEI,PVRENTI,NUMALE,
    $NLOOP,QACBV,C3,POTP6,POTP7,POTAC6,POTAC7,C1,C2,VRELEMAX,VRELEMIN,
    $VIRELE,QSRE,VRENTMAX,VRENTMIN,VIRENT,DEM)
    INTEGER PL1,PL2,PL3,PL4,PL5,PL6,DEMA
    REAL ISFINAL,FOFINAL,HRELE,HRENT,CUSTO,DEM

```



```

DIMENSION ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),HRELE(ISTRG),
$HRENT(ISTRG),DEM(ISTRG)
C  SAÍDA DOS VALORES DA SIMULAÇÃO
  WRITE(2,1)
  1 FORMAT(4X,
  $ '*****'
  $ /,4X,
  $ '*ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*'
  $ /,4X,
  $ *
  $ DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO *
  $ /,4X,
  $ *
  $ Orientadora: LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS *
  $ /,4X,
  $ Mestrando: JORGE YUTAKA OUGUI *
  $ /,4X,
  $ *
  $ Programa: OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA *
  $ /,4X,
  $ UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO *
  $ /,4X,
  $ '*****'
  $)
  WRITE(2,2) NLOOP,NUMALE,FOFINAL,
  $CUSTO,C1,C2,(POTP6+POTP7),(POTAC6+POTAC7),
  $QACBV*C3,QACBV,C3,
  $PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,
  $VRELEMAX,VRELEMIN,VIRELE,QSRE,
  $VRENTMAX,VRENTMIN,VIRENT
  2 FORMAT (//,4X,
  $ 'SIMULAÇÃO (SEGUNDA-FEIRA A SEXTA-FEIRA)',/,4X,
  $ 'NLOOP: ',I9,' (Número de Iterações)',/,4X,
  $ 'NUMALE: ',I8,' (Número Aleatório Inicial)',/,4X,
  $ 'F.O.: ',F10.3,' (Função Objetivo)',//,4X,
  $ 'ENERGIA ELÉTRICA',/,4X,
  $ 'CUSTO1: ',F8.3,' (Custo com Energia Elétrica - R$)',/,4X,
  $ 'C1: ',F12.6,' (Tarifa no Horário Fora de Ponta - R$/KWH)',/,4X,
  $ 'C2: ',F12.6,' (Tarifa no Horário de Ponta - R$/KWH)',/,4X,
  $ 'PONTA: ',F9.3,' (Consumo no Horário de Ponta - KWH)',/,4X,
  $ 'FPONTA: ',F8.3,' (Consumo no Horário Fora de Ponta - KWH)',//,4X,
  $ 'ÁGUA RECEBIDA DO SUBSISTEMA JARDIM BOA VISTA',/,4X,
  $ 'CUSTO2: ',F8.3,' (Custo da Água - R$)',/,4X,
  $ 'VACBV: ',F9.3,' (Volume de Água Acumulado - m³)',/,4X,
  $ 'C3: ',F12.3,' (Tarifa Fictícia da Água - R$/m³)',//,4X,
  $ 'PENALIDADES SOBRE OS VOLUMES',/,4X,
  $ 'P1: ',F6.2,' (Reservatório Enterrado Máximo - m³)',/,4X,
  $ 'P2: ',F6.2,' (Reservatório Enterrado Mínimo - m³)',/,4X,
  $ 'P3: ',F6.2,' (Reservatório Elevado Máximo - m³)',/,4X,
  $ 'P4: ',F6.2,' (Reservatório Elevado Mínimo - m³)',/,4X,
  $ 'P5: ',F6.2,' (Res.Elev.Inicial <> Res.Elev.Final - m³)',/,4X,
  $ 'P6: ',F6.2,' (Res.Ent.Inicial <> Res.Ent.Final - m³)',//,4X,
  $ 'RESERVATÓRIO ELEVADO',/,4X,
  $ 'VRELEMAX: ',F6.2,' (Volume Máximo - m³)',/,4X,
  $ 'VRELEMIN: ',F6.2,' (Volume Mínimo - m³)',/,4X,
  $ 'VIRELE: ',F8.2,' (Volume Inicial - m³)',/,4X,
  $ 'VSRE: ',F10.2,' (Volume DO Extravasor - m³)',//,4X,
  $ 'RESERVATÓRIO ENTERRADO',/,4X,
  $ 'VRENTMAX: ',F6.2,' (Volume Máximo - m³)',/,4X,
  $ 'VRENTMIN: ',F6.2,' (Volume Mínimo - m³)',/,4X,
  $ 'VIRENT: ',F8.2,' (Volume Inicial - m³)')
C  SAÍDA DOS VALORES DO INDIVÍDUO FINAL
  WRITE(2,3)
  3 FORMAT (//,4X,'INDIVÍDUO FINAL (SEGUNDA-FEIRA A SEXTA-FEIRA)',
  $ /,4X,'HORÁRIO',4X,'X1',4X,'X2',4X,'X3',4X,'X4',4X,'X5',4X,'X6',
  $ 4X,'X7',3X,'H ent',3X,'H ele',/)
  DO 10 K=1,ISTRG
  WRITE(2,4) K,(REAL(ISFINAL(1,J,K)),J=1,NVAR),HRENT(K),
  $HRELE(K)
  10 CONTINUE
  4 FORMAT (6X,I2,3X,7F8.2,3X,F5.2,3X,F5.2)
  WRITE(2,5)
  5 FORMAT (//,4X,'PLANILHA FINAL (SEGUNDA-FEIRA À SEXTA-FEIRA)',

```

```

$,4X,'HORÁRIO',2X,'Po-Ent',3X,'BV-Ent',3X,'vTEnt',3X,'Re-Ele',3X,
$'Po-Ele',4X,'vTEle',3X,'Demanda',2X,'H ent',2X,'H ele',/)
DO 20 K=1,ISTRG
PL1=REAL((ISFINAL(1,1,K))*(ISFINAL(1,2,K))*(ISFINAL(1,7,K)))
PL2=REAL((ISFINAL(1,4,K))*(ISFINAL(1,5,K)))
PL3=PL1+PL2
PL4=REAL((ISFINAL(1,3,K))*(ISFINAL(1,6,K)))
PL5=REAL((1-(ISFINAL(1,1,K)))*(ISFINAL(1,2,K))*(ISFINAL(1,7,K)))
PL6=PL4+PL5
DEMA=DEM(K)
WRITE(2,6) K,PL1,PL2,PL3,PL4,PL5,PL6,DEMA,HRENT(K),HRELE(K)
20 CONTINUE
6 FORMAT (6X,I2,3X,I6,3X,I6,3X,I6,3X,I6,3X,I6,3X,I6,
$3X,I6,3X,F5.2,3X,F5.2)
RETURN
END

```

```

*****
*                               SUB-ROTINA SAIDA2                               *
*****

```

```

SUBROUTINE SAIDA2 (NPOP,NVAR,ISTRG,ISC1,ISC2,XP,VY1I,VY2I,Y1,Y2,
$CICLO)
INTEGER XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2,CICLO
REAL ISC1,ISC2
DIMENSION ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC2(NPOP,NVAR,ISTRG)
COMMON /A3/I
WRITE(2,3) CICLO
3 FORMAT (//,4X,'INTERAÇÃO NÚMERO ',I6,/)
WRITE (2,1) (I*2)-1,I,XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2
DO 300 K=1,ISTRG
WRITE(2,2) K,(NINT(REAL(ISC1(I,L,K))),L=1,NVAR)
300 CONTINUE
WRITE (2,1) I*2,I,XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2
DO 400 K=1,ISTRG
WRITE(2,2) K,(NINT(REAL(ISC2(I,L,K))),L=1,NVAR)
400 CONTINUE
1 FORMAT (/ ,2X,'CRUZAMENTO',5X,'INDIVÍDUO',I3,/,2X,'(PAIS:',I2,
$',',I2,')',2X,'PONTO DE CORTE: X',I2,' POS',I3,' ; X',I2,' POS',
$I3/2X,'HORÁRIO',4X,'X1',4X,'X2',4X,'X3',4X,'X4',4X,'X5',4X,'X6',
$4X,'X7',/)
2 FORMAT (4X,I2,3X,7I6)
RETURN
END

```

```

*****
*                               SUB-ROTINA POLINOMIO                               *
*****

```

```

SUBROUTINE POLINOMIO (VRENT,H)
REAL H,PER,VOL1,INCR,VOL
PARAMETER (A=1.9075,B=27.0244,C=96)
VOL=VRENT
H=0
INCR=1
10 H=INCR+H
VOL1=(A*H*H*H)+(B*H*H)+(C*H)
IF (VOL1.LT.VOL) THEN
GOTO 10
ELSE
PER=100*(ABS((VOL1/VOL)-1))
IF (PER.LE.0.001) THEN
GOTO 20
ENDIF
ENDIF
H=H-INCR
INCR=INCR/2
GOTO 10
20 RETURN
END

```



```

*****
*                               PROGRAMA: ALGORITMO GENÉTICO                               *
*                               OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA                 *
*                               SUBSISTEMA JARDIM CRUZEIRO DO SUL - SAAE - SÃO CARLOS - SP  *
*                               MESTRANDO: ENGENHEIRO JORGE YUTAKA OUGUI - SHS - EESC - USP *
*                               ORIENTADORA: LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS - SHS - EESC - USP *
*****
PROGRAM ALGOGENET
C   SÁBADO E DOMINGO (NÃO POSSUI HORÁRIO DE PONTA)
    INTEGER Y,CICLO
    REAL VIRELE,VIRENT,VRELEMAX,VRELEMIN,VRENTMAX,VRENTMIN,FOFINAL,
    $FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRENTI,PVRELEI,
    $VIRENT1,VIRELE1,QACBV,POTAC7,POTAC6,VRENT,VRELE,VX6,IS,QSRE,
    $IS2,IS3,ISC1,ISC2,ISFINAL,H,HRELE,HRENT,CUSTO
    PARAMETER (NPOP=30,NVAR=6+1,ISTRG=24,NCRU=30,NUMALE=11,
    $C1=0.037545,C3=0.05,NLOOP=15000,PMUT=0.10,wp=10,Pp=2)
    DIMENSION IS(NPOP,NVAR,ISTRG),IS2(2*NPOP,NVAR,ISTRG),
    $IS3(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),X(NVAR),
    $ISC2(NPOP,NVAR,ISTRG),XMAX(NVAR),XMIN(NVAR),DEM(ISTRG),
    $FO(2*NCRU),FOP(2*NCRU),FOK(2*NCRU),ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),
    $HRELE(ISTRG),HRENT(ISTRG)
    COMMON /A1/VIRELE,VIRENT,VRELEMAX,VRELEMIN,VRENTMAX,VRENTMIN,QSRE
C   ***** DADOS INICIAIS - VARIÁVEIS FIXAS *****
C   NPOP = Número de Indivíduos na População
C   NVAR = Número de Variáveis de Decisão
C   NCRU = Número de Cruzamentos
C   ISTRG = Comprimento DO String de cada indivíduo
C   C1 = Tarifa de Consumo de Energia Elétrica Fora DO Horário de Ponta
C   C2 = Tarifa de Consumo de Energia Elétrica no Horário de Ponta
C   C3 = Tarifa Fictícia Cobrada pela Água Vinda DO Jardim Boa Vista
C   ***** RESERVATÓRIO ELEVADO *****
C   VIRELE = Volume Inicial DO Reservatório Elevado (m³)
C   H = 12,50 + 5,00 m (Altura DO Nível Inicial)
    VIRELE=150
C   VRELEMAX = Volume DO Reservatório Elevado Máximo (m³)
C   H = 12,50 + 7,64 m (Altura DO Nível Máximo)
    VRELEMAX=200
C   VRELEMIN = Volume do Reservatório Elevado Mínimo (m³)
C   H = 12,50 + 2,50 m (Altura DO Nível Mínimo)
    VRELEMIN=65
C   QRSE = Vazão de Sobras DO Reservatório Elevado (m³/h)
    QSRE=102
C   ***** RESERVATÓRIO ENTERRADO *****
C   VIRENT = Volume Inicial DO Reservatório Enterrado (m³)
C   H = 2,72 m (Altura DO Nível Inicial)
    VIRENT=500
C   VRENTMAX = Volume do Reservatório Enterrado Máximo (m³)
C   H = 3,36 m (Altura DO Nível Máximo)
    VRENTMAX=700
C   VRENTMIN = Volume do Reservatório Enterrado Mínimo (m³)
C   H = 1,44 m (Altura DO Nível Mínimo)
    VRENTMIN=200
C   ***** VARIÁVEIS DE RESTRIÇÃO - VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS *****
C   X(1) = {0 ou 1} R.elev./R.enter. (Q poço artesiano)
C   X(2) = {0 ou 1} Desliga/Liga bomba DO poço artesiano
C   X(3) = {0 ou 1} Desliga/Liga bomba de recalque
C   X(4) = {0 ou 1} Desliga/Liga vazão DO Boa Vista
C   XMAX(5) E XMIN(5) = Q Boa Vista para o Cruzeiro DO Sul (m³/h)
    XMAX(5)=216
    XMIN(5)=0
C   XMAX(6) E XMIN(6) = Q bomba de recalque (depende da rot. da bomba) (m³/h)
    XMAX(6)=300
    XMIN(6)=0
C   XMAX(7) E XMIN(7) = Q bomba DO poço (rotação fixa) (m³/h)
    XMAX(7)=117
    XMIN(7)=117
C   ***** VAZÃO DE DEMANDA - CONSUMO NOS HORÁRIOS *****
C   DEM(1 ao 24) = Q distribuição (demanda) (m³/h)
    DEM(1)=133
    DEM(2)=122
    DEM(3)=117
    DEM(4)=115
    DEM(5)=118
    DEM(6)=124

```

```

DEM(7)=147
DEM(8)=201
DEM(9)=258
DEM(10)=294
DEM(11)=314
DEM(12)=310
DEM(13)=297
DEM(14)=283
DEM(15)=267
DEM(16)=251
DEM(17)=243
DEM(18)=243
DEM(19)=241
DEM(20)=217
DEM(21)=189
DEM(22)=177
DEM(23)=164
DEM(24)=145
C   PARA VARIAR OS NÚMEROS ALEATÓRIOS GERADOS, MUDE NO INÍCIO DO
C   PROGRAMA O VALOR DE NUMALE
      DO 100 I=1,NUMALE
          CALL RANDOM(RAND)
100 CONTINUE
C   *****
C   GERA ALEATOREAMENTE A POPULAÇÃO INICIAL COM NPOP INDIVÍDUOS
      CALL GERADORA (NPOP,NVAR,ISTRG,IS,XMAX,XMIN,FOFINAL,ISFINAL,FOT,
      $FO,FOP,FOK,DEM,C1,C3,Wp,Pp)
C   *****
C   CRUZA OS INDIVÍDUOS COM DOIS PONTOS DE CORTE E REALIZA A MUTAÇÃO
      CALL CRUZMUTA1 (IS,IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,
      $XMAX,XMIN,FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,
      $PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRENTI,PVRELEI,DEM,C1,C3,PMUT,Wp,Pp)
C   ***** REALIZA K INTERAÇÕES EM BUSCA DO RESULTADO ÓTIMO *****
      Y=2*NPOP
      DO 200 J=1,NLOOP
          CICLO=J
C   *****
C   CRUZA OS INDIVÍDUOS COM DOIS PONTOS DE CORTE E REALIZA A MUTAÇÃO
      CALL CRUZMUTA2 (IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,XMAX,XMIN,
      $FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
      $PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,DEM,CICLO,C1,C3,PMUT,Wp,Pp)
C   ***** CALCULA AS PENALIDADES PARA O VALOR DE ISFINAL(1,J,K) *****
          VIRENT1=VIRENT
          VIRELE1=VIRELE
          PVRENTMAX=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÁXIMO}
          PVRENTMIN=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERREDO MÍNIMO}
          PVRELEMAX=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÁXIMO}
          PVRELEMIN=0
C   {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÍNIMO}
          POTAC6=0
          POTAC7=0
          QACBV=0
          DO 111 K=1,ISTRG
              DO 112 L=1,NVAR
                  X(L)=ISFINAL(1,L,K)
112          CONTINUE
          VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
          VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
          IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
              VX6=VRELE-VRELEMAX
              IF(VX6.GE.QSRE)THEN
                  VRELE=VRELE-QSRE
                  VRENT=VRENT+QSRE
              ELSE
                  VRELE=VRELE-VX6
                  VRENT=VRENT+VX6
              ENDIF
          ELSE
              ENDIF
C   ***** PENALIDADES *****
C   VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO

```



```

IF(VRENT.GT.VRENTMAX)THEN
PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
ENDIF
IF(VRENT.LT.VRENTMIN)THEN
PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
ENDIF
IF(VRELE.LT.VRELEMIN)THEN
PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
ENDIF
C **** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em Kw
X(7)=75.6
C X(6)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em Kw
X(6)=0.081129*X(7)
POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
VIRENT1=VRENT
VIRELE1=VRELE
111 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
IF(VRELE.NE.VIRELE)THEN
PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**Pp
ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
IF(VRENT.NE.VIRENT)THEN
PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**Pp
ENDIF
CUSTO=(POTAC7+POTAC6)*C1
C PARA QUE OS VALORES ABAIXO SEJAM IMPRIMIDOS ALTERE O VALOR DA CONDIÇÃO
C (1000000) PARA ZERO
IF (CICLO.GE.0.AND.CICLO.LE.0) THEN
WRITE(1,1) J,FOFINAL,CUSTO,PVRENTMIN,PVRENTMAX,PVRELEMIN,
$PVRELEMAX,PVRENTI,PVRELEI,(QACBV*C3)
1 FORMAT (2X,I7,2X,F10.3,2X,F8.3,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,
$F6.3,2X,F6.3,2X,F8.2)
ENDIF
C VALORES APRESENTADOS ENQUANTO RODA O PROGRAMA
WRITE(*,20) J,FOFINAL,CUSTO,PVRENTMIN,PVRENTMAX,PVRELEMIN,
$PVRELEMAX,PVRENTI,PVRELEI
20 FORMAT (2X,I7,2X,F10.3,2X,F8.3,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,F6.2,2X,
$F6.3,2X,F6.3)
200 CONTINUE
VIRENT1=VIRENT
VIRELE1=VIRELE
DO 121 K=1,ISTRG
DO 122 L=1,NVAR
X(L)=ISFINAL(1,L,K)
122 CONTINUE
VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
VX6=VRELE-VRELEMAX
IF(VX6.GE.QSRE)THEN
VRELE=VRELE-QSRE
VRENT=VRENT+QSRE
ELSE
VRELE=VRELE-VX6
VRENT=VRENT+VX6
ENDIF
ENDIF
C *****
C ENTRA COM O VOLUME DO RESERVATÓRIO ENTERRADO NA EQ. POLINÔMIO PARA
C CALCULAR O NÍVEL
C CALL POLINOMIO (VRENT,H)
C *****
HRELE(K)=VRELE/25.9672
HRENT(K)=H
VIRENT1=VRENT

```

```

VIRELE1=VRELE
121 CONTINUE
C *****
C SAÍDA DOS VALORES DA F.O. DE CADA INDIVÍDUO E SEU RESPECTIVO RANK
CALL SAIDA1 (NVAR, ISTRG, ISFINAL, FOFINAL, HRELE, HRENT, CUSTO,
$PVRELEMIN, PVRELEMAX, PVRENTMIN, PVRENTMAX, PVRELEI, PVRENTI, NUMALE,
$NLOOP, QACBV, C3, POTP6, POTP7, POTAC6, POTAC7, C1, C2, VRELEMAX, VRELEMIN,
$VIRELE, QSRE, VRENTMAX, VRENTMIN, VIRENT, DEM)
C *****
END

*****
* SUB ROTINA GERADORA *
*****

SUBROUTINE GERADORA (NPOP, NVAR, ISTRG, IS, XMAX, XMIN, FOFINAL,
$ISFINAL, FOT, FO, FOP, FOK, DEM, C1, C3, Wp, Pp)
INTEGER POSFINAL, W, P
REAL FOFINAL, FOT, QSRE, PVRENTMIN, PVRELEMAX, PVRELEMIN, PVRELEI,
$PVRENTI, POTAC7, POTAC6, QACBV, VX6, VRENT, VRELE,
$VIRENT1, VIRELE1, PVRENTMAX, IS, ISFINAL
DIMENSION IS(NPOP, NVAR, ISTRG), XMAX(NVAR), XMIN(NVAR),
$ISFINAL(1, NVAR, ISTRG), FO(NPOP), FOP(NPOP), FOK(NPOP), DEM(ISTRG),
$X(NVAR), FOKJ(NPOP)
COMMON /A1/VIRELE, VIRENT, VRELEMAX, VRELEMIN, VRENTMAX, VRENTMIN, QSRE
W=Wp
P=Pp
DO 10 I=1, NPOP
C GERA VALORES ALEATÓRIOS {0 ou 1} PARA X(1), X(2), X(3) e X(4)
DO 20 J=1, NVAR-3
DO 30 K=1, ISTRG/3
CALL RANDOM(RAND)
IS(I, J, ((K*3)-2))=NINT(REAL(RAND))
IS(I, J, ((K*3)-1))=NINT(REAL(RAND))
IS(I, J, (K*3))=NINT(REAL(RAND))
30 CONTINUE
20 CONTINUE
C GERA VALORES ALEATÓRIOS (ENTRE XMIN e XMAX) PARA X(5), X(6) e X(7)
DO 40 J=5, NVAR
DO 50 K=1, ISTRG/3
CALL RANDOM(RAND)
IS(I, J, ((K*3)-2))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J)))+XMIN(J))
IS(I, J, ((K*3)-1))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J)))+XMIN(J))
IS(I, J, (K*3))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J)))+XMIN(J))
50 CONTINUE
40 CONTINUE
10 CONTINUE
C {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS DA GERADORA}
FOT=0
DO 80 I=1, NPOP
C ***** CALCULA A F.O. PARA OS VALORES DE IS(I, J, K)
VIRENT1=VIRENT
VIRELE1=VIRELE
PVRENTMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME do RES. ENTERREDO MÁXIMO}
PVRENTMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME do RES. ENTERREDO MÍNIMO}
PVRELEMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME do RES. ELEVADO MÁXIMO}
PVRELEMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME do RES. ELEVADO MÍNIMO}
POTAC6=0
POTAC7=0
QACBV=0
DO 90 K=1, ISTRG
DO 100 J=1, NVAR
X(J)=IS(I, J, K)
100 CONTINUE
VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
VX6=VRELE-VRELEMAX

```



```

IF(VX6.GE.QSRE)THEN
VRELE=VRELE-QSRE
VRENT=VRENT+QSRE
ELSE
VRELE=VRELE-VX6
VRENT=VRENT+VX6
ENDIF
ENDIF
***** PENALIDADES *****
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO
IF(VRENT.GT.VRENTMAX)THEN
PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
ENDIF
IF(VRENT.LT.VRENTMIN)THEN
PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
IF(VRELE.GT.VRELEMAX)THEN
PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
ENDIF
IF(VRELE.LT.VRELEMIN)THEN
PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
ENDIF
C **** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em KW
X(7)=75.6
C X(6)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em KW
X(6)=0.081129*X(3)*X(6)
POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
VIRENT1=VRENT
VIRELE1=VRELE
90 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
IF(VRELE.NE.VIRELE)THEN
PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**Pp
ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
IF(VRENT.NE.VIRENT)THEN
PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**Pp
ENDIF
FO(I)=(((POTAC6+POTAC7)*C1)+
$W*((PVRENTMAX**P)+(PVRENTMIN**P)+(PVRELEMAX**P)+
$(PVRELEMIN**P)+(PVRELEI**P)+(PVRENTI**P))+QACBV*C3)
FOT=FOT+FO(I)
80 CONTINUE
C REALIZA O RANK DA F.O. EM ORDEM CRESCENTE
FOK(1)=900000000
DO 130 I=1,NPOP
IF(FO(I).LT.FOK(1))THEN
FOK(1)=FO(I)
FOP(1)=INT(I)
ENDIF
130 CONTINUE
DO 140 J=2,NPOP
FOKJ(J)=900000000
L=J-1
DO 150 K=1,NPOP
IF (FO(K).LE.FOKJ(J))THEN
IF (FO(K).GE.FOK(L))THEN
DO 155 M=1,L
IF (FOP(M).EQ.K)THEN
GOTO 150
ENDIF
CONTINUE
FOKJ(J)=FO(K)
FOK(J)=FO(K)
FOP(J)=INT(K)
ENDIF
ENDIF
150 CONTINUE
140 CONTINUE

```

```

C   ARMAZENA O CONTEÚDO DO MELHOR INDIVÍDUO P/ A PRÓXIMA GERAÇÃO
      FOFINAL=FOK(1)
      POSFINAL=INT(FOP(1))
      I=POSFINAL
      DO 160 J=1,NVAR
      DO 170 K=1,ISTRG
      ISFINAL(1,J,K)=IS(I,J,K)
170  CONTINUE
160  CONTINUE
      RETURN
      END

*****
*                                     SUB ROTINA CRUZMUTA1                               *
*****

      SUBROUTINE CRUZMUTA1 (IS,IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,
$NCRU,XMAX,XMIN,FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,
$PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,DEM,C1,C3,PMUT,Wp,Pp)
      INTEGER XP,Y,Y1,Y2,Y3,Z,T,W,VZ,VX,VW,VY1I,VY2I,NUM
      REAL VY1,VY2,VY1F,VY2F,FOFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
$PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,IS,IS2,IS3,ISC1,ISC2,ISFINAL
      DIMENSION IS(NPOP,NVAR,ISTRG),IS2(2*NPOP,NVAR,ISTRG),
$IS3(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),DEM(ISTRG),
$ISC2(NCRU,NVAR,ISTRG),XMAX(NVAR),XMIN(NVAR),
$FO(2*NCRU),FOP(2*NCRU),FOK(2*NCRU),ISFINAL(1,NVAR,ISTRG)
      COMMON /A2/I
C   ***** CRUZAMENTO *****
      DO 10 I=1,NCRU
11    CALL RANDOM(RAND)
      XP=(NINT(REAL(RAND)*NPOP))
      IF (XP.EQ.I.OR.XP.EQ.0) THEN
      GOTO 11
      ENDIF
C   POSICIONAMENTO DO CORTE NO STRING (Y e Y2)
      CALL RANDOM(RAND)
      Y=NINT(REAL(RAND)*ISTRG*NVAR)
      IF (Y.LE.3.OR.Y.EQ.(ISTRG*NVAR)) THEN
      Y=1
      ELSE
      NUM=NINT(REAL(Y/3))
      Y=(NUM*3)+1
      ENDIF
      Y1=Y
      Y3=(ISTRG*NVAR)-Y
      CALL RANDOM(RAND)
      Z=NINT(REAL(RAND)*Y3)
      IF (Z.LE.3) THEN
      Z=2
      ELSE
      NUM=NINT(REAL(Z/3))
      Z=(NUM*3)-1
      ENDIF
      Y2=Y1+Z
C   {TROCA DO MATERIAL GENÉTICO ENTRE OS PARES}
      DO 20 J=1,NVAR
      DO 30 K=1,ISTRG
      ISC1(I,J,K)=IS(I,J,K)
      ISC2(I,J,K)=IS(XP,J,K)
30    CONTINUE
20    CONTINUE
      VY1=REAL(Y1)/ISTRG
      VY2=REAL(Y2)/ISTRG
      VY1I=INT(VY1)
      VY1F=VY1-VY1I
      VY2I=INT(VY2)
      VY2F=VY2-VY2I
      IF (VY1F.GT.0) THEN
      VY1I=VY1I+1
      ENDIF
      IF (VY2F.GT.0) THEN
      VY2I=VY2I+1

```



```

ENDIF
VZ=VY1I
VX=(VY1I*ISTRG)-ISTRG
VW=(VY2I*ISTRG)-ISTRG
DO 70 J=VY1I,VY2I
  IF (VY1I.EQ.VY2I) THEN
    DO 71 K=Y1-VX,Y2-VW
      ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
      ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
71 CONTINUE
    ENDIF
    IF (J.NE.VY2I.AND.J.EQ.VZ) THEN
      DO 72 K=Y1-VX,ISTRG
        ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
        ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
72 CONTINUE
      ENDIF
      IF (J.NE.VZ.AND.J.NE.VY2I) THEN
        DO 73 K=1,ISTRG
          ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
          ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
73 CONTINUE
        ENDIF
        IF (J.NE.VZ.AND.J.EQ.VY2I) THEN
          DO 74 K=1,Y2-VW
            ISC1(I,J,K)=IS(XP,J,K)
            ISC2(I,J,K)=IS(I,J,K)
74 CONTINUE
          ENDIF
70 CONTINUE
C ***** MUTAÇÃO (ISC1) *****
  CALL RANDOM(RAND)
21 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
  CALL RANDOM(RAND)
  J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
  IF (J.EQ.0) THEN
    GOTO 21
  ENDIF
  CALL RANDOM(RAND)
  W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
  IF (W.LE.3.OR.W.EQ.24) THEN
    W=1
  ELSE
    NUM=NINT(REAL(W/3))
    W=(NUM*3)+1
  ENDIF
  GOTO (31,31,31,31,33,33),J
31 T=ISC1(I,J,W)
  IF (T.EQ.0) THEN
    ISC1(I,J,(W+2))=1
    ISC1(I,J,(W+1))=1
    ISC1(I,J,W)=1
  ELSE
    ISC1(I,J,(W+2))=0
    ISC1(I,J,(W+1))=0
    ISC1(I,J,W)=0
  ENDIF
  GOTO 21
33 CALL RANDOM(RAND)
  ISC1(I,J,(W+2))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  ISC1(I,J,(W+1))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  ISC1(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  GOTO 21
ENDIF
C ***** MUTAÇÃO (ISC2) *****
  CALL RANDOM(RAND)
51 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
  CALL RANDOM(RAND)
  J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
  IF (J.EQ.0) THEN
    GOTO 51
  ENDIF
  CALL RANDOM(RAND)
  W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)

```

```

        IF (W.LE.3.OR.W.EQ.24) THEN
        W=1
        ELSE
        NUM=NINT(REAL(W/3))
        W=(NUM*3)+1
        ENDIF
61      GOTO (61,61,61,61,63,63),J
        T=ISC2(I,J,W)
        IF (T.EQ.0) THEN
        ISC2(I,J,(W+2))=1
        ISC2(I,J,(W+1))=1
        ISC2(I,J,W)=1
        ELSE
        ISC2(I,J,(W+2))=0
        ISC2(I,J,(W+1))=0
        ISC2(I,J,W)=0
        ENDIF
63      GOTO 51
        CALL RANDOM(RAND)
        ISC2(I,J,(W+2))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        ISC2(I,J,(W+1))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        ISC2(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        GOTO 51

        ENDIF
        Y1=Y1-((VY1I-1)*ISTRG)
        Y2=Y2-((VY2I-1)*ISTRG)
        IF (Y1.EQ.0) THEN
        Y1=24
        ENDIF
        IF (Y2.EQ.0) THEN
        Y2=24
        ENDIF
10     CONTINUE
C     ***** FIM DO CRUZAMENTO E MUTAÇÃO *****
        DO 80 I=1,NPOP
        Z=(2*I)-1
        DO 81 J=1,NVAR
        DO 82 K=1,ISTRG
        IS2(Z,J,K)=ISC1(I,J,K)
82      CONTINUE
81      CONTINUE
        Z=2*I
        DO 83 J=1,NVAR
        DO 84 K=1,ISTRG
        IS2(Z,J,K)=ISC2(I,J,K)
84      CONTINUE
83      CONTINUE
80     CONTINUE
C     {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS GERADOS}
        CALL AVALIADORA2 (NCRU,NPOP,ISTRG,NVAR,IS2,IS3,FO,FOP,FOK,
        $FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,
        $PVRELEI,PVRENTI,DEM,C1,C3,wp,Pp)
        RETURN
        END

*****
*                               SUB ROTINA AVALIADORA2                               *
*****

        SUBROUTINE AVALIADORA2 (NCRU,NPOP,ISTRG,NVAR,IS2,IS3,FO,FOP,FOK,
        $FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,
        $PVRELEI,PVRENTI,DEM,C1,C3,wp,Pp)
        INTEGER Y
        REAL VRENT,VRELE,VIRENT1,VIRELE1,PVRENTMAX,QSRE,PVRENTMIN,
        $PVRELEMAX,PVRELEMIN,POTAC7,POTAC6,QACBV,PVRELEI,PVRENTI,
        $FOT,FOFINAL,FITOT,FIT,FITANT,VX6,IS2,IS3,ISFINAL
        DIMENSION X(NVAR),FO(2*NCRU),FOP(2*NCRU),FOKJ(2*NCRU),
        $IS2(2*NPOP,NVAR,ISTRG),IS3(NPOP,NVAR,ISTRG),ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),
        $DEM(ISTRG),FIT(2*NCRU),FITPOR(2*NCRU)
        COMMON /A1/VIRELE,VIRENT,VRELEMAX,VRELEMIN,VRENTMAX,VRENTMIN,QSRE
C     W=Multiplicador das Penalidades
C     P=Expoente das Penalidades

```

```

W=Wp
P=Pp
FOT=0
FITOT=0
Y=2*NPOP
DO 10 I=1,Y
C ***** CALCULA A F.O. PARA OS VALORES DE IS2(I,J,K) *****
VIRENT1=VIRENT
VIRELE1=VIRELE
PVRENTMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERRADO MÁXIMO}
PVRENTMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ENTERRADO MÍNIMO}
PVRELEMAX=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÁXIMO}
PVRELEMIN=0
C {ACUMULADOR DA PENALIDADE DE VOLUME DO RES. ELEVADO MÍNIMO}
POTAC6=0
POTAC7=0
QACBV=0
DO 20 K=1,ISTRG
DO 30 J=1,NVAR
X(J)=IS2(I,J,K)
30 CONTINUE
VRENT=VIRENT1+X(1)*X(2)*X(7)-X(3)*X(6)+X(4)*X(5)
VRELE=VIRELE1+X(2)*(1-X(1))*X(7)+X(3)*X(6)-DEM(K)
IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
VX6=VRELE-VRELEMAX
IF (VX6.GE.QSRE) THEN
VRELE=VRELE-QSRE
VRENT=VRENT+QSRE
ELSE
VRELE=VRELE-VX6
VRENT=VRENT+VX6
ENDIF
ENDIF
C ***** PENALIDADES *****
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ENTERRADO
IF (VRENT.GT.VRENTMAX) THEN
PVRENTMAX=PVRENTMAX+((ABS(VRENT-VRENTMAX))**Pp)
ENDIF
IF (VRENT.LT.VRENTMIN) THEN
PVRENTMIN=PVRENTMIN+((ABS(VRENT-VRENTMIN))**Pp)
ENDIF
C VERIFICA OS LIMITES MÁXIMOS E MÍNIMOS DO VOLUME NO RES. ELEVADO
IF (VRELE.GT.VRELEMAX) THEN
PVRELEMAX=PVRELEMAX+((ABS(VRELE-VRELEMAX))**Pp)
ENDIF
IF (VRELE.LT.VRELEMIN) THEN
PVRELEMIN=PVRELEMIN+((ABS(VRELE-VRELEMIN))**Pp)
ENDIF
C ***** CÁLCULO DAS POTÊNCIAS E VAZÕES ACUMULADAS DAS BOMBAS *****
C X(7)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Poço em Kw
X(7)=75.6
C X(6)=Valor da Potência Consumida pelo Motor DO Recalque em Kw
X(6)=0.081129*X(6)
POTAC6=POTAC6+X(3)*X(6)
POTAC7=POTAC7+X(2)*X(7)
C CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA VINDO DO JARDIM BOA VISTA
QACBV=QACBV+X(4)*X(5)
VIRENT1=VRENT
VIRELE1=VRELE
20 CONTINUE
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ELEVADO INICIAL=VOL.RES.ELEVADO FINAL
IF (VRELE.NE.VIRELE) THEN
PVRELEI=(ABS(VRELE-VIRELE))**Pp
ENDIF
C VERIFICA A CONDIÇÃO VOL.RES.ENTERRADO INICIAL=VOL.RES.ENTERRADO FINAL
IF (VRENT.NE.VIRENT) THEN
PVRENTI=(ABS(VRENT-VIRENT))**Pp
ENDIF
FO(I)=(((POTAC7+POTAC6)*C1)+
$W*((PVRENTMAX**P)+(PVRENTMIN**P)+(PVRELEMAX**P)+
$(PVRELEMIN**P)+(PVRELEI**P)+(PVRENTI**P))+QACBV*C3)

```



```

        FIT(I)=1/FO(I)
        FOT=FOT+FO(I)
        FITOT=FITOT+FIT(I)
10 CONTINUE
C   REALIZA O FATIAMENTO (PORCENTAGEM) PARA A REALIZAÇÃO DO SORTEIO
C   PELO MÉTODO DA ROLETA
        FITANT=0
        DO 51 K=1,Y
            FITPOR(K)=FITANT+(FIT(K)/FITOT)
            FITANT=FITPOR(K)
51 CONTINUE
C   REALIZA O RANK DA F.O. EM ORDEM CRESCENTE
        FOK(1)=900000000
        DO 60 I=1,Y
            IF(FO(I).LT.FOK(1))THEN
                FOK(1)=FO(I)
                FOP(1)=INT(I)
            ENDIF
60 CONTINUE
        DO 61 J=2,Y
            FOKJ(J)=900000000
            L=J-1
            DO 62 K=1,Y
                IF (FO(K).LE.FOKJ(J))THEN
                    IF (FO(K).GE.FOK(L))THEN
                        DO 70 M=1,L
                            IF (FOP(M).EQ.K)THEN
                                GOTO 62
                            ENDIF
                        CONTINUE
                        FOKJ(J)=FO(K)
                        FOK(J)=FO(K)
                        FOP(J)=INT(K)
                    ENDIF
                ENDIF
            ENDIF
62 CONTINUE
C   ESCOLHE N INDIVÍDUOS DA POPULAÇÃO ANTERIOR E FORMA UMA NOVA POPULAÇÃO
C   ARMAZENA O CONTEÚDO DO MELHOR INDIVÍDUO P/ A PRÓXIMA GERAÇÃO
        CALL NOVAPOP (FOK, FOP,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,IS2,IS3,
        $FOFINAL,ISFINAL,FITPOR)
        RETURN
        END

```

```

*****
*                               SUB ROTINA NOVAPOP                               *
*****

```

```

        SUBROUTINE NOVAPOP (FOK, FOP, NPOP, NVAR, ISTRG, NCRU, IS2, IS3,
        $FOFINAL, ISFINAL, FITPOR)
        INTEGER Y, X
        REAL FOFINAL, R, ISFINAL, IS2, IS3
        DIMENSION ISFINAL(1, NVAR, ISTRG), FOP(2*NCRU), FOK(2*NCRU),
        $IS2(2*NCRU, NVAR, ISTRG), IS3(NPOP, NVAR, ISTRG), FITPOR(2*NCRU)
C   REALIZA O TESTE QUE MANTÉM O MENOR VALOR DA F.O. E O COPIA PARA A
C   PRÓXIMA GERAÇÃO
        Y=2*NPOP
        IF (FOK(1).LT.FOFINAL) THEN
            FOFINAL=FOK(1)
            I=INT(FOP(1))
            DO 10 J=1, NVAR
                DO 11 K=1, ISTRG
                    ISFINAL(1, J, K)=IS2(I, J, K)
                CONTINUE
            CONTINUE
10 CONTINUE
        ENDIF
        DO 12 J=1, NVAR
            DO 13 K=1, ISTRG
                IS3(1, J, K)=ISFINAL(1, J, K)
            CONTINUE
        CONTINUE
12 CONTINUE

```



```

C   ROTINA QUE REAGRUPA OS INDIVÍDUOS DENTRO DA POPULAÇÃO
C   E SELECIONA(ALEATORIAMENTE) OS COMPONENTES DA PRÓXIMA GERAÇÃO
DO 20 I=2,NPOP
    CALL RANDOM(RAND)
    R=REAL(RAND)
    DO 21 J=1,Y
        IF (FITPOR(J).LT.R) THEN
            GOTO 21
        ENDIF
        X=J
        GOTO 30
21  CONTINUE
30  DO 22 J=1,NVAR
        DO 23 K=1,ISTRG
            IS3(I,J,K)=IS2(X,J,K)
23  CONTINUE
22  CONTINUE
20  CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

*****
*                               SUB ROTINA CRUZMUTA2                               *
*****

```

```

SUBROUTINE CRUZMUTA2 (IS2,IS3,ISC1,ISC2,NPOP,NVAR,ISTRG,NCRU,XMAX,
$XMIN,FO,FOP,FOK,FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
$PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,DEM,CICLO,C1,C3,PMUT,Wp,Pp)
    INTEGER XP,Y,Y1,Y2,Y3,Z,T,W,VZ,VX,VW,VY1I,VY2I,CICLO,NUM
    REAL VY1,VY2,VY1F,VY2F,FOT,FOFINAL,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,
$PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,IS2,IS3,ISC1,ISC2,ISFINAL
    DIMENSION IS3(NPOP,NVAR,ISTRG),IS2(2*NPOP,NVAR,ISTRG),
$ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC2(NCRU,NVAR,ISTRG),XMAX(NVAR),
$XMIN(NVAR),FO(2*NCRU),FOP(2*NCRU),FOK(2*NCRU),
$ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),DEM(ISTRG)
    COMMON /A3/I
C   ***** CRUZAMENTO *****
DO 10 I=1,NCRU
11  CALL RANDOM(RAND)
    XP=(NINT(REAL(RAND)*NPOP))
    IF (XP.EQ.I.OR.XP.EQ.0) THEN
        GOTO 11
    ENDIF
C   POSICIONAMENTO DO CORTE NO STRING (Y e Y2)
    CALL RANDOM(RAND)
    Y=NINT(REAL(RAND)*ISTRG*NVAR)
    IF (Y.LE.3.OR.Y.EQ.(ISTRG*NVAR)) THEN
        Y=1
    ELSE
        NUM=NINT(REAL(Y/3))
        Y=(NUM*3)+1
    ENDIF
    Y1=Y
    Y3=(ISTRG*NVAR)-Y
    CALL RANDOM(RAND)
    Z=NINT(REAL(RAND)*Y3)
    IF (Z.LE.3) THEN
        Z=2
    ELSE
        NUM=NINT(REAL(Z/3))
        Z=(NUM*3)-1
    ENDIF
    Y2=Y1+Z
C   {TROCA DO MATERIAL GENÉTICO ENTRE OS PARES}
DO 20 J=1,NVAR
DO 30 K=1,ISTRG
    ISC1(I,J,K)=IS3(I,J,K)
    ISC2(I,J,K)=IS3(XP,J,K)
30  CONTINUE
20  CONTINUE
    VY1=REAL(Y1)/ISTRG

```

```

VY2=REAL(Y2)/ISTRG
VY1I=INT(VY1)
VY1F=VY1-VY1I
VY2I=INT(VY2)
VY2F=VY2-VY2I
IF (VY1F.GT.0) THEN
  VY1I=VY1I+1
ENDIF
IF (VY2F.GT.0) THEN
  VY2I=VY2I+1
ENDIF
VZ=VY1I
VX=(VY1I*ISTRG)-ISTRG
VW=(VY2I*ISTRG)-ISTRG
DO 70 J=VY1I,VY2I
  IF (VY1I.EQ.VY2I) THEN
    DO 71 K=Y1-VX,Y2-VW
      ISC1(I,J,K)=IS3(XP,J,K)
      ISC2(I,J,K)=IS3(I,J,K)
71 CONTINUE
    ENDIF
    IF (J.NE.VY2I.AND.J.EQ.VZ) THEN
      DO 72 K=Y1-VX,ISTRG
        ISC1(I,J,K)=IS3(XP,J,K)
        ISC2(I,J,K)=IS3(I,J,K)
72 CONTINUE
      ENDIF
      IF (J.NE.VZ.AND.J.NE.VY2I) THEN
        DO 73 K=1,ISTRG
          ISC1(I,J,K)=IS3(XP,J,K)
          ISC2(I,J,K)=IS3(I,J,K)
73 CONTINUE
        ENDIF
        IF (J.NE.VZ.AND.J.EQ.VY2I) THEN
          DO 74 K=1,Y2-VW
            ISC1(I,J,K)=IS3(XP,J,K)
            ISC2(I,J,K)=IS3(I,J,K)
74 CONTINUE
          ENDIF
70 CONTINUE
C ***** MUTAÇÃO (ISC1) *****
CALL RANDOM(RAND)
21 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
  CALL RANDOM(RAND)
  J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
  IF (J.EQ.0) THEN
    GOTO 21
  ENDIF
  CALL RANDOM(RAND)
  W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
  IF (W.LE.3.OR.W.EQ.24) THEN
    W=1
  ELSE
    NUM=NINT(REAL(W/3))
    W=(NUM*3)+1
  ENDIF
  GOTO (31,31,31,31,33,33),J
31 T=ISC1(I,J,W)
  IF (T.EQ.0) THEN
    ISC1(I,J,(W+2))=1
    ISC1(I,J,(W+1))=1
    ISC1(I,J,W)=1
  ELSE
    ISC1(I,J,(W+2))=0
    ISC1(I,J,(W+1))=0
    ISC1(I,J,W)=0
  ENDIF
  GOTO 21
33 IF (CICLO.LE.10000) THEN
  CALL RANDOM(RAND)
  ISC1(I,J,(W+2))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  ISC1(I,J,(W+1))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  ISC1(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
  ELSE

```

```

        DELTA=0.02
        CALL RANDOM(RAND)
            IF (RAND.LE.0.5) THEN
                DELTA=DELTA*(-1)
            ENDIF
            ISC1(I,J,(W+2))=(REAL(1-DELTA)*ISC1(I,J,(W+2)))
            ISC1(I,J,(W+1))=(REAL(1-DELTA)*ISC1(I,J,(W+1)))
            ISC1(I,J,W)=(REAL(1-DELTA)*ISC1(I,J,W))
        ENDIF
        GOTO 21
    ENDIF
C ***** MUTAÇÃO (ISC2) *****
    CALL RANDOM(RAND)
51 IF (RAND.LE.PMUT) THEN
    CALL RANDOM(RAND)
    J=NINT(REAL(RAND)*(NVAR-1))
    IF (J.EQ.0) THEN
        GOTO 51
    ENDIF
    CALL RANDOM(RAND)
    W=NINT(REAL(RAND)*ISTRG)
    IF (W.LE.3.OR.W.EQ.24) THEN
        W=1
    ELSE
        NUM=NINT(REAL(W/3))
        W=(NUM*3)+1
    ENDIF
61 GOTO (61,61,61,61,63,63),J
    T=ISC2(I,J,W)
    IF (T.EQ.0) THEN
        ISC2(I,J,(W+2))=1
        ISC2(I,J,(W+1))=1
        ISC2(I,J,W)=1
    ELSE
        ISC2(I,J,(W+2))=0
        ISC2(I,J,(W+1))=0
        ISC2(I,J,W)=0
    ENDIF
63 GOTO 51
    IF (CICLO.LE.10000) THEN
        CALL RANDOM(RAND)
        ISC2(I,J,(W+2))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        ISC2(I,J,(W+1))=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
        ISC2(I,J,W)=NINT(REAL(RAND*(XMAX(J)-XMIN(J))+XMIN(J)))
    ELSE
        DELTA=0.02
        CALL RANDOM(RAND)
            IF (RAND.LE.0.5) THEN
                DELTA=DELTA*(-1)
            ENDIF
            ISC2(I,J,(W+2))=(REAL(1-DELTA)*ISC2(I,J,(W+2)))
            ISC2(I,J,(W+1))=(REAL(1-DELTA)*ISC2(I,J,(W+1)))
            ISC2(I,J,W)=(REAL(1-DELTA)*ISC2(I,J,W))
        ENDIF
        GOTO 51
    ENDIF
    Y1=Y1-((VY1I-1)*ISTRG)
    Y2=Y2-((VY2I-1)*ISTRG)
    IF (Y1.EQ.0) THEN
        Y1=24
    ENDIF
    IF (Y2.EQ.0) THEN
        Y2=24
    ENDIF
    IF (CICLO.GE.0.AND.CICLO.LE.0) THEN
C *****
C APRESENTA OS VALORES DOS INDIVIDUOS APOS O CRUZAMENTO E A MUTAÇÃO
C CALL SAIDA2 (NPOP,NVAR,ISTRG,ISC1,ISC2,XP,VY1I,VY2I,Y1,Y2,CICLO)
C *****
    ENDIF
10 CONTINUE
C ***** FIM DO CRUZAMENTO E MUTAÇÃO *****
    DO 80 I=1,NPOP
        Z=(2*I)-1

```



```

      DO 81 J=1,NVAR
          DO 82 K=1,ISTRG
              IS2(Z,J,K)=ISC1(I,J,K)
82          CONTINUE
81      CONTINUE
          Z=2*I
      DO 83 J=1,NVAR
          DO 84 K=1,ISTRG
              IS2(Z,J,K)=ISC2(I,J,K)
84          CONTINUE
83      CONTINUE
80      CONTINUE
C      {AVALIA E ORDENA OS MELHORES INDIVÍDUOS GERADOS}
      CALL AVALIADORA2 (NCRU,NPOP,ISTRG,NVAR,IS2,IS3,FO,FOP,FOK,
      $FOFINAL,ISFINAL,FOT,PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,
      $PVRELEI,PVRENTI,DEM,C1,C3,Wp,Pp)
      RETURN
      END

```

```

*****
*                               SUB ROTINA SAIDA1                               *
*****

```

```

C      SUBROUTINE SAIDA1 (NVAR,ISTRG,ISFINAL,FOFINAL,HRELE,HRENT,CUSTO,
      $PVRELEMIN,PVRELEMAX,PVRENTMIN,PVRENTMAX,PVRELEI,PVRENTI,NUMALE,
      $NLOOP,QACBV,C3,POTP6,POTP7,POTAC6,POTAC7,C1,C2,VRELEMAX,VRELEMIN,
      $VIRELE,QSRE,VRENTMAX,VRENTMIN,VIRENT,DEM)
      INTEGER PL1,PL2,PL3,PL4,PL5,PL6,DEMA
      REAL ISFINAL,FOFINAL,HRELE,HRENT,CUSTO,DEM
      DIMENSION ISFINAL(1,NVAR,ISTRG),HRELE(ISTRG),
      $HRENT(ISTRG),DEM(ISTRG)
C      SAÍDA DOS VALORES DA SIMULAÇÃO
      WRITE(2,1)
      1 FORMAT(4X,
      $ '*****'
      $ /,4X,
      $ '*ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO*'
      $ /,4X,
      $ *
      $ DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO *
      $ /,4X,
      $ *
      $ /,4X,
      $ *
      $ Orientadora: LUISA FERNANDA RIBEIRO REIS *
      $ /,4X,
      $ *
      $ Mestrando: JORGE YUTAKA OUGUI *
      $ /,4X,
      $ *
      $ /,4X,
      $ *
      $ Programa: OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE ENERGIA ELÉTRICA *
      $ /,4X,
      $ *
      $ UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO *
      $ /,4X,
      $ '*****'
      $)
      WRITE(2,2) NLOOP,NUMALE,FOFINAL,
      $CUSTO,C1,C2,(POTP6+POTP7),(POTAC6+POTAC7),
      $QACBV*C3,QACBV,C3,
      $PVRENTMAX,PVRENTMIN,PVRELEMAX,PVRELEMIN,PVRELEI,PVRENTI,
      $VRELEMAX,VRELEMIN,VIRELE,QSRE,
      $VRENTMAX,VRENTMIN,VIRENT
      2 FORMAT (//,4X,
      $ 'SIMULAÇÃO (SEGUNDA-FEIRA A SEXTA-FEIRA)',/,4X,
      $ 'NLOOP: ',I9,' (Número de Iterações)',/,4X,
      $ 'NUMALE: ',I8,' (Número Aleatório Inicial)',/,4X,
      $ 'F.O.: ',F10.3,' (Função objetivo)',//,4X,
      $ 'ENERGIA ELÉTRICA',/,4X,
      $ 'CUSTO1: ',F8.3,' (Custo com Energia Elétrica - R$)',/,4X,
      $ 'C1: ',F12.6,' (Tarifa no Horário Fora de Ponta - R$/KWH)',/,4X,
      $ 'C2: ',F12.6,' (Tarifa no Horário de Ponta - R$/KWH)',/,4X,
      $ 'PONTA: ',F9.3,' (Consumo no Horário de Ponta - KWH)',/,4X,
      $ 'FPONTA: ',F8.3,' (Consumo no Horário Fora de Ponta - KWH)',//,4X,

```

```

$'ÁGUA RECEBIDA DO SUBSISTEMA JARDIM BOA VISTA',/,4X,
$'CUSTO2: ',F8.3,' (Custo da Água - R$)',/,4X,
$'VACBV: ',F9.3,' (Volume de Água Acumulado - m³)',/,4X,
$'C3: ',F12.3,' (Tarifa Fictícia da Água - R$/m³)',//,4X,
$'PENALIDADES SOBRE OS VOLUMES',/,4X,
$'P1: ',F6.2,' (Reservatório Enterrado Máximo - m³)',/,4X,
$'P2: ',F6.2,' (Reservatório Enterrado Mínimo - m³)',/,4X,
$'P3: ',F6.2,' (Reservatório Elevado Máximo - m³)',/,4X,
$'P4: ',F6.2,' (Reservatório Elevado Mínimo - m³)',/,4X,
$'P5: ',F6.2,' (Res.Elev.Inicial <> Res.Elev.Final - m³)',/,4X,
$'P6: ',F6.2,' (Res.Ent.Inicial <> Res.Ent.Final - m³)',//,4X,
$'RESERVATÓRIO ELEVADO',/,4X,
$'VRELEMAX: ',F6.2,' (Volume Máximo - m³)',/,4X,
$'VRELEMIN: ',F6.2,' (Volume Mínimo - m³)',/,4X,
$'VIRELE: ',F8.2,' (Volume Inicial - m³)',/,4X,
$'VSRE: ',F10.2,' (Volume DO Extravasador - m³)',//,4X,
$'RESERVATÓRIO ENTERRADO',/,4X,
$'VRENTMAX: ',F6.2,' (Volume Máximo - m³)',/,4X,
$'VRENTMIN: ',F6.2,' (Volume Mínimo - m³)',/,4X,
$'VIRENT: ',F8.2,' (Volume Inicial - m³)')
C SAÍDA DOS VALORES DO INDIVÍDUO FINAL
WRITE(2,3)
3 FORMAT (//,4X,'INDIVÍDUO FINAL (SEGUNDA-FEIRA A SEXTA-FEIRA)',
$,4X,'HORÁRIO',4X,'X1',4X,'X2',4X,'X3',4X,'X4',4X,'X5',4X,'X6',
$4X,'X7',3X,'H ent',3X,'H ele',/)
DO 10 K=1,ISTRG
WRITE(2,4) K,(REAL(ISFINAL(1,J,K)),J=1,NVAR),HRENT(K),
$HRELE(K)
10 CONTINUE
4 FORMAT (6X,I2,3X,7F8.2,3X,F5.2,3X,F5.2)
WRITE(2,5)
5 FORMAT (//,4X,'PLANILHA FINAL (SEGUNDA-FEIRA À SEXTA-FEIRA)',
$,4X,'HORÁRIO',2X,'Po-Ent',3X,'BV-Ent',3X,'VTEnt',3X,'Re-Ele',3X,
$'Po-Ele',4X,'VTEle',3X,'Demanda',2X,'H ent',2X,'H ele',/)
DO 20 K=1,ISTRG
PL1=REAL((ISFINAL(1,1,K))*(ISFINAL(1,2,K))*(ISFINAL(1,7,K)))
PL2=REAL((ISFINAL(1,4,K))*(ISFINAL(1,5,K)))
PL3=PL1+PL2
PL4=REAL((ISFINAL(1,3,K))*(ISFINAL(1,6,K)))
PL5=REAL((1-(ISFINAL(1,1,K)))*(ISFINAL(1,2,K))*(ISFINAL(1,7,K)))
PL6=PL4+PL5
DEMA=DEM(K)
WRITE(2,6) K,PL1,PL2,PL3,PL4,PL5,PL6,DEMA,HRENT(K),HRELE(K)
20 CONTINUE
6 FORMAT (6X,I2,3X,I6,3X,I6,3X,I6,3X,I6,3X,I6,
$3X,I6,3X,F5.2,3X,F5.2)
RETURN
END

```

```

*****
* SUB ROTINA SAIDA2 *
*****

```

```

SUBROUTINE SAIDA2 (NPOP,NVAR,ISTRG,ISC1,ISC2,XP,VY1I,VY2I,Y1,Y2,
$CICLO)
INTEGER XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2,CICLO
REAL ISC1,ISC2
DIMENSION ISC1(NPOP,NVAR,ISTRG),ISC2(NPOP,NVAR,ISTRG)
COMMON /A3/I
WRITE(2,3) CICLO
3 FORMAT (//,4X,'INTERAÇÃO NÚMERO ',I6,/)
WRITE (2,1) (I*2)-1,I,XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2
DO 300 K=1,ISTRG
WRITE(2,2) K,(NINT(REAL(ISC1(I,L,K))),L=1,NVAR)
300 CONTINUE
WRITE (2,1) I*2,I,XP,VY1I,Y1,VY2I,Y2
DO 400 K=1,ISTRG
WRITE(2,2) K,(NINT(REAL(ISC2(I,L,K))),L=1,NVAR)
400 CONTINUE
1 FORMAT (/ ,2X,'CRUZAMENTO',5X,'INDIVÍDUO',I3,/,2X,'(PAIS:',I2,
$';',I2,')',2X,'PONTO DE CORTE: X',I2,' POS',I3,' ; X',I2,' POS',

```

```
$I3/2X, 'HORÁRIO', 4X, 'X1', 4X, 'X2', 4X, 'X3', 4X, 'X4', 4X, 'X5', 4X, 'X6',  
$4X, 'X7', /)  
2 FORMAT (4X, I2, 3X, 7I6)  
RETURN  
END
```

```
*****  
*                               SUB ROTINA POLINOMIO                               *  
*****  
SUBROUTINE POLINOMIO (VRENT, H)  
REAL H, PER, VOL1, INCR, VOL  
PARAMETER (A=1.9075, B=27.0244, C=96)  
VOL=VRENT  
H=0  
INCR=1  
10 H=INCR+H  
VOL1=(A*H*H*H)+(B*H*H)+(C*H)  
IF (VOL1.LT.VOL) THEN  
    GOTO 10  
ELSE  
    PER=100*(ABS((VOL1/VOL)-1))  
    IF (PER.LE.0.001) THEN  
        GOTO 20  
    ENDIF  
ENDIF  
H=H-INCR  
INCR=INCR/2  
GOTO 10  
20 RETURN  
END
```


- BRION, L. M. and MAYS, L.W. (1991). Methodology for optimal operation of pumping stations in water distribution systems. *Journal of Hydraulic Engineering*. v.117, n.11, p.1551-1569.
- CALIMAN, R.O. (2002). Determinação dos Parâmetros do Modelo Pressão x Vazamento para Sub-Setores da Rede de Distribuição de Água de São Carlos – SP. Tese de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (1998). Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. Manual de Orientação ao Consumidor. São Paulo, CPFL.
- DE SCHAETZEN, W.B.F.; SAVIC, D.A & WALTERS, G.A. (1999). A genetic algorithm approach to pump scheduling in water supply systems. United Kingdom.
- DUAN, N. and MAYS, L.W. (1990). Reability analysis of pumping systems. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol.116, n.2,p.230-248, 1990.
- FREITAS FILHO, P.J. (2001). Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas. Visual Books Ltda.
- GEN, M. & CHENG, R. (1997). Genetic algorithms and engineering design. *Wiley Series in engineering design and automation*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997.
- GERMANOPOULOS, G; JOWITT, P.W. (1989). Leakage reduction by excess pressure minimization in a water supply network. *Proc. Instn Civ. Engrs Part 2*, June, p. 195-214.
- GOICOECHEA, A.;HANSEN, D. and DUCKSTEIN, L. (1982). Introduction to Multiobjective analysis with engineering and business applications. John Wiley, New York, USA.
- GOLDBERG, D.E. (1989).Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.
- HEHL, M. E. (1987). Linguagem de Programação Estruturada: FORTRAN 77. McGraw Hill, São Paulo.

- HOLLAND, J.H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems. University of Michigan Press. Ann Arbor, Mich.
- JOWITT, P. W. and GERMANOPOULOS, G. (1992). Optimal pump scheduling in water-supply networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.118, n.4, p.406-422.
- LANSEY, K.E. & AWUMAH, K. (1994). Optimal pump operations considering pump switches. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.120,n.1,p.17-35, January-February.
- LINSLEY, R.K. & FRANZINI, J.B. (1978). Engenharia de recursos hídricos. Editora McGraw-Hill do Brasil. São Paulo.
- MACINTYRE, A.J. (1980). Bombas e Instalações de Bombeamento. Editora Guanabara Dois S. A.- Rio de Janeiro.
- MACKLE, G. SAVIC, D.A. and WALTERS, G.A. (1995). Application of genetic algorithms to pump scheduling for water supply, *Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovation and application*, Galesia'95, IEE Conference Publication No414, Sheffield, UK, 400-405.
- MCKINNEY, D.C.LIN, M.D.(1994). Genetic algorithm solution of groundwater management models. *J. Water Resource*, vol. 30, n.6, p-1897-1906.
- MICHALEWICZ, Z. (1992). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolutionary Programs*. Springer, Germany.
- NETO, J.M.A. e ALVAREZ, G.A. (1982). *Manual de Hidráulica*. Edgard Blucher, São Paulo.
- ORMSBEE, L.E. and WOOD, D.J. (1986). Hydraulic Design Algorithm for Pipe Networks. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, v.112, n.12, p.1195-1207.
- PEZESHK, S.; HELWEG, O. J. and OLIVER, K. E. (1994). Optimal operation of groundwater supply distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 120, n.5, p.573-585.
- PORTO, R.M.; REIS, L.F.R. (1992). Interpretação Hidráulica do Modelo de Jowitt-Xu de Minimização de Perdas por Vazamento II - Análise de Desempenho das Válvulas. In: Congresso Latino Americano de Hidráulica, 10. Anais. Cartagena, p.461-470.

- REIS, L.F.R.; PORTO, R.M.; CHAUDHRY, F.H. (1997). Optimal Location of Valves in Pipe Networks By Genetic Algorithm. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v.123, n.6, p.317-326.
- REIS, L.F.R. & AKUTSU, J. (2003). Estratégias Operacionais para Sistemas de Reservatórios via Algoritmos Genéticos (AGs). *Revista ABRH*.
- RIBEIRO, G.P. (2000). Análise de Custo de Produção de Água Subterrânea para o Sistema de Abastecimento da Cidade de Araraquara. Tese de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RIGHETTO, A.M. (1977). Desenvolvimento de Modelos de Simulação para o Dimensionamento de Redes de Distribuição de Água. Tese de Doutorado- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RITZEL, B.J.; EHEART, W. (1994). Using genetic algorithms to solve a multiple objective groundwater pollution containment problem. *J.Water Resource*. v.30, n.5, p.1589-1603.
- SAVIC, D.A. & WALTERS, G.A. (1995). An Evolution Program for Optimal Pressure Regulation in Water Distribution Networks. University of Exeter. School of Engineering.
- SAVIC, D.A.; WALTERS, G.A. (1997). Evolving Sustainable Water Networks. *Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques*, v.42. n.4, p.545-564.
- SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. & SCHWAB, M.(1997). Multiobjective genetic algorithm for pumping scheduling in water supply. In: AISB'97, Manchester, 1997. Evolutionary Computing workshop, Manchester. p.59.
- SAVIC, D.A.; WALTERS, G.A. (1999). *Water Industry Systems: Modeling and Optimization Applications Vol I e II* – University of Exeter, UK.
- SCHAETZEN, W.B.F.; WALTERS, G.A.; SAVIC, D.A. (2000). Optimal Sampling Design For Model Calibration Using Shortest Path, Genetic and Entropy Algorithms”, to appear in *Urban Water*, Nov. 2000.

SIMPSON, A.R.; DANDY, G.C. ; MURPHY, LAURENCE (1994). Genetic Algorithms Compared to Other Techniques for Pipe Optimization. Journal of Water Resources Planning and Management, v.120, n.4, p.423-443.

TSUTIYA, M.T. (2001). Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo.

WALTERS, G.A.; LOHBECK, T.K.(1993). Optimal layout of tree networks using genetic algorithms. Engng Optimization. p.27-48.

WALTERS, G.A.; SAVIC, D.A.; MORLEY, M.;WERNER, D.S.(1998). Calibration of Water Distribution Network Models Using Genetic Algorithms. University of Exeter. School of Engineering.HYDROSOFT 1998 (Inglaterra).