



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**



ZACARÍAS NAVARRO-ROA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HIDRÁULICA DE UM
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
O caso da cidade de Santiago de los Caballeros, República Dominicana**

Florianópolis, SC
2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

ZACARÍAS NAVARRO-ROA

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HIDRÁULICA DE UM
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
O caso da cidade de Santiago de los Caballeros, República Dominicana**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para obter o grau de Doutor em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Maurício Luiz Sens
Co-orientador: Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso

Florianópolis, SC
2008

N322a Navarro-Roa, Zacarías

Avaliação da vulnerabilidade hidráulica de um sistema de abastecimento de água : o caso da cidade de Santiago de los Caballeros, República Dominicana / Zacarias Navarro-Roa ; orientador Maurício Luiz Sens ; co-orientador Ramon L. Dalsasso. – Florianópolis, 2008.

xxi, 147 p.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2008.

Inclui bibliografia

1. Abastecimento de água – Vulnerabilidade – Avaliação. 2. Confiabilidade. 3. Desastre. 4. Emergência. 5. Vulnerabilidade hidráulica. I. Sens, Maurício Luiz. II. Dalsasso, Ramon L. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

CDU: 628.4

Catálogo na fonte por: Onélia Silva Guimarães CRB-14/071



TERMO DE APROVAÇÃO

“Avaliação da Vulnerabilidade Hidráulica de um Sistema de Abastecimento de Água: O caso da cidade de Santiago de Los Caballeros, República Dominicana”.

Zacarias Navarro Roa

A Tese foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

DOUTOR EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Aprovado por:

Prof. Masato Kobiyama, Dr.

Prof. Daniel José da Silva, Dr.

Prof. Leo Heler, Dr.

Prof.ª. Maria do Carmo Sobral, Dr.ª.

Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.

Prof. Mauricio Luiz Sens, Dr.
(Orientador)

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
(Coordenador PPGEA)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
Julho/2008.

DEDICATORIA

A Mabel, Gema y Mairé, esperanzas para la vida.

A Noly, Melba y Eva, sueños que crecieron conmigo.

A Servia mi madre, ternura y sabiduría, que me empujó hacia la luz.

A Zacarías mi padre, disciplina y amistad, que me enseñó a recoger nubes.

A Renata, compromiso para parir futuro.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, a seus professores, funcionários e aos colegas.

Minha gratidão ao professor Dr. Maurício Luiz Sens, pelas orientações em um tema muito importante para a América Latina, mas pouco estudado na academia da região. Da mesma forma, agradeço ao professor Dr. Ramon Lucas Dalsasso, por seus aportes na construção dos instrumentos para realizar esta pesquisa.

Especial agradecimento aos professores da banca examinadora: Dr. Léo Heller, da Universidade Federal de Minas Gerais; Dra. Maria do Carmo Martins Sobral, da Universidade Federal de Pernambuco; Dr. Daniel José da Silva e Dr. Masato Kobiyama, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Aos colegas do LAPOÁ: Alex, Anelice, Arlete, Bruno, Clarissa, Denise, Deverson, Dimas, Elaine, Fernanda, Gustavo, Heloisa, Julia, Kátia, Lílian, Luis, Luiz, Marcelo, Marcus, Renata, Bianca.

Aos irmãos e irmãs estrangeiros que estudam na UFSC, especialmente os da Bolívia, Colômbia, Cuba e Peru.

Meus agradecimentos aos técnicos da Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN), especialmente ao diretor, Eng. Hamlet Otáñez; ao Eng. Rafael Jaques, Gerente de Operação e Manutenção; ao Eng. Elvin Rodríguez, Departamento de Operação de Redes; e, ao Eng. Jorge Michelén, Departamento de Estudos e Projetos.

Aos técnicos do Ayuntamiento Municipal de Santiago de los Caballeros, na pessoa do prefeito José Enrique Sued, aos técnicos do Departamento de Planeamiento Urbano e da Oficina Técnica do Plan de Ordenamiento Territorial de Santiago.

Aos técnicos do Instituto Nacional de Recursos Hídricos, ao diretor Eng. Frank Rodríguez e ao Eng. Raul Pérez, na Gerencia de Planificación.

À Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales da República Dominicana, na pessoa do Secretário de Estado Lic. Omar Ramírez e da Diretora de Investigación y Desarrollo, Eng. Patricia Abreu.

Ao Programa de Bolsas da Organização de Estados Americanos OEA-LASPAU; ao programa de bolsa da Secretaría de Estado de Educación Superior, Ciencia y Tecnología da República Dominicana; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Brasil (CAPES).

Agradecimento em Santo Domingo para Solhange, Silmer, Damaris, Francis, Rosanna e Clara. Especial agradecimento em Santiago para Lourdes, Carlos, Josefina e Alfredo pela colaboração incondicional e imprescindível na procura de informação. Sou grato a todos.

À família Martins: Fátima, Jair, Flávia, Crystiane, Roberta, Thiago, André, Ana Paula, Letícia, Pedro. Por todo o apoio e consideração nestes anos.

NAVARRO-ROA, Z. Avaliação da vulnerabilidade hidráulica de um sistema de abastecimento de água: o caso da cidade de Santiago de los Caballeros, República Dominicana. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

RESUMO

O abastecimento de água é um serviço vital, imprescindível para o desenvolvimento da sociedade, tanto na sua relação com a saúde coletiva quanto na sua importância econômica. Os sistemas de abastecimento de água tendem a ser vulneráveis a diversos perigos ambientais, os quais podem provocar emergências e desastres. Tendo em vista a necessidade de garantir o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas e considerando a vulnerabilidade dos sistemas, deve-se estudar a possibilidade de fornecer água em casos de emergências. O objetivo principal desta pesquisa era avaliar uma metodologia que permita medir a vulnerabilidade hidráulica de sistemas de abastecimento de água, através de simulação hidráulica, quando um componente importante do sistema é impactado. Para tanto, foram considerados diferentes cenários de danos em componentes do sistema, segundo a sua importância e a probabilidade de serem danificados por inundações. A validação da metodologia foi realizada no sistema de abastecimento de água da cidade de Santiago de los Caballeros, República Dominicana, utilizando-se o software EPANET 2.0 para simular o desempenho do sistema, considerando-se cenários de danos por inundações baseadas em estudos existentes de eventos hidrometeorológicos relacionados com o rio Yaque del Norte. Foram determinados os trechos que provocam maior vulnerabilidade no sistema e os nós mais afetados pela interrupção destes trechos. Os resultados mostram a possibilidade de determinar a vulnerabilidade hidráulica do sistema e para nós de interesse, pelo tipo ou pela quantidade de usuários. A partir deste ponto foi possível estabelecer alternativas de abastecimento de água para casos de emergência, especialmente para os nós considerados importantes.

Palavras-chave: Confiabilidade. Desastre. Emergência. Sistema de abastecimento de água. Vulnerabilidade hidráulica.

NAVARRO-ROA, Z. Assessing Hydraulic Vulnerability of a Water Supply System: the case of the Santiago de los Caballeros city, Dominican Republic. Doctoral dissertation presented to the Graduate Program in Environmental Engineering, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

ABSTRACT

Water supply is a vital service, essential for the development of society with regard to its relationship with collective health as well as to its economic importance. Water supply systems tend to be vulnerable to a variety of environmental hazards, which may create emergencies and disasters. Taking into account the need to guarantee water supply in adequate quantity and quality and the vulnerability of systems, the possibility of supplying water in case of emergencies must be studied. This research aimed at evaluating a methodology that would allow measuring the hydrolic vulnerability of water supply systems through hydraulic simulation when the system is impacted by floods. With this purpose, several scenarios of damage to system components were considered, according to the component importance and its probability of being damaged by flooding. The methodology validation was carried out at the water supply system from the city of Santiago de los Caballeros, in the Dominican Republic, using EPANET 2.0 to simulate the system performance, considering damage scenarios by flooding, based on existing studies of floods in river Yaque del Norte. The pipes with greater vulnerability in the system and the most impacted nodes by interruption were determined. The results showed that it is possible to determine the vulnerability of the hydraulic system and important nodes. From this point on, it was possible establish alternatives for supplying water during emergency cases, especially for nodes considered important.

Keywords: Reliability. Disaster. Emergency. Water supply system. Hidraulic vulnerability.

Lista de figuras

Figura 1 - Diagrama de atuação de perigos ambientais	10
Figura 2 - Classificação de emergências, segundo impacto de perigos ambientais em sistemas de abastecimento de água	15
Figura 3 - Hierarquia de requerimento de água	30
Figura 4 - Esquema geral de avaliação de vulnerabilidade a perigos ambientais	35
Figura 5 - Esquema detalhado da metodologia para avaliar o abastecimento de água em casos de emergência	39
Figura 6 - Algoritmo para determinar a vulnerabilidade de sistemas de água	41
Figura 7 - Mapa de localização da República Dominicana e Santiago de los Caballeros	46
Figura 8 - Rede de distribuição de água de Santiago de los Caballeros	48
Figura 9 - Esquema geral do sistema de água de Santiago de los Caballeros	49
Figura 10 - Mapa cartográfico do setor La Zurza (S1) e Esquema do Sistema de Tratamento de água exclusivo da ETA Nibaje-25	51
Figura 11 - Foto da estação de bombeamento da ETA Nibaje-25, Santiago de los Caballeros	52
Figura 12 - Estação de tratamento Nibaje-25 e rio Yaque del Norte (CORAASAN, 2007)	53
Figura 13 - Danos em 52 sistemas de água provocados pela tormenta tropical Jeanne, República Dominicana outubro de 2004	54
Figura 14 - Captação de Pastor, no rio Yaque del Norte e subestação elétrica com gerador de emergência, remodelada após o furacão David	58
Figura 15 - Rede do sistema de água no setor La Zurza com identificador de trechos	59
Figura 16 - Rede do subsistema de distribuição de água no setor La Zurza, com identificador de nós de demanda	61
Figura 17 - Vulnerabilidade para nós de consumo segundo a interrupção dos trechos L-4, L-6, L-12 ou L-50 do setor La Zurza	62
Figura 18 - Vulnerabilidade para o nó N-13 por interrupção de trechos do setor La Zurza	63
Figura 19 - Vulnerabilidade para o nó N-62 segundo interrupção de trechos do setor La Zurza	63
Figura 20 - Vulnerabilidade para o nó N-8 segundo a interrupção de trechos do setor La Zurza	64
Figura 21 - Vulnerabilidade para o nó N-10 por interrupção de trechos	64
Figura 22 - Vulnerabilidade para o nó N-20 por interrupção de trechos	64
Figura 23 - Vulnerabilidade para o nó N-19 por interrupção de trechos	65
Figura 24 - Vulnerabilidade para o nó N-45 por interrupção de trechos	65
Figura 25 - Esquema geral do sistema de água de Santiago de los Caballeros com relação a inundações de período de retorno de 25 e 500 anos	66

Figura 26 - Foto aérea do setor La Zurza e cotas de inundação para períodos de retorno de 500, 100 e 25 anos	67
Figura 27 - Cartografia e rede de distribuição do setor La Zurza e cota de inundação para períodos de retorno de 500, 100 e 25 anos	68
Figura 28 - Ponte na avenida Francia sobre o córrego Nibaje e passo da adutora (L-1) desde a ETA Nibaje-25 até os reservatórios La Zurza	69
Figura 29 - Ponte antiga sobre o córrego Nibaje, serve de passo para o trecho L-8 no setor La Zurza	70
Figura 30 - Condição do trecho L-8 na ponte antiga sobre o córrego Nibaje	70
Figura 31 - Córrego na avenida Circunvalación para água pluvial, trecho L-22 no ponto C	71
Figura 32 - Adutora de água tratada da ETA La Noriega sobre a ponte na rua E. Sadalhá (Córrego Nibaje), novembro de 2005	76
Figura 33 - Adutora de água tratada da ETA La Noriega sobre a ponte rua E. Sadalhá (Córrego Nibaje) depois da reabilitação, junho de 2007	77
Figura 34 - Foto da destruição da adutora do sistema de água da cidade de Moca, República Dominicana	78
Figura 35 - Foto de avaria na linha principal da rede de distribuição de água da comunidade Puñal, República Dominicana, maio de 2007	79
Figura 36 - Vulnerabilidade do sistema com a interrupção de trechos do setor La Zurza	80
Figura 37 - Comportamento da pressão e a demanda no nó N-8, com interrupção entre a hora 24 e a hora 93	81
Figura 38 - Comportamento da pressão e a demanda no nó N-8 com interrupção iniciando na hora 24 e terminando na hora 48 e 78, para os trechos L-8 e L-13, respectivamente	82
Figura 39 - Comportamento da vulnerabilidade no sistema para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-8 e L-13	82
Figura 40 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-8 para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-8 e L-13	83
Figura 41 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-62, com interrupção do trecho L-24	83
Figura 42 - Comportamento da pressão e da demanda no nó N-62 com interrupção iniciando na hora 24 e terminando na hora 86 para L-22 e na hora 68 para L-24	84
Figura 43 - Comportamento da vulnerabilidade no sistema para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-22 e L-24	84
Figura 44 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-62 para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-22 e L-24	85
Figura 45 - Comportamento da vazão e a pressão no nó N-62 com interrupção do trecho L-50 entre a hora 24 e a hora 74	85
Figura 46 - Comportamento da vulnerabilidade em nós de consumo com a interrupção do trecho L-50	86

Figura 47 - Comportamento da vulnerabilidade nos nós N-12, N-20 e N-62 e no sistema com a interrupção do trecho L-50	86
Figura 48 - Altura esperada para inundações em períodos de retorno de 25 a 500 anos no ponto de localização da ETA Nibaje	88
Figura 49 - Ponte de pedestres no dia 21 de julho (antes da t. Olga) e no dia 14 de dezembro 2007 (na emergência de inundação de t. Olga)	89
Figura 50 - Curva de comportamento da altura piezométrica com relação à vazão demandada no sistema com diferentes velocidades de rotação de bomba	90
Figura 51 - Comportamento da vulnerabilidade para velocidades de rotação de bomba de 100% a de 65%	91
Figura 52 - Comportamento da vulnerabilidade-nó para velocidades de rotação de bomba de 90%, 85% e 80%	91
Figura 53 - Vulnerabilidade com o trecho L-8 interrompido e capacidade de bombeamento de 85% e 80%	92
Figura 54 - Vazão e pressão no nó N-8 com interrupção do trecho L-8 por 58 horas e bombeamento a 80% da capacidade por 71 horas	92
Figura 55 - Vulnerabilidade-nó para o nó N-8 com os trechos L-8 e L-13 interrompidos e capacidade de bombeamento de 80%	93
Figura 56 - Vazão e pressão no nó N-8 com interrupção dos trechos L-8 e L-13 por 18 e 12 horas e velocidade na ERAT de 80% por 44 horas	93
Figura 57 - Vulnerabilidade-nó para N-62 com o trecho L-24 interrompido e velocidade de rotação de bomba de 80%	94
Figura 58 - Vazão e pressão no nó N-62 com interrupção do trecho L-24 por 48 horas e velocidade na ERAT de 80% por 18 horas	94
Figura 59 - Vazão e pressão no nó N-62 com interrupção dos trechos L-24 e L-22 por 69 horas e 26 horas, e velocidade na ERAT de 80% por 41 horas	95
Figura 60 - Vulnerabilidade intermediária com interrupção dos trechos L-24 e L-22 e capacidade de bombeamento de 80%	95
Figura 61 - Vulnerabilidade-nó N-62 com interrupção dos trechos L-24 e L-22 e velocidade na ERAT de 80%, segundo tempo de reabilitação da L-24, L-22 e a ERAT (número sobrescrito)	96
Figura 62 - Vulnerabilidade com o trecho L-50 interrompido em relação à velocidade de rotação da bomba	96
Figura 63 - Vulnerabilidade-nó com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 100, 85 e 80%	97
Figura 64 - Vulnerabilidade-nó para N-13 com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 85% para: (a) tempo de reabilitação de L-50 e (b) tempo de reabilitação da ERAT	97
Figura 65 - Vulnerabilidade-nó para N-62 com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 85% para: (a) tempo de reabilitação da L-50 e (b) tempo de reabilitação da ERAT	98

Figura 66 - Vulnerabilidade no sistema com impacto no trecho L-8 e a ERAT a 85% da capacidade, com redução da demanda a nós não-importantes	100
Figura 67 - Vulnerabilidade e vazão em nós de consumo para interrupção de L-8 e a ERAT a 85% da capacidade, redução da demanda em nós não-importantes	100
Figura 68 - Comportamento da vazão (a) e a vulnerabilidade (b), cenários com manobra para reduzir a demanda em nós não-importantes	101
Figura 69 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-10 em casos de manobra para reduzir a demanda em nós não-importantes	101
Figura 70 - Vulnerabilidade e volume necessário no nó N-62 com os trechos L-24 e L-22 interrompidos por 24, 48, 72 ou 96 horas	103
Figura 71 - Vulnerabilidade com e sem abastecimento de água por reservatório emergencial para o nó N-62, em casos de interrupção dos trechos L-22 e L-24 em tempo variável, volume disponível de 1.000 m ³ e 2.000 m ³	104
Figura 72 - Comportamento da vulnerabilidade do sistema e intermediária quando o trecho L-50 é interrompido e a vazão é reduzida em nós não-importantes	105
Figura 73 - Comportamento da vulnerabilidade com manobras de redução de demanda em nós não-importantes, com o trecho L-50 interrompido e a ERAT a 85% da capacidade nominal	106
Figura 74 - Vulnerabilidade e vazão para os nós N-19, N-62 e N-34 com redução da demanda	106

Lista de tabelas

Tabela 1 - Tempos-guias para o restabelecimento do serviço de água	31
Tabela 2 - Resumo de experiências e propostas para abastecimento de água em situações de emergências	32
Tabela 3 - Consumo de água em quatro áreas, segundo a divisão comercial da empresa CORAASAN para o ano 2000	47
Tabela 4 - Comprimento das tubulações no sistema de abastecimento de água de Santiago de los Caballeros por setor segundo o diâmetro dos trechos	48
Tabela 5 - Reservatórios do sistema de água de Santiago de los Caballeros	50
Tabela 6 - Estações de tratamento no sistema de água de Santiago de los Caballeros	50
Tabela 7 - Linhas com importância maior que 5% ou com redução da confiabilidade em mais de 95%	59
Tabela 8 - Importância de nós segundo o consumo e localização	60
Tabela 9 - Importância de nós segundo o consumo e trechos que afetam cada nó segundo vulnerabilidade	61
Tabela 10 - Trechos impactados por inundações no setor La Zurza em diferentes períodos de retornos	69
Tabela 11 - Nós e trechos importantes expostos a inundação em período de retorno de 25, 100 e 500 anos	71
Tabela 12 - Tempo de reabilitação de componentes no sistema de água de Santiago de los Caballeros segundo entrevistas a quatro técnicos de CORAASAN	73
Tabela 13 - Tempo de reabilitação de tubulações em hora segundo o diâmetro no sistema de água de Santiago de los Caballeros, para quatro técnicos da gerência de manutenção de redes de CORAASAN	74
Tabela 14 - Tempo de reabilitação de trechos por diâmetro, segundo entrevistas a quatro técnicos da gerência de manutenção de redes de CORAASAN	74
Tabela 15 - Tempo de manutenção estimado por técnicos e tempo de manutenção de trechos maiores de 100 mm no período de janeiro de 2006 a agosto de 2007, segundo a gerência de manutenção de redes, CORAASAN	75
Tabela 16 - Tempo médio, mínimo e máximo na reabilitação de trechos segundo o diâmetro, utilizado na execução de simulações na determinação da vulnerabilidade hidráulica	76
Tabela 17 - Trechos expostos a inundações e a vulnerabilidade do sistema com dois trechos interrompidos	80
Tabela 18 - Cotas de inundação na área da ETA Nibaje para períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos e simulações para períodos de retorno 200 e 500 anos, com característica topográfica similar ao ano 1979 para o perfil longitudinal	87
Tabela 19 - Vulnerabilidade intermediária (Vul_{Int}) e vulnerabilidade-nó com diferentes velocidades de rotação da ERAT	90

Tabela 20 - Vulnerabilidade intermediária e de nó para redução da demanda em nós não-importantes, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-8 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas	102
Tabela 21 - Vazão disponível em nós de consumo, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-8 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas	102
Tabela 22 - Vulnerabilidade média para o sistema e para o nó N-62 com os trechos L-22 e L-24 interrompidos e com volume emergencial de 1.000 m ³ e 2.000 m ³	104
Tabela 23 - Vulnerabilidade intermediária e vulnerabilidade-nó para redução da vazão disponível em nós não-importantes, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-50 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas	107
Tabela 24 - Vazão disponível em nós de consumo com 48 horas de interrupção do trecho L-50 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas	107

Lista de siglas

ACNUR/UNHCR	Alto Comissõnado das Nações Unidas para Refugiados / Unite Nation High Commission for Reffuge – UM
ALA	Americam Lifeline Alliance – Estados Unidos da América
CEPAL	Comissão Econõmica para América Latina e o Caribe – UN
CEPIS	Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ambiental – OPAS/OMS-UM
CMEOE/DEP	Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Environmental Affairs/Department of Environmental Protection.
CODIA	Colegio de Ingenieros Arquitectos y Agrimensores – República Dominicana
CORAASAN	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago – República Dominicana
ECHO	European Commission For Humanitarian Aid – União Européia
ETA	Estação de tratamento de água
ERAT	Estação de recalque de água tratada
FNUAP	Fundo de População das Nações Unidas
IDNDR	International Decade for Natural Disaster Reduction / Década Internacional de Redução de Desastres – UM
IDPH	Illinois Department of Public Health – Estados Unidos da América
INAPA	Instituto Nacional de Água Potable y Alcantarillado – República Dominicana
INDRHI	Instituto Nacional de Recursos Hidráulico – República Dominicana
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction – UN
LAPOÁ	Laboratório de Potabilização de Água – Santa Catarina- Brasil
MIN	Ministério da Integração Nacional – Brasil
OEA	Organização de Estados Americanos
OFDA	Office Foreign Disaster Assistance – Estados Unidos da América
OMS/WHO	Organização Mundial da Saúde / World Health Organization – UN
ONAMET	Oficina Nacional de Meteorologia – República Dominicana
OPAS/OPS	Organização Pan-Americana da Saúde / Organización Panamericana de la Salud – UN
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – UN
PUCMM	Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra – República Dominicana
SDC	Secretaria Nacional de Defesa Civil – Brasil
SEMARENA	Secretaria de Médio Ambiente e Recursos Naturales – República Dominicana
SESPAS	Secretaria de Salud Pública y Asistencia Social – República Dominicana
STP	Secretariado Técnico de la Presidencia – República Dominicana
UASD	Universidad Autónoma de Santo Domingo – República Dominicana
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UM	Unite Nation (Nações Unidas)
UNHCR/ACNUR	Unite Nation High Commission for Reffuge / Alto Comissõnado das Nações Unidas para Refugiados – UM
UNICEF	United Nations Children's Fund (Fundação das Nações Unidas para a Infância)
USEPA	Unite States Environmental Protect Agency – Estados Unidos da América
UT	Unidade de Turbidez

Lista de símbolos

$a_{n,s}$	Disponibilidade aceitável no nó n no estado s
FDD	Fração de Demanda Distribuída
FDQ	Fração de Qualidade Distribuída
FDV	Fração de Volume Distribuído
FDVn	Fração de Volume Distribuído no nó n no estado s
FDVv	Fração de Confiabilidade por Volume Distribuídos
F_L	Demanda no trecho L
F_n	Fator de Nó
F_q	Fator de qualidade
F_t	Fator de tempo
L	Trecho
L_{impL}	Linha Importante
L_{impL-v}	Linha Importante por vulnerabilidade
L_o	Longitude de Tubulação
M_w	Magnitude (Richter)
n	Nó de demanda
N	Número total de nó de consumo
Q_L	Vazão demandada na linha L
Q_{total}	Vazão total da rede
$q_{n,t}^{disp}$	Vazão disponível no tempo t no nó n
$q_{n,t}^{req}$	Vazão requerida no tempo t no nó n
RND	Gerador aleatório números
R_n	Fator de Confiabilidade do Nó
R_{nn}	Fator de volume para o nó n
R_{nw}	Confiabilidade da rede
R_v	Fator de Confiabilidade de Volume
S	Estado de operação (em falha ou não falha)
S_{iT}	Número de simulações
t	Instante de análises
tA	Tempo de acesso ao local afetado
tE	Tempo de espera antes de iniciar operação
tI	Tempo de identificação da avaria
tM	Tempo estimado de manutenção, tempo necessário para realizar a reabilitação
T_{mim}	Tempo medio de reabilitação
T_{max}	Tempo máximo de reabilitação
tO	Tempo de restauração da operação
t_{ototal}	Tempo ou período total de operação
tP	Tempo de obtenção dos componentes ou partes do mesmo
tR	Tempo de reabilitação
TR25	Período de retorno para 25 anos
TR50	Período de retorno para 50 anos
TR100	Período de retorno para 100 anos
TR200	Período de retorno para 200 anos

TR500	Período de retorno para 500 anos
t_{total}	Tempo total de reabilitação
$t_{\text{si},n}$	Total de duração de execução de simulação no nó n
U_{imp_L}	Importância de trecho por número de usuários
U_{ss}	Quantidade de usuários sem serviço
U_{total}	Total dos usuários
V_L	Vazão no trecho
$V_{n,t}^{\text{disp}}$	Volume disponível no nó n no instante t
$V_{n,t}^{\text{req}}$	Volume requerido no nó n no instante t
Vul_{No}	Vulnerabilidade em nó de consumo
Vul_{Sist}	Vulnerabilidade no sistema
WB_L	Importância relativa da linha

SUMÁRIO

	DEDICATORIA	vii
	AGRADECIMENTOS	viii
	RESUMO	ix
	ABSTRACT	x
	Lista de figuras	xi
	Lista de tabelas	xv
	Lista de siglas	xvii
	Lista de símbolos	xviii
	SUMÁRIO	xx
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Estrutura do trabalho	5
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Objetivo geral	5
1.3.2	Objetivos específicos	6
1.4	Hipóteses	6
1.5	Limitações da pesquisa	6
2	REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1	Definições e conceitos relacionados com emergências e desastres	7
2.2	Danos provocados por inundações em sistemas de abastecimento de água	18
2.3	Avaliação da vulnerabilidade em sistemas de abastecimento de água	19
2.3.1	Componentes fundamentais ou importantes em sistemas de água	21
2.3.2	Confiabilidade ou vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água	23
2.3.3	Tempo de duração de falhas e emergências	27
2.3.4	Determinação da vulnerabilidade com simulações hidráulicas com EPANET 2.0	28
2.4	Experiências no abastecimento de água em condições de emergência	29
2.5	Aspectos legais para gestão de emergências em sistemas de água	33
3	METODOLOGIA	35
3.1	Descrição do entorno do sistema de abastecimento de água	35
3.1.1	Descrição do sistema de abastecimento de água	36
3.1.2	Descrição de perigos na área do sistema de abastecimento de água	36
3.1.3	Estabelecimento de componentes fundamentais	37
3.1.4	Identificação de perigos significativos para o sistema	38
3.2	Avaliação de vulnerabilidade no sistema de abastecimento de água	38
3.2.1	Exposição e danos a componentes fundamentais	39
3.2.2	Determinação do tempo de reabilitação de componentes	40
3.2.3	Análise da vulnerabilidade do sistema por cenários prováveis	40
3.3	Análise de alternativas de abastecimento em situações de emergência	42
3.4	Programação do aplicativo para determinar a vulnerabilidade hidráulica	43

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Descrição do entorno do sistema	45
4.1.1	Descrição do sistema de água de Santiago de los Caballeros	46
4.1.2	Relação entre perigos e sistemas de água na República Dominicana	53
4.1.3	Estabelecimento de componentes fundamentais	58
4.1.4	Identificação de perigos significativos para o sistema de água do setor La Zurza	65
4.2	Avaliação da vulnerabilidade no sistema de água do setor La Zurza	72
4.2.1	Determinação do tempo de reabilitação de componentes	73
4.2.2	Análise da vulnerabilidade do sistema por cenários prováveis	79
4.2.2.1	Comportamento do sistema para interrupção total de trechos	79
4.2.2.2	Comportamento do sistema em condições de falhas da ERAT	87
4.3	Análise de alternativas de abastecimento de água	99
4.3.1	Análise do abastecimento com o trecho L-8 interrompido e ERAT em falha	99
4.3.2	Análise de abastecimento com os trechos L-24 e L-22 interrompidos	103
4.3.3	Análise do abastecimento com o trecho L-50 interrompido e ERAT em falha	105
5	CONCLUSÕES	109
6	RECOMENDAÇÕES	112
7	REFERÊNCIAS	113
8	APÊNDICES	124
9	ANEXOS	147

1 INTRODUÇÃO

Agua, que estas en los Cielos como en la Tierra

Joan Manuel Serrat

As cidades são conglomerados humanos compostos de redes físicas e virtuais que intercomunicam as diversas partes que as constituem, conformando o sistema social mais complexo que se conhece. A capacidade da cidade de sobreviver depende de fatores internos e externos. Segundo Diamond (2005), as sociedades atuais podem autodestruir-se quando se altera algum dos seguintes fatores: a) desmatamento; b) destruição de hábitat; c) problemas com o solo (erosão, salinização e perda de fertilidade); d) **disponibilidade de água**; e) sobre-exploração de recursos; f) introdução de espécies competidoras com espécies nativas; g) aumento do impacto ambiental *per capita*; h) **mudanças climáticas**; i) acúmulo de produtos contaminantes; j) carência de energia, e; k) utilização total da capacidade fotossintética do planeta. O impacto sobre qualquer dos fatores indicados tem o potencial de provocar uma emergência ambiental, social ou econômica que, dependendo da vulnerabilidade ambiental e da capacidade de recuperação da comunidade (resiliência), pode provocar desastres ou como adverte Diamond (2005), colapso social.

Rifkin (2002), por outro lado, considera que no futuro a sociedade vai sofrer a mais importante transformação quando confluirão a produção individualizada de energia e a descentralização dos meios de comunicação. Isto está fundamentado principalmente na possibilidade de produzir energia elétrica e química a partir de recursos renováveis e da ampla independência que poderiam gerar as tecnologias de telecomunicação. No entanto, essa tese é incompleta, porque não considera a quase obrigatória necessidade de que o processamento e o consumo de certos recursos devem estar concentrados.

Nas cidades o recurso mais importante que precisa produção (ou transformação) centralizada é a água potável. Em grandes cidades a água é sem dúvida um dos principais recursos econômicos e sua distribuição depende de um sistema essencial para a sociedade. Portanto, a cidade, ainda que possa ser mais autônoma, energeticamente falando, do ponto de vista da distribuição de água, seguirá dependendo de uma produção centralizada.

O anterior é importante porque: a água não tem substituto, como têm os recursos energéticos; as fontes de água, especialmente as de fácil potabilização, tendem a ser mais escassas; e a produção e distribuição descentralizada poderiam ser mais custosas e/ou mais inseguras. Se às condições anteriores é somada a vulnerabilidade dos sistemas de água no que se refere a danos provocados por perigos naturais e humanos, então o cenário em que se desenvolvem ou se desenvolverão as cidades não será tão favorável como sugere Rifkin (2002) e sim como visualiza Diamond (2005).

Os sistemas de abastecimento de água por sua extensão e configuração podem sofrer problemas técnicos importantes e também podem ser afetados por condições ambientais imprevisíveis, como os desastres. Os levantamentos de perdas econômicas provocadas por

desastres naturais demonstram que estes sistemas de abastecimento de água estão entre as infra-estruturas mais suscetíveis aos impactos de fenômenos naturais. Além dos prejuízos econômicos, a falta de água pós-desastre aumenta os riscos de surtos de doenças. Em uma situação de emergência, provocada por fenômenos de origem natural ou antropogênica, é imprescindível garantir água potável em quantidade e qualidade adequadas. Por esta razão, na gestão de abastecimento de água potável é preciso considerar as diferentes situações que podem provocar interrupções dos serviços.

Para enfrentar uma emergência em que exista falta de água, é necessário avaliar as condições ambientais favoráveis e desfavoráveis, as características das infra-estruturas existentes na área em estudo e as tecnologias disponíveis que permitam resolver o problema no menor tempo e custo possível. Em um sistema de água, deve-se estudar as seguintes vulnerabilidades: social, de infra-estrutura, de administração e de operação (OMS/OPS, 1993; USEPA, 2004).

Ainda que seja preciso projetar infra-estruturas resistentes, também é obrigatório planejar ações de respostas frente a eventualidades ou perigos latentes, considerando os riscos que estes representam. Assim, é necessário reduzir a vulnerabilidade física ou técnica das infra-estruturas de água potável e ao mesmo tempo estabelecer alternativas emergenciais quando o sistema for afetado parcial ou totalmente.

As ações de contingências dependem das condições físicas e hidráulicas e da vazão remanescente que o sistema possa fornecer depois do impacto de um fenômeno. Desta forma, se for possível prever a vulnerabilidade do sistema, além de determinar a vazão, a pressão e a qualidade da água entregue aos usuários, então será possível prever também os recursos e ações que permitirão satisfazer a demanda em uma situação de emergência.

Na América Latina, as instituições que prestam serviços de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública têm adquirido experiências na assistência em situações de emergência bem como promovem ações preparatórias para intervenções em casos de desastres. Existem algumas experiências documentadas sobre as alternativas de abastecimento de água pós-desastres e sobre a realização de planos para situações emergenciais. Mas, por razões culturais e econômicas, não é comum estudar os desastres com o intuito de gerar conhecimentos e promover soluções.

1.1 Justificativa

Em situações de emergências, a água é solicitada de forma imediata pelas pessoas afetadas e pelas instituições de atendimento à população em casos de desastres. Esta pesquisa é motivada na necessidade de fornecer água em casos em que o sistema de abastecimento seja afetado por um perigo ambiental, provocando uma emergência.

Os trabalhos que avaliam a vulnerabilidade dos sistemas de água, em geral, são baseados nos estudos da resistência dos componentes que o formam. O ponto fundamental tem sido determinar a capacidade física dos componentes em suportar as forças externas geradas por eventos naturais. Este enfoque, ainda que necessário, negligencia aspectos importantes de um sistema de água, como a configuração. A vulnerabilidade de um sistema

de água tem relação com a resistência de um componente, mas depende totalmente da capacidade deste de absorver o impacto.

Na projeção de sistemas de abastecimento de água, se utiliza o conceito de confiabilidade como uma medida da capacidade do sistema em diferentes condições de falhas em um tempo determinado. São reconhecidos dois tipos de confiabilidades, a mecânica e a hidráulica. Se a confiabilidade mede a probabilidade de abastecimento, então a vulnerabilidade é o complemento da confiabilidade. De igual forma se pode identificar a vulnerabilidade mecânica e a vulnerabilidade hidráulica.

Os aportes das teorias de confiabilidade são recursos pouco utilizados no estudo da vulnerabilidade de sistemas de distribuição de água, e não têm sido utilizados para avaliar a possibilidade de satisfazer a demanda de água. Com estes recursos se consegue avaliar o desempenho do sistema em casos de emergência e, o mais importante, se analisa o comportamento da vazão disponível em nós específicos. Com isto é fácil programar ações de contingências, pois, antes de ocorrer um evento, se conhecerão os pontos do sistema que necessitarão de maior atenção.

Poucos países em desenvolvimento têm registro de danos provocados por perigos ambientais nos sistemas de água e, além disso, é comum a baixa capacidade técnica para resolver de maneira satisfatória os problemas imprevisíveis, que vêm associados a perigos ambientais. Estas duas condições, a falta de registros e o despreparo ante os danos prováveis em um sistema de água são condições comuns em países em desenvolvimento. Nestes países é pouco freqüente encontrar locais com bom fornecimento de água e ao mesmo tempo com registros da atuação em casos de desastres. As condições anteriores estão relacionadas com a capacidade administrativa do operador do serviço de distribuição de água.

Os sistemas de tratamento e distribuição de água, assim como os sistemas de distribuição de energia, serviço de saúde e outros constituem o que se tem denominado linhas vitais (AGARDY, 2001; ALA, 2002a; ALA, 2002b; REED et al., 2006). Segundo OMS/OPS (2003b), entre as características dos sistemas de linhas vitais estão: a sua importância durante situações normais e emergenciais, e a grande extensão que ocupam.

Pelas características das linhas vitais, estas tendem a ser vulneráveis a perigos naturais e antropogênicos. Devido à importância destas infra-estruturas na atualidade, diversas pesquisas (REED et al., 2006; ALA, 2005; HOSHIYA et al., 2004; ALA, 2002a; BURNS et al., 2002; ALA, 2001a; ALA, 2001b; GOULTER et al., 2000) estudam a vulnerabilidade destas ante a perigos ambientais.

Em zona urbana, as linhas vitais são importantes em termos econômicos e de saneamento, uma vez que contribuem com o setor produtivo e de saúde dos habitantes das cidades. O anterior deve ser considerado, pois se tem verificado a tendência mundial ao aumento de zonas urbanas, especialmente em países em desenvolvimento. FNUAP (2001) demonstra que há um crescimento da população urbana concentrada em grandes cidades, Mansilla (2006) e UN/PNUD (2004) mostram que a medida que aumenta o tamanho e a concentração da população em centros urbanos aumenta a vulnerabilidade.

Nos países em desenvolvimento, o fenômeno do crescimento das cidades tende a dar-se de maneira desorganizada (FNUAP, 2001), o que aumenta os riscos de desastres (UN/PNUD, 2004). A desorganização das cidades não desenvolvidas resultam na incapacidade de satisfazer as demandas de serviços vitais. Com frequência ocorrem situações de emergência provocadas pela ineficiência dos operadores dos sistemas ou pela vulnerabilidade do sistema. Em geral, nestes países coexistem a vulnerabilidade socioeconômica, a vulnerabilidade ambiental e a técnica. Diversos estudos demonstram uma relação entre a pobreza e os danos provocados por fenômenos naturais num país (LAVELL, 2000a; MANSILLA, 2006; UITTO, 1998; UN/ISDR, 2002; UN/PNUD, 2004).

A vulnerabilidade das cidades está relacionada à vulnerabilidade dos complexos sistemas que possibilitam o transporte de recursos até os centros de distribuição. Portanto, um dos pontos para reduzir a vulnerabilidade urbana é reduzir a vulnerabilidade nas linhas vitais. Em países em desenvolvimento, são poucas as pesquisas que estudam a redução da vulnerabilidade de sistemas vitais.

No caso específico de sistema de abastecimento de água ou sistemas de água, no que se refere à avaliação de vulnerabilidade, se faz necessário estudar a capacidade que essas linhas vitais têm de satisfazer uma demanda mínima, de sobrevivência, em caso de emergência. A avaliação da vulnerabilidade do sistema de água, ante a perigos ambientais, tem como objetivo: a) garantir o mínimo recomendável de água para a população; b) reduzir o tempo de reabilitação do serviço e; c) reduzir as perdas econômicas.

Esta pesquisa desenvolve e testa um algoritmo para avaliar a vulnerabilidade de sistemas de água (ou vulnerabilidade hidráulica) e estudar alternativas para aumentar a confiabilidade pós-desastre e assim garantir água em uma situação de emergência. A metodologia permite avaliar o sistema de água, em uma cidade com perigos ambientais.

Para determinar a vulnerabilidade, são identificados cenários de danos em componentes, segundo a sua vulnerabilidade. A partir desses cenários, são geradas simulações hidráulicas através do software EPANET 2.0. Os resultados obtidos determinam a vulnerabilidade hidráulica do sistema para os nós de demanda e para o sistema. A vulnerabilidade é avaliada utilizando-se diferentes alternativas de manobra de componentes que permitam satisfazer a demanda em setores prioritários. Um setor é prioritário quando fornece água em um local onde é imprescindível por razões sociais ou de saúde. Este é o caso de hospitais, cadeias, instituições governamentais, entre outros.

Para testar a metodologia de avaliação de vulnerabilidade hidráulica em sistemas de abastecimento de água, foi selecionado um município com um serviço de distribuição contínuo e com vulnerabilidade administrativa e operativa desprezível. Dessa forma, a pesquisa pode focar a atenção na vulnerabilidade física dos componentes do sistema no que se refere a perigos ambientais da área de estudo.

A área de estudo selecionada para a pesquisa foi o município de Santiago de los Caballeros, na República Dominicana. A instituição que opera este sistema de abastecimento de água potável tem a capacidade operativa e administrativa para solucionar problemas importantes, ou seja, que a vulnerabilidade administrativa seja baixa.

O município está localizado em uma zona com riscos ambientais altos. Entre os perigos que afetam esta zona geográfica, destacam-se principalmente os sismos e as inundações. Os sismos estão relacionados a falhas geológicas ativas, agravado com um tipo de solo de origem aluvial. As inundações estão relacionadas à presença do rio Yaque del Norte e à topografia da cidade.

1.2 Estrutura do trabalho

Este estudo foi estruturado segundo à Associação Brasileira de Normas Técnicas, a partir da norma NBR 14724/2005. Na introdução encontram-se a justificativa da pesquisa, os objetivos que guiam o trabalho, as hipóteses e as limitações da metodologia proposta.

No capítulo 2 realiza-se a revisão da literatura no que concerne à avaliação de vulnerabilidade e ao impacto de perigos ambientais em sistemas de abastecimento de água. A revisão inclui pesquisas e relatórios sobre experiências na gestão de emergências em sistemas de abastecimento de água.

No capítulo 3 descrevem-se de maneira introdutória a área de estudo e os aspectos legais que regulam a gestão de abastecimento de água e os riscos ambientais. A descrição da área de estudo, nesta parte do trabalho, corresponde ao nível nacional e municipal. Este ponto não pode ser confundido com a descrição do entorno do sistema, incluída como parte da metodologia.

O capítulo 4 explica a metodologia utilizada na pesquisa, incluindo aspectos para programar o aplicativo que serve de interface na realização das simulações hidráulicas. Os pontos discutidos neste espaço são: a descrição do entorno do sistema, onde se definem as informações necessárias para estabelecer os prováveis danos que este pode sofrer; a avaliação da vulnerabilidade no sistema de abastecimento de água, onde é realizada a determinação de componentes expostos, determinação do tempo de reabilitação, e análises de vulnerabilidade; a análise de alternativas para abastecimento de água em situações de emergências; e a programação do aplicativo para determinar a vulnerabilidade hidráulica.

Os resultados e as discussões são tratados no capítulo 5, avaliam-se os cenários estabelecidos como prioritários, segundo os danos que podem sofrer os componentes importantes e/ou expostos a inundações.

Por último, os capítulos 6 e 7 discutem as conclusões e recomendações da pesquisa, considerando as condições específicas do sistema de abastecimento de água avaliado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa visa **desenvolver e testar uma metodologia para determinar a vulnerabilidade hidráulica de sistemas de abastecimento de água ante danos provocados por inundações e considerando a possibilidade de abastecimento emergencial.** A avaliação permite estabelecer os componentes importantes, determinar sua vulnerabilidade, sua influência no desempenho do sistema e a capacidade de satisfazer uma dotação mínima.

1.3.2 Objetivos específicos

- *Determinar prováveis danos provocados por inundações a componentes de sistema de abastecimento de água;*
- *Determinar a importância dos trechos da rede segundo a vulnerabilidade hidráulica provocada no sistema;*
- *Avaliar a vulnerabilidade hidráulica considerando danos nos trechos expostos e nos trechos importantes;*
- *Avaliar a influência de manobras ou gestão da demanda para reduzir a vulnerabilidade em nós importantes.*

1.4 Hipóteses

- *A vulnerabilidade hidráulica permite estabelecer os trechos mais importantes para o desempenho adequado do sistema de abastecimento de água;*
- *A interrupção de trechos expostos a inundações provoca falta de água em nós importantes para o sistema;*
- *Existem alternativas de gestão do sistema que permitem satisfazer a demanda mínima em casos de interrupções do serviço de água;*
- *A aplicação da metodologia de análises de vulnerabilidade hidráulica permite um avanço na gestão de sistemas de abastecimento de água em casos de emergências.*

1.5 Limitações da pesquisa

Na gestão de riscos e desastres são consideradas três fases: a) antes do impacto, que abrange aspectos de prevenção e capacitação; b) durante o impacto, onde são realizadas ações de socorro e prevenção de danos, dependendo das características do perigo; e c) depois do impacto, onde se realizam ações de socorro, reconstrução e implementação de medidas de capacitação para reduzir riscos.

No caso específico do abastecimento de água, os prestadores de serviço geralmente não são envolvidos nas fases antes e durante o desastre, e a prestação de serviços à população pós-impacto tende a ser desorganizada. Esta pesquisa está limitada à fase antes do impacto, assumindo danos prováveis e avaliando o desempenho do sistema no pós-impacto, para satisfazer a vazão requerida.

O sistema de água estudado foi limitado a um subsistema que abastece o setor com maior quantidade de componentes expostos. Foi considerado que o subsistema encontra-se calibrado hidráulicamente e não foram consideradas as válvulas existentes no sistema. Na avaliação de vulnerabilidade não foi trabalhado o aspecto de qualidade de água em condições de emergências.

Também, não foi considerada a calibração do sistema em condições de interrupção de trechos, o que deve ser avaliado em estado de falha do sistema, para ajustar o modelo hidráulico com o comportamento real. Para realizar a pesquisa considera-se que o modelo hidráulico da rede em estado de falha está calibrado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Definições e conceitos relacionados com emergências e desastres

As emergências e os desastres são fenômenos que vêm sendo estudados de forma sistemática cada vez com maior atenção. Isto se deve ao grande número de mortes que causam e aos danos materiais e financeiros que provocam. Os perigos ambientais que provocam desastres apresentam diversas origens e impactam de diferentes maneiras os sistemas humanos. Apresenta-se na seqüência uma discussão acerca dos principais conceitos relacionados ao tema.

Segundo o MIN/SDC (2000), na Política Brasileira de Defesa Civil, o **risco** é a “medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das conseqüências previsíveis” ou também a “relação existente entre a probabilidade de que uma ameaça de evento adverso ou acidente determinado se concretize, com o grau de vulnerabilidade do sistema receptor a seus efeitos”.

A lei nº 147/2002, que estabelece a Política Nacional de Gestão de Riscos da República Dominicana, define o risco como “a probabilidade de que se apresentem desfavoráveis conseqüências econômicas, sociais ou ambientais em um local particular e durante um tempo de exposição determinado” (DOMINICANA, 2002).

Em geral, o risco é associado à probabilidade de que um perigo afete uma determinada área. De acordo com UN/ISDR (2002), o risco é definido como:

A probabilidade de sofrer conseqüências prejudiciais ou perdas (por mortes, por lesões pessoais, de propriedade, da qualidade de vida, alteração das atividades econômicas e danos ambientais) é o resultado da interação entre perigos naturais ou induzidos por ação humana e as condições de vulnerabilidade e capacidade.

Segundo a definição de UN/ISDR (2002), o risco é diretamente proporcional ao perigo, e a vulnerabilidade é inversamente proporcional à capacidade da sociedade. As definições de riscos coincidem em considerá-lo uma probabilidade, comumente relacionado ao perigo e à vulnerabilidade, sendo que esta última inclui a capacidade de resposta da comunidade.

A UN/PNUD (2004) introduz na definição de risco o conceito de **exposição física** (ou simplesmente exposição), que indica a quantidade de entes físicos localizados na zona onde existe o perigo e sua relação com a freqüência em que ocorrem os eventos. Segundo a OEA/OFDA (1999), a exposição está relacionada com o nível de interação entre o perigo e o elemento em risco. O parâmetro físico mais simples para medir a exposição é a distância entre a fonte de perigo e o componente em estudo.

A exposição é um conceito vinculado à localização do componente com relação a um perigo determinado. Em sentido geral, a exposição abrange as características ambientais de uma área determinada e as condições físicas de um componente, considerando aspectos de localização e qualidades construtivas.

Na avaliação do abastecimento de água ante um determinado perigo, o risco é a probabilidade de que o serviço de água seja interrompido, como consequência da combinação de um perigo, da vulnerabilidade de componentes/sistema e da exposição.

Quanto ao conceito de **perigo**, ele define o fenômeno que provoca desastres. O perigo é um agente externo, que tem o potencial de produzir instabilidade e afetar o desempenho dos componentes do sistema.

Um sinônimo de perigo, freqüentemente utilizado, é o de **ameaça**. Alguns estudos diferenciam os dois termos, assim, ALA (2005) considera os “perigos naturais” e as “ameaças humanas”, usando ameaça para referir-se a acidentes tecnológicos ou atentados. No entanto, o mais comum é considerar os termos como sinônimo.

UN/PNUD (2004) define ameaça natural como o processo ou fenômeno natural que se produz na biosfera e tem o poder de provocar danos, podendo ser modificado por intervenção humana. A modificação humana neste caso não está relacionada de maneira direta à alteração da energia do fenômeno, podendo sem influenciar indiretamente, como é o caso das mudanças climáticas.

O MIN/SDC (2000) define ameaça como a “estimativa de ocorrência e magnitude de um evento adverso, expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento e da provável magnitude de sua manifestação”. Neste caso a definição de ameaça tem semelhança com a de risco.

A Defesa Civil da República Dominicana também utiliza a palavra ameaça definindo-a como o perigo latente associado a um fenômeno físico de origem natural, tecnológico ou provocado pelo ser humano, que pode manifestar-se em um local específico e em um tempo determinado, produzindo efeitos adversos nas pessoas, nos bens, nos serviços e no ambiente. (DOMINICANA, 2002).

O perigo está vinculado a um fenômeno, assim se consideram, perigos hidrometeorológicos, geológicos, sociais, tecnológicos, entre outros. Gares et al. (1994) propuseram classificar os perigos como diretos ou primários e indiretos ou secundários. Um perigo primário é o fenômeno que contém a energia ou gera a força inicial. Perigo secundário, por sua vez, é consequência do impacto de um perigo primário e pode estar determinado pelas condições ambientais (especialmente as geomorfológicas) predominantes no momento do impacto do perigo primário.

Os perigos hidrometeorológicos e geológicos geralmente podem ser considerados primários, iniciadores ou disparadores de desastres (GARES et al., 1994; ALCANTARA-AYALA, 2002). Os perigos hidrometeorológicos são procesos ou fenômenos naturais de origem atmosférica, hidrológica ou oceânicas (UN/ISDR, 2002), que provocam excesso ou déficit de água e/ou ventos (seca, tempestade, ciclone-furacão, tornados, trombas de água), ou por temperatura extremas (onda de calor ou frio). Os perigos geológicos são provocados pela atividade tectônica da terra (terremotos, vulcões, maremotos/tsunamis) (ALCANTARA-AYALA, 2002; CASTRO et al., 2003).

Os perigos biológicos são procesos orgânicos autônomos –micro e macroorganismos– (UN/ISDR, 2002) com capacidade de infectar ou intoxicar seres vivos ou infestar o ambiente, provocando incapacidade e mortes em humanos, ou perdas materiais. Os perigos biológicos podem ser primários quando dependem de condições naturais emergentes; secundários, aqueles produzidos por degradação ambiental ou condições endêmicas exacerbadas por desastres, como por exemplo os surtos de doenças entéricas após um desastre hidrometeorológico.

Os perigos geomorfológicos podem ter componentes primários, mas geralmente são considerados como uma consequência de outros perigos, entre eles têm-se: a inundação secundária, movimentos ou corrida de massa (deslizamentos, fluxos de detritos, etc.), erosão fluvial, erosão eólica, subsidência e outras (GARES et al., 1994; CASTRO et al., 2003).

Por outro lado, Lavell (2000b) identifica os perigos pseudonaturais ou socionaturais, como aqueles que dependem de processos sociais e que transformam o ambiente natural, provocando perigo ou gerando vulnerabilidade ambiental. Estes perigos são socialmente induzidos e em cidades têm uma contribuição no aumento dos desastres, como exemplo têm-se: a inundação provocada por desmatamento da bacia hidrográfica ou por drenagem inadequada em zona urbana; depressão de aquífero por sobre-exploração; erosão e desertificação, por uso inadequado do solo, entre outros.

ALA (2005) identifica os perigos naturais como locais ou regionais. O perigo local pode ser caracterizado em mapa microzonal e por meio de trabalho de campo, como por exemplo: inundação ribeirinha, deslizamento, ruptura de falha superficial, liquefação, assentamento de solo. O perigo regional pode afetar uma grande área e ser representado em mapas de escala municipal, estadual ou nacional, é o caso de sismo, vento severo, inundação, entre outros.

Para fins desta pesquisa, é considerado que perigo e ameaça são sinônimos, mas se preferiu a utilização da palavra perigo, definindo como sendo qualquer fenômeno natural ou de origem humana, com energia suficiente para provocar danos em sistemas humanos ou em ecossistemas. A Figura 1 mostra o esquema de atuação de um perigo ambiental ou tecnológico sobre um determinado sistema. Os perigos internos englobam as forças que são próprias a uma instalação dada, como, o transporte de líquido sob pressão. Os perigos externos são forças que não pertencem ao sistema e que podem afetá-lo negativamente. Os acontecimentos intermediários incluem condições de segurança no entorno e no sistema que possibilitam a ocorrência do evento (exemplo: localização em uma área de risco ou degradação ambiental). Os fatores de propagação incluem erros humanos, falha nos equipamentos de segurança, entre outros. Os fatores de mitigação correspondem a recursos de controle e à capacidade humana (STRICOFF, 1998).

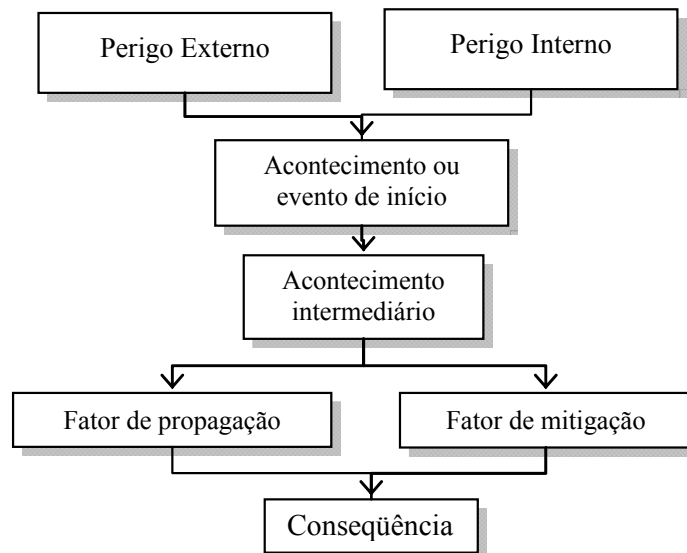


Figura 1 - Diagrama de atuação de perigos ambientais
 Fonte: adaptado de STRICOFF, 1998

A **vulnerabilidade** é a outra variável comum nas definições de risco. Na gestão de risco tem a maior importância, porque toda ação realizada para reduzir o risco em um sistema instalado, está primeiramente encaminhada a reduzir a vulnerabilidade. Segundo o MIN/SDC (2000), a vulnerabilidade é a “condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis”. A lei dominicana nº 147/2002 considera que vulnerabilidade é “a predisposição ou suscetibilidade física, econômica, política ou social que tem uma comunidade de ser afetada ou de sofrer danos em casos em que um fenômeno desestabilizador se apresente, seja de origem natural ou provocado pelo ser humano”. Ambos os documentos consideram que a vulnerabilidade depende das condições que envolvem o entorno, sendo ao mesmo tempo uma característica do sistema, que depende de condições internas.

A OMS/OPS (1998) define vulnerabilidade em sistemas de abastecimento de água como a suscetibilidade à perda de um elemento ou conjunto de elementos, como resultado da ocorrência de um desastre. Segundo Wisner (2001) a vulnerabilidade está relacionada às questões: “quem” é vulnerável e a “quê”. A vulnerabilidade está condicionada à ocorrência do evento, ainda que implicitamente seja considerado o estado de resistência do elemento exposto, ainda que seja uma característica do componente e do sistema, está ligada ao potencial destrutivo das forças internas ou externas.

O conceito de vulnerabilidade nasce na engenharia para relacionar níveis de resistência das estruturas a fenômenos ambientais (UN/ISDR, 2002). De acordo com a OEA/OFDA (1999), a vulnerabilidade é a resistência do elemento estrutural, e esta resistência depende de fatores como a vida útil, qualidade do material, tipo e tecnologia de construção, entre outros. Então, poderia definir-se vulnerabilidade mecânica, como o inverso à resistência.

Toro (2002), referindo-se a sistemas de abastecimento de água, define vulnerabilidade como "nível relativo de sensibilidade que tem a estabilidade do sistema avaliado em relação a

um risco determinado". Esse autor utiliza a palavra risco, mas o que transcende na definição é o conceito de perigo. Assim, a vulnerabilidade representa uma medida relativa do impacto que um possível perigo provocará no funcionamento de um sistema.

Segundo a CEPAL/BM (2003), a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente a perigos ambientais depende principalmente da localização dos componentes, da qualidade do projeto de engenharia, da qualidade da construção (tecnologia, equipamentos e materiais utilizados) e da qualidade da operação e manutenção das obras. A vulnerabilidade depende, portanto, de características internas do sistema e das ações para manter ou adequar os componentes às condições externas.

A vulnerabilidade também é denominada como fragilidade do componente. Jacobson (2004a) define fragilidade como a probabilidade condicional de um componente ou um sistema sofrer danos, dado a intensidade de um determinado perigo. Esta definição tem semelhança com a visão da vulnerabilidade como função da resistência do componente. Dessa forma, se o limite de resistência de um componente é superado pelas forças do perigo, então se produzirão danos.

Em geral, existe consenso quanto ao conceito de vulnerabilidade, sendo comum considerar que em um sistema existem diferentes tipos ou níveis de vulnerabilidades, que interagindo determinam a vulnerabilidade global. Em sistemas de abastecimento de água, ela deve ser medida a partir da vulnerabilidade mecânica de determinados componentes e da vulnerabilidade hidráulica como medida do desempenho do sistema quando componentes falham.

Segundo Goulter et al. (2000) a vulnerabilidade a falhas mecânicas em um sistema de água é a magnitude de interrupções ou a redução no abastecimento de água como resultado de falhas. O desempenho de sistemas de abastecimento de água comumente é determinado com o índice denominado **confiabilidade**, que é a probabilidade de que, dado um determinado evento, o serviço não seja afetado nesse período (TUNG et al., 1989). Assim, a confiabilidade é o complemento da vulnerabilidade.

A confiabilidade de modo geral é classificada em mecânica e hidráulica (MISIRDAL, 2003; GOULTER et al., 2000; AWUMAN et al., 1991; BAO; MAYS, 1990). A confiabilidade mecânica depende da possibilidade de um componente falhar, ou seja, da resistência do componente. A confiabilidade hidráulica, é função do comportamento da pressão e da vazão na rede quando se apresentam danos em um ou vários componentes.

A confiabilidade e vulnerabilidade têm sido utilizadas como índices na gestão de recursos hídricos em cenários de emergências. Neste caso a vulnerabilidade é definida como a probabilidade de falha no sistema ou máxima duração de falhas, e a confiabilidade é a probabilidade de que o sistema esteja em estado satisfatório de funcionamento (FOWLER; KILSBY; O'CONNELL, 2003; HASHIMOTO, 1982). Faria et al. (2005) e Srdjevic, Medeiros e La Laina (2003) consideram a vulnerabilidade como complemento da relação entre a vazão disponível e a vazão requerida, e a confiabilidade é a probabilidade de fornecer a demanda necessária no tempo de análises.

Nesta pesquisa o termo vulnerabilidade mecânica refere-se à resistência de um determinado componente frente a um perigo específico. São sinônimos de vulnerabilidade mecânica os seguintes termos: vulnerabilidade física, fragilidade e resistência mecânica.

O termo vulnerabilidade hidráulica refere-se à capacidade do sistema de satisfazer a demanda, caso algum ou alguns componentes falhem. Os seguintes nomes têm relação com a vulnerabilidade hidráulica: confiabilidade hidráulica, confiabilidade do sistema, confiabilidade de rede, vulnerabilidade da rede e vulnerabilidade do sistema.

Apesar da avaliação da confiabilidade incluir situações de emergências (como a falta de trechos, avaria de bombas ou sobredemanda), este índice é mais utilizado para fins de projetos, não para condições de emergência. No entanto, existem alguns estudos voltados para avaliar a confiabilidade de sistemas em casos de emergências, provocadas por perigos ambientais (TORRES-VERA; CANAS, 2003; REED, 2006; JACOBSON, 2004a; 2004b; 2003; SELÇUK; YÜCEMEN, 2000).

A confiabilidade é avaliada a partir de condições de falha em tempos normais de reabilitação de redes e equipamentos. Mas em uma emergência, a disponibilidade ou a demanda de água pode mudar por um longo período, ou os tempos de reabilitação de componentes podem ser alterados. No item 2.3.2 é apresentada em detalhe a determinação da vulnerabilidade hidráulica do sistema.

No tocante às definições de **emergência**, estas tendem a ter um caráter operativo, que depende da visão e objetivos das instituições que a criam. No Brasil, uma **Situação de Emergência** é o “reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal, provocada por desastre, causando danos suportáveis à comunidade afetada” (MIN/SDC, 2000). Já o **Estado de Calamidade Pública** é o “reconhecimento legal pelo poder público de situação anormal, provocada por desastre, causando sérios danos à comunidade afetada, inclusive à incolumidade ou à vida de seus integrantes” (MIN/SDC, 2000).

Segundo a lei dominicana nº 147/2002, uma emergência é:

O estado caracterizado pela alteração ou interrupção intensa das condições normais de funcionamento ou operação da sociedade, causada por um evento ou pela iminência do mesmo, que requer uma reação imediata do pessoal de maior nível de decisão e que gera a atenção ou preocupação das instituições do Estado, os meios de comunicação e da comunidade em geral.

ECHO (2005) reconhece dois tipos de emergências: agudas e crônicas. As emergências agudas resultam do impacto de perigos naturais ou artificiais de curso rápido, como inundações, terremotos, sabotagem, entre outros. As emergências crônicas ou prolongadas são provocadas por perigos de curso lento ou gradual, principalmente conflitos sociais, degradação ambiental e seca.

Wisner (2002) considera a **emergência** uma fase dentro de todo o complexo de um desastre, podendo aparecer antes, durante ou depois do impacto de um evento. Na lei nº 147/2002, da República Dominicana, também é reconhecido como emergência o período de preparação frente a um perigo previsível, sendo classificada como emergência o deslocamento

de pessoas de áreas vulneráveis. Na prevenção de desastres é possível considerar que emergência é a situação gerada pela iminência do impacto de um perigo, ou pré-impacto, e pelos danos provocados pela ação do perigo em uma comunidade determinada, ou pós-impacto.

No que se refere à emergência em sistema de abastecimento de água, esta é classificada a partir dos danos e alterações provocadas pelo impacto de um perigo. CMEOE/DEP (2001) considera que uma **emergência no abastecimento de água** é uma situação ou evento, natural ou antropogênico, que causa ou ameaça causar a interrupção do fornecimento de água. Os efeitos no sistema podem ser parciais ou totais, e podem requerer uma ação imediata para proteger a saúde pública. A fonte citada estabelece as seguintes categorias de emergências:

Nível I-Problema de rotina: incidente com interrupção menor na distribuição de água, que afeta 10% ou menos do sistema e se prevê a reabilitação ou solução dentro de 24 horas ou menos. Exemplo: ruptura de tubulação principal ou problemas mecânicos na estação de bombeamento.

Nível II-Emergência Menor/Alerta: interrupção do sistema de água que afeta 50% ou menos do sistema e estima-se que a reabilitação ou resolução não toma mais de 72 horas. Exemplo: detecção de coliformes totais em um local, problema mecânico maior na estação de bombeamento ou ETA, ou falha no fornecimento de produtos químicos.

Nível III-Emergência Maior: incidente com interrupção muito significativa do sistema de água que afeta mais do 50% do sistema e/ou se estima mais de 72 horas para reparar ou resolver o problema. Exemplo: ruptura em adutora ou tubulação principal, perda ou falha de estações de tratamento, perda da fonte (ruptura de represa, escassez de água, contaminação, etc.), detecção geral de coliformes, detecção de coliformes fecais ou *Escherichia coli* ou atos de sabotagem.

Nível IV-Desastre Natural: incidente comumente causado por um evento hidrometeorológico ou geológico, que interrompe o serviço de água, afetando mais de 50% do sistema e/ou requerendo mais de 7 dias para recuperar o serviço. O evento pode causar danos estruturais na ETA ou contaminar a fonte com esgoto não tratado ou substância perigosa, entre outras conseqüências.

Nível V-Desastre Nuclear/Ato de Terrorismo: incidente que envolve grande e incontrolada liberação de material ou composto radioativo dentro do ambiente e fonte de abastecimento de água; ou ato deliberado que afeta um sistema de água. No caso de desastre nuclear, fontes de água superficiais dentro de raio de aproximadamente 80 km do foco de emissão podem ser contaminadas imediatamente. Fontes de água subterrâneas podem permanecer seguras por um determinado período de tempo.

Uma emergência em sistema de abastecimento é qualquer evento que degrade a qualidade ou a quantidade de água fornecida aos consumidores (AGARDY, 2001). Esta definição abrange situações provocadas por condições extremas com danos extensos, como também os acontecimentos internos do sistema de água. Este autor considera dois tipos de emergência: menor e a maior. Uma **emergência menor** em um sistema de abastecimento de água é uma emergência normal (de rotina) ou localizada que afeta a poucos consumidores, como por exemplo, a ruptura de tubulação ou válvula, falta de energia por pouco tempo. Por outro lado, uma **emergência maior** é uma situação extraordinária que afeta uma grande parte ou todo o sistema, reduz a qualidade e a quantidade, colocando em risco a saúde e segurança da comunidade. Os desastres naturais tendem a provocar emergência maior.

Nesta classificação observa-se que diferentes condições podem afetar o abastecimento de água, provocando diversos níveis de danos. A emergência está determinada pela magnitude dos danos, a importância do componente afetado dentro do sistema e o tempo previsto para reabilitação. Na América Latina não foi encontrado uma classificação de emergência específica para sistemas de abastecimento de água.

A proposta de classificação de emergências de Agardy (2001) é ampla. Já na CMEOEA/DEP (2001) há um maior nível de detalhamento, observa-se que nos níveis II e III inserem-se as denominações de emergência menor e maior. Combinando as duas propostas, é possível consolidar uma classificação de emergência para sistemas de água, estabelecendo os níveis de emergência maior, média e menor.

Em uma emergência menor, a falha pode provocar uma vulnerabilidade hidráulica inferior ou igual a 10% e não requer assistência externa. Uma emergência menor refere-se à interrupção do serviço, provocada por uma ação preventiva para manutenção programada ou frente a um perigo iminente; ou também como resultado do impacto de um perigo ou uma falha importante no sistema.

A emergência média ocorre quando a vulnerabilidade hidráulica encontra-se entre 10-30%. A vulnerabilidade de 30% corresponde a uma confiabilidade hidráulica de 70%, que, para fins de projeto, é muito baixa para o funcionamento normal do sistema. Além disso, afeta em mais de 10% o abastecimento de água em um nó importante do sistema.

Em uma emergência maior, a situação ultrapassa a capacidade de resposta da localidade ou do sistema afetado e requer a intervenção externa. Neste tipo de emergência, a vulnerabilidade hidráulica é superior ou igual a 30% (ou confiabilidade inferior ou igual a 70%).

Um fator importante no estudo de emergências é a possibilidade de preparação, considerando um aviso iminente de um fenômeno previsível. Em sistema de água, existem experiências na administração do recurso ante a baixa ou alta precipitação, condições de reabilitação programadas e outras situações previsíveis. Agardy (2001) estabelece uma diferença entre a emergência provocada por perigos monitoráveis e os imprevisíveis. Por exemplo, nos furacões que são sazonais e existem mecanismos de monitoramento, a fase de emergência inicia-se com a alerta e aviso de iminência do impacto. No entanto, em um terremoto, pelo caráter imprevisível, as ações de emergência iniciam-se depois do impacto.

A Figura 2 foi produzida a partir das definições de emergências propostas por Agardy (2001), ECHO (2005) e pela CMEOE/DEP (2001). Esta classificação de emergência tem aplicabilidade operativa para sistema de abastecimento de água, considerando que a mesma pode ocorrer antes, durante e depois do impacto de um evento.

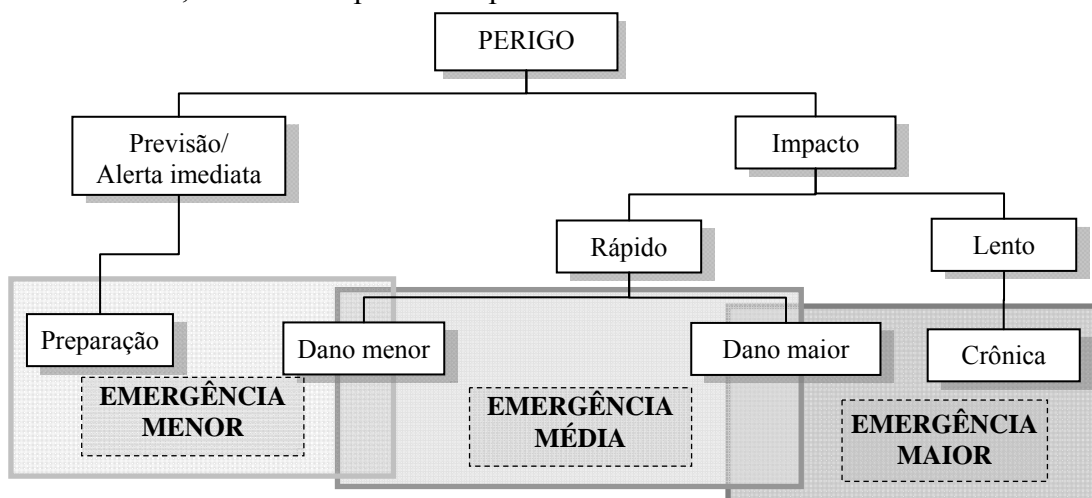


Figura 2 - Classificação de emergências, segundo impacto de perigos ambientais em sistemas de abastecimento de água

Fonte: adaptado a partir de AGARDY, 2001; ECHO, 2005; CMEOE/DEP, 2001

Sintetizando, uma emergência no abastecimento de água é provocada por um desvio extraordinário da condição normal do sistema, que precisará de um tempo superior a 24 horas para ser resolvido, permitindo o funcionamento normal do serviço. São diferenciados três níveis de emergência: na **emergência menor** a vulnerabilidade hidráulica é inferior ou igual a 10%, uma vulnerabilidade hidráulica de 10% corresponde a uma confiabilidade de 90%, que pode ser aceita como esperada em condições normais; a **emergência média** apresenta um nível de vulnerabilidade entre 10 e 30% e/ou uma vulnerabilidade hidráulica em um nó importante menor que 20%; e por último, a **emergência maior**, está determinada por uma vulnerabilidade hidráulica superior a 30% e/ou uma vulnerabilidade hidráulica em um nó importante maior ou igual que 20%.

Em relação direta com as emergências, estão as situações de desastres. Existe uma ampla base de estudo de desastres, diversos pontos de vistas têm abordado estes problemas, os quais serão avaliados a seguir. A Secretaria de Defesa Civil do Brasil define **desastre** como o “resultado de eventos adversos, naturais ou não, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e conseqüentes prejuízos econômicos e sociais” (MIN/SDC, 2000).

A lei dominicana nº 147/2002 define desastre como:

A situação ou processo social que se produz como resultado da ocorrência de um fenômeno de origem natural, tecnológico ou provocado pelo ser humano que, ao encontrar condições favoráveis de vulnerabilidade em uma comunidade, causam alterações intensas nas condições normais de funcionamento da sociedade, representadas pela perda de vida e saúde da população, a destruição ou perda de bens da coletividade e danos severos sobre o meio ambiente, requerendo uma resposta imediata das autoridades e da população para atender os afetados e restabelecer a normalidade.

Segundo UN/PNUD (2004), um **desastre natural** ocorre quando um fenômeno natural perigoso impacta uma sociedade vulnerável, provocando perdas e excedendo a capacidade dos afetados de enfrentar o problema. Os desastres dependem da exposição física, da vulnerabilidade e do perigo (UN/PNUD, 2004; UITTO, 1998). Lavell (2000a) sintetiza que um desastre é o resultado ou consequência de um perigo que impacta uma sociedade (ou sistema) vulnerável.

Para ECHO (2005), desastre é uma interrupção séria no funcionamento de uma comunidade ou sociedade que pode causar perdas de vida humana, de material, de recursos econômicos ou ambientais que excedem a capacidade da população ou da sociedade afetada de solucionar as crises com seus próprios recursos. Os desastres podem resultar de causas naturais, intervenções humanas que degradem o ambiente, de acidentes industriais ou tecnológicos, conflito ou guerra, instabilidade política crônica ou uma combinação destas.

A classificação de desastres é ampla, podendo variar segundo o interesse da área de estudo, comumente são reconhecidos três tipos básicos de desastres: a) desastres de origem natural; b) desastres de origem humana ou antropogênica (NOJI, 2000; WISNER, 2002; CASTRO et al. 2003) e; c) desastres mistos (CASTRO et al., 2003), sinérgicos natural-tecnológico (NOJI, 2000), ou social/pseudonatural (LAVELL, 2000a).

Os desastres naturais são os provocados totalmente ou fundamentalmente por um perigo de origem natural. Neste caso a energia contida em um perigo provoca danos importantes em sistemas de interesse para os seres humanos.

Os desastres antropogênicos tendem a ser mais conhecidos como tecnológicos, porque os principais eventos estão relacionados a grandes acidentes industriais ou de transporte, geralmente de evolução súbita, mas também podem ter evolução lenta (MANSILLA, 2000; MIN/SDC, 2000).

Os desastres mistos ou pseudonaturais são provocados por condições ou comportamentos que geram situações de alta vulnerabilidade em sistemas humanos e instabilidade socioambiental que, frente a um perigo, incrementa os danos. Exemplos de desastres pseudonaturais são: conflitos armados, degradação do ambiente, deslizamento massivo e desorganizado de pessoas, entre outros que se combinam com perigos naturais ou antropogênicos.

Outras classificações de desastres estão relacionadas com o tempo de desenvolvimento do fenômeno e com a seqüência de ocorrência em relação a um perigo primário. Assim, têm-se desastres súbitos ou rápidos; e desastres lentos ou graduais (NOJI, 2000; UN/PNUD, 2004; ECHO, 2005).

As definições anteriores reconhecem que um desastre é resultado ou conseqüência, que depende da vulnerabilidade e da intensidade do perigo. Ainda que existam as mesmas variáveis que na definição de risco, destaca-se que desastre é um fato, e risco é a probabilidade de que o evento aconteça.

Sintetizando, desastre é a conseqüência do impacto de um perigo sobre um sistema vulnerável. Emergência é uma situação que demanda atenção da sociedade, seja para prevenir ou para mitigar danos provocados por um perigo. Todo desastre resulta em emergência, mas nem toda emergência origina um desastre.

Por outro lado, **sistema** é definido como um conjunto de elementos ou componentes individuais interagindo para atingir um objetivo. Um sistema envolve diversos agentes que interagem dinamicamente, seguindo regras determinadas, mas sem perceber qualquer instrução externa para gerar no nível superior um comportamento complexo organizado (JOHNSON, 2003). Aracil (1997) considera que um sistema é um objeto complexo, natural ou artificial, suscetível de ser analisado em partes, mas que tem sua funcionalidade determinada pela forma como as partes integram para constituir a unidade substantiva. Um sistema mecânico é formado por vários componentes estruturados de tal forma que, por meios de comandos externos, se consiga o objetivo. Na medida em que são integrados componentes e os nós são interconectados por meio de trechos, a complexidade do sistema aumenta.

Agardy (2001) define **sistema de água** como o conjunto de componentes e equipamentos que tem como objetivo abastecer água potável em residências e comércios, sendo composto pelos seguintes subsistemas: fonte ou captação, adução, tratamento, armazenamento e redes de distribuição. Dada a complexidade e interdependência dos grandes sistemas de abastecimento de água, Agardy (2001) os denomina de **sistema total** para designar aquele que inclui o sistema de água e outras linhas vitais inter-relacionadas a este, como por exemplo, a relação do sistema de água com o fornecimento de eletricidade, de produtos químicos, coleta e tratamento de esgoto sanitário, entre outros.

A portaria nº 518/2004, do Ministério da Saúde, define sistema de abastecimento de água para consumo humano como uma “instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão” (BRASIL, 2004).

A complexidade de um sistema de água em uma zona urbana com uma grande população está relacionada com a necessidade de redes extensas, a existência de diversos componentes e a possibilidade de usar diferentes fontes de captação. A complexidade do sistema de água aumenta com a necessidade de energia, de produtos químicos, entre outros recursos.

Dentro de um sistema, um **componente** é uma parte discreta, capaz de operar independentemente, mas é projetado, construído e operado para interagir com outros componentes e atingir o objetivo do sistema (AGARDY, 2001). Os sistemas de água têm subsistemas que realizam uma função específica através da interação de vários componentes, quer dizer, um conjunto de componentes dispostos para realizar uma função determinada, os exemplos mais notórios são as estações de tratamento de água e as estações de bombeamento. Sistema de abastecimento de água para zona urbana é um conjunto de componentes que tem como objetivo o fornecimento de água para consumo em residências, comércio, indústria, hospitais, entre outros setores. O fornecimento de água deve cumprir normas de qualidade, disponibilizando-a na quantidade e pressão adequada.

2.2 Danos provocados por inundações em sistemas de abastecimento de água

Cada sistema de abastecimento de água apresenta realidades técnicas e sociais diferentes, além das condições ambientais mudarem no espaço e no tempo. Neste sentido, os danos provocados por um tipo de perigo podem variar de um lugar ou de um período para outro. De acordo com Agardy (2001), os perigos naturais que mais afetam sistemas de água são os sismos, furacões, tornados, inundações e fogos florestais. Outros estudos indicam que as inundações, furacões e os sismos são os perigos que mais gravemente afetam os sistemas de água (OMS/OPS, 1993; 1998; 2001). Em geral, os componentes mais impactados por perigos naturais são: a captação superficial, as tubulações, as ETAs, entre outros componentes.

No caso de inundações e outros perigos hidrometeorológicos, Cánepa (1982) ressalta que as avaliações de vulnerabilidade em sistema de abastecimento de água é de difícil abordagem e sugere uma metodologia para realizar esta tarefa. A proposta geral desse autor abrange a descrição do sistema, identificação de componentes fundamentais e componentes expostos à inundação. Posteriormente, é determinada a probabilidade de o componente ser afetado pela elevação do nível da água, cujo cálculo é feito a partir do período de recorrência das inundações e da cota de inundação em cada caso.

Villalón (2003), aplicando Sistema de Informação Geográfica (SIG), estabelece uma metodologia para o cálculo da vulnerabilidade a inundações, baseada na determinação da profundidade da água, considerando a declividade. Esta proposta é similar à indicada por Cánepa (1982), em que elementos expostos são visualizados ao sobrepor mapas de probabilidade de inundações para diferentes períodos de retornos.

ALA (2002a) também sugere uma abordagem similar a Cánepa (1982), considerando os equipamentos que podem ser afetados por um aumento no nível da água (elétricos, mecânicos, válvulas, entre outros) ou pela velocidade (tubulações em pontes ou encosta de rios e outros componentes). ALA (2002a), no entanto, não estabelece uma relação para determinar os prováveis danos provocados por estes tipos de eventos.

Ordaz e Santa-Cruz (2003) e Ordaz e Yasmin (2004) utilizam a altura da superfície da água para medir o perigo causado por inundação. Mas, Ordaz e Yasmin (2004) reconhecem

que este indicador é complexo de se estudar e, para evitar esta dificuldade, propõem utilizar mapas com histórico das inundações máximas no local de estudo.

Reed et al. (2006) avaliaram os danos provocados por perigos hidrometeorológicos e geológicos em sistemas elétricos, em locais geograficamente diferentes. No caso de tormentas, foram relacionadas as seguintes variáveis: precipitação e a velocidade do vento com os danos produzidos no sistema.

Diversas pesquisas abordam a avaliação de inundações do ponto de vista qualitativo, baseada em antecedentes em zonas inundáveis, sendo aplicadas principalmente em casos em que os registros meteorológicos são baixos e a informação pode ser levantada por meio de entrevistas a pessoas chaves (OMS/OPS, 2003a; OMS/OPS, 1998; OMS/OPS, 1997). Combinando o histórico de danos provocados por eventos de inundações na região com a exposição de um componentes, considerando a altura provável da água, é possível identificar componentes com possibilidade de falhar.

Alguns componentes, de forma geral, estão localizados em pontos que são comparáveis a outros sistemas, este é o caso da captação superficial de água e as tubulações que atravessam córregos ou rios através de pontes ou pelo próprio leito. Nestes casos é possível aplicar a proposta de Reed et al. (2006), no sentido de relacionar condições específicas de diferentes eventos e os danos provocados no componente.

A identificação de pontos vulneráveis depende também de visita de campo e dos acontecimentos freqüentes na área a ser estudada. Com as visitas de campo se identificam componentes expostos a determinados perigos. As avaliações visuais complementam ou confirmam condições de riscos observadas na análise espacial ou nas entrevistas.

2.3 Avaliação da vulnerabilidade em sistemas de abastecimento de água

OMS/OPS (1998) define **avaliação de vulnerabilidade** como o processo mediante o qual se determina o comportamento do sistema e seus componentes, ante forças de um evento natural com potencial de gerar desastres. Para OMS/OPS (1993), a análise de vulnerabilidade é uma parte importante no gerenciamento de riscos em sistemas de abastecimento de água. Segundo Mays (2004), a avaliação de vulnerabilidade tem o objetivo de resguardar a saúde pública e a segurança, reduzindo o potencial de interrupção do sistema de água. ALA (2002a) considera que o objetivo da avaliação de vulnerabilidade é estimar as perdas econômicas diretas e o tempo que o sistema ficará fora de serviço, considerando a intensidade do perigo.

Mays (2004), resumindo vários modelos de avaliação de vulnerabilidade desenvolvidos nos Estados Unidos da América, indica que os elementos comuns na avaliação de vulnerabilidade são os seguintes: caracterização do sistema de água; identificação e priorização de conseqüências adversas a evitar; determinação de componentes fundamentais que podem ser danificados; avaliação de probabilidade de danos; avaliação de dificuldades existentes; e análises de riscos e desenvolvimento de um plano para redução de riscos.

OMS/OPS (2001; 2003b) estabelece alguns passos para realizar a avaliação de vulnerabilidade em sistemas de abastecimento de água, entre os principais estão: descrever a área de estudo; definir os objetivos do desempenho do sistema; avaliar as ameaças (perigos);

realizar inventário dos componentes do sistema; inspecionar o trajeto do sistema; avaliar a vulnerabilidade dos componentes; avaliar a vulnerabilidade do sistema; desenvolver alternativas de mitigação; classificar as alternativas de mitigação em ordem de prioridade; e implementar o programa de mitigação.

ALA (2002a) propõe que, para desenvolver modelos de vulnerabilidade, sejam utilizadas técnicas como: a empírica, inspeção visual, analítica, experimental e julgamento de especialista. Entretanto, a integração dos cinco métodos pode ser difícil ou onerosa. O mesmo estudo recomenda o uso de inspeção visual, complementado com métodos empírico e/ou julgamento de especialista, para reduzir os custos da avaliação.

Jacobson (2004a) apresenta uma metodologia para avaliar a vulnerabilidade baseada em dados quantitativos. Nessa proposta avalia-se o comportamento dos sistemas de água em casos em que a rede de distribuição de água seja afetada por um sismo. Esse trabalho reconhece a influência da incerteza das forças naturais ou acidentais que podem afetar sistemas físicos.

De acordo com Ordaz e Yasmin (2004), nas análises de vulnerabilidade, a força incidente produzida por um determinado perigo é tomada como indicador de intensidade, sendo a intensidade uma medida local da perturbação produzida por um evento sobre as características físicas do entorno e que permitem descrever o fenômeno. Ordaz e Santa-Cruz (2003) sugerem indicadores de intensidade para alguns perigos, como por exemplo: a intensidade da inundação é medida pela de altura média atingida pela água; os sismos, pela Aceleração Máxima do Solo (PGA, siglas em inglês); e ventos, pela sua velocidade.

O principal problema no estudo de todo tipo de perigo é a incerteza na frequência e na intensidade que estes podem apresentar, além das diversas variáveis geográficas ou locais que atenuem ou amplifiquem as conseqüências dos perigos. ALA (2002a) considera os seguintes passos na avaliação de vulnerabilidade de sistemas de água potável ante perigos naturais: inventário de componentes pertinentes ou críticos; definição de cenários de perigos e suas conseqüências; avaliação da resposta (resistência) dos componentes ante os cenários de perigos; e avaliação das respostas do sistema aos danos de componentes.

A avaliação de vulnerabilidade em sistemas de água tem sido proposta para determinar as perdas econômicas causadas por um perigo (TORRES-VERA; CANAS, 2003; ALA, 2002a) ou para determinar o impacto na saúde pública (REED, 2006; MAYS, 2004), ou para determinar o desempenho do sistema (JACOBSON, 2004a; 2004b; SELÇUK; YÜCEMEN, 2000). Dos trabalhos citados, os que realmente medem a vulnerabilidade são Jacobson (2004a) e Selçuk e Yücemem (2000), os quais centram a atenção no desempenho do sistema.

A determinação da vulnerabilidade do sistema se inicia com a determinação da vulnerabilidade dos componentes (confiabilidade mecânica) e termina com a determinação da vulnerabilidade hidráulica do sistema (confiabilidade hidráulica). Mas, dada as complexidades dos sistemas de água, é preciso definir quais são os componentes que mais influenciam no desempenho do sistema ou quais são os componentes importantes. Segundo Agardy (2001), a identificação dos componentes críticos ou importantes é baseada na interdependência destes elementos. Aqueles componentes que tenham interdependência com outros e que possam

provocar uma emergência maior no sistema são componentes fundamentais. Portanto, a configuração é um fator importante na avaliação da vulnerabilidade do sistema, pois a configuração define a inter-relação entre componentes.

A vulnerabilidade do sistema determina o comportamento ou **desempenho do sistema**, que é uma medida da capacidade do sistema de satisfazer as condições hidráulicas do projeto. Uma vulnerabilidade hidráulica alta, significa que o desempenho do sistema é baixo.

2.3.1 Componentes fundamentais ou importantes em sistemas de água

Burns (2002) considera que um componente crítico para um sistema caracteriza-se por ser mais vulnerável a falhas totais ou parciais provocadas por perigos, o que pode reduzir a capacidade do sistema em satisfazer os requisitos mínimos de serviços. ALA (2002a) considera que um componente é fundamental segundo o impacto que sua falha provoca na operatividade do sistema, ou seja, componentes que afetam de maneira importante a confiabilidade do sistema de abastecimento de água. Ainda que os componentes fundamentais são suscetíveis a falhas, o que determina sua importância é o aporte do componente ao desempenho do sistema. Assim, o conceito estabelecido pela ALA (2002a) é mais aceitável na avaliação de vulnerabilidade.

ALA (2002a) propõe o desenvolvimento de índices operacionais para determinar os componentes fundamentais. Estes índices ou taxas servem para definir a importância dos componentes com respeito ao desempenho do sistema, e são baseados em critérios de especialistas. Este tipo de abordagem é aplicável em sistemas simples, mas em aqueles com grande quantidade de componentes é de difícil aplicação.

Para determinar componentes importantes, considerando a vazão, a OMS/OPS (1988; 1993) propõe determinar a disponibilidade de um componente, ou seja, a capacidade de fornecer a vazão demandada em um instante ou período determinado. A disponibilidade nominal do componente é igual à razão entre a vazão nominal produzida pelo componente e a vazão média demandada.

Os indicadores anteriores proporcionam uma idéia da contribuição individual de cada componente. Mas, não necessariamente a importância pontual significa que o componente tem uma grande importância para o desempenho do sistema.

Para a determinação da importância hidráulica, as relações são estabelecidas para nós e linhas. Bouchart e Goulter (1989) estabelecem a importância relativa de uma linha da rede de distribuição a partir da relação entre a vazão na linha (F_L) e a vazão total da rede (Q_{total}). Esta relação é denominada importância relativa da linha ou trecho (WB_L), a equação (1) mostra como é determinada.

$$WB_L = \frac{F_L}{Q_{total}} \quad (1)$$

Goulter et al. (2000: cap.18.43) redefinem a equação (1) e utilizam o termo trecho importante (L_{imp_L}) para indicar os trechos da rede com importância para o sistema. Um L_{imp_L} é definido pela proporção da demanda que o sistema não poderá fornecer quando o trecho L for interrompido. A equação (2) é proposta para determinar L_{imp_L} , para uma vazão total na rede (Q_{total}) e uma vazão na linha (F_L) que não poderá satisfazer-se se o trecho L for interrompido.

$$L_{imp_L} = \frac{Q_{total} - F_L}{Q_{total}} \quad (2)$$

Na equação (2) o termo ($Q_{total} - F_L$) corresponde à vazão produzida pelo sistema quando há uma falha no trecho ou linha L. Esta equação permite determinar a importância de um trecho em uma rede, a partir da vazão total remanescente ou disponível e a vazão requerida pelo sistema.

Na análise de importância de trechos, as equações (1) e (2) são relativamente similares. Dado que as duas são baseadas em resultados estáticos, não apresentam uma idéia real do comportamento do sistema no tempo. Para ter uma informação real sobre o desempenho do sistema, quando um trecho é interrompido, é preciso que se relacione a vazão remanescente à pressão mínima requerida em cada nó. Considerando isto, é possível reconhecer a redundância permitida pela configuração do sistema e também a influência do componente para manter a pressão mínima requerida nos diferentes nós.

A redundância é definida como via alternativa ou como a capacidade excedente disponível em condições normais de operação que pode ser utilizada quando um ou mais componentes operam em estado de falha (GOULTER et al., 2000; KALUNGI; TANYIMBOH, 2003). Desta forma, é possível que um ponto seja abastecido por diferentes vias, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

A importância de um trecho pode ser determinada com base na vulnerabilidade do sistema, quando a linha em estudo é fechada. Desta forma, utilizando-se as equações de confiabilidade, descrita no item 2.3.2, é possível determinar a probabilidade de que a vazão requerida seja satisfeita, considerando a configuração do sistema. Neste caso, a importância de trecho por vulnerabilidade (L_{imp-v}) é definida como a incapacidade de o sistema abastecer a demanda total em um ciclo (R_v) e abastecer a demanda no 50% do tempo do mesmo ciclo (F_t). Na equação (3) é descrito o cálculo da importância segundo a confiabilidade do sistema, nas equações (7) e (12) apresenta-se o cálculo de R_v e F_t .

$$L_{imp-v} = (1 - R_v * F_t) * 100 \quad \text{trecho interrompido em todo o ciclo} \quad (3)$$

A equação (3) é proposta nesta pesquisa para determinar a importância de uma linha e é o indicador utilizado para definir e ordenar as linhas mais importantes para o funcionamento do sistema. Considera-se que uma linha é importante se em falha provoca uma vulnerabilidade hidráulica maior que 10%. A equação (3) corresponde à vulnerabilidade intermediária, quando uma determinada linha é fechada.

Nas análises hidráulicas de sistemas de abastecimento de água, para simplificar, o consumo é atribuído a um nó, que por conveniência, se considera como um ponto onde se concentra um determinado nível de demanda ou conexões de usuários. Neste sentido, a importância de uma linha pode ser determinada a partir da capacidade de satisfazer a demanda em um nó que abastece um usuário importante.

A importância de um determinado nó é definida pela quantidade de usuários e pelas características dos consumidores abastecidos. Reed et al. (2006) medem a importância de um nó de consumo com o quociente entre a quantidade de usuários que podem ser afetados pela falta de um trecho (U_{ss}) e a quantidade total dos usuários (U_{total}). A equação (4) determina U_{imp_L} (importância por usuários) para um nó de consumo.

$$U_{imp_L} = \frac{U_{ss_L}}{U_{total}} * 100 \quad (4)$$

A equação (4) serve para definir quantitativamente o percentual de usuários que será afetada se falta o serviço em um nó. Em sistemas de água, a quantidade de usuários está relacionada à demanda de água em um nó, com isto é possível utilizar a equação (4) para determinar a importância da linha segundo o impacto sobre o abastecimento no nó. A partir disto, é proposta a equação (5), com a qual se determina a importância de uma linha por confiabilidade ($U_{imp_{L-c}}$) a partir da vazão requerida no nó (q^{req}) com relação ao consumo total (Q_{total}).

$$U_{imp_{L-c}} = \frac{q_n^{req}}{Q_{total}} * 100 \quad \text{para } (Rv_n * Ft_n) < 0,90 \quad (5)$$

A qualificação ou priorização de nós pode ser determinada através da importância do trecho, considerando usuários especiais. Um usuário especial corresponde a um setor que precise de água com maior prioridade que outros, alguns setores ou centros de interesse social, em situações de emergência, podem aumentar o consumo, este é o caso de hospitais, de centros de desabrigados, entre outros. Contrário a estes usuários prioritários, grandes consumidores podem não ter a necessidade serem abastecidos de imediato, como por exemplo: algumas indústrias, comércios não prioritários, instituições públicas, centros de lazer, entre outros.

Depois de obter os valores que definem a importância de cada componente, é preciso determinar quais são considerados para análise de vulnerabilidade do sistema. Aqueles componentes que têm grande importância são avaliados visando determinar o comportamento do sistema ante as falhas.

2.3.2 Confiabilidade ou vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água

A confiabilidade de um sistema corresponde à probabilidade de que em um período determinado o sistema possa satisfazer a vazão e pressão requerida em cada nó no período de análises (KALUNGI; TANYIMBOH, 2003; XU; GOULTER, 1999; GUPTA; BHAVE, 1996), cumprindo com a sua missão em determinadas condições ambientais (GOULTER et al., 2000). A confiabilidade é dada em termos da disponibilidade do componente no tempo

(GOULTER et al., 2000; CULLINANE et al., 1992). Lansey et al. (2002) definem confiabilidade como a capacidade do sistema de satisfazer a demanda em uma situação anormal ou de contingência. A confiabilidade também é definida a partir da média de tempo em que a vazão requerida é satisfeita (SURENDRAN; TANYIMBOH; TABESH, 2005; HOSHIYA; YAMAMOTO; OHNO, 2004) ou quais componentes do sistema estão disponíveis (SURENDRAN; TANYIMBOH; TABESH, 2005).

Em termos gerais, a confiabilidade hidráulica é calculada a partir do volume de água disponível dividido pelo volume de água requerido, esta é a maneira mais simples de determinar este indicador. No entanto, a forma mais completa considera, além do fator anterior, a porcentagem do tempo em que cada nó recebe o volume requerido.

A confiabilidade do nó é o parâmetro que mede a probabilidade de não faltar água em um nó específico (GOULTER; BOUCHART, 1990) ou a probabilidade de satisfazer a demanda com pressão adequada para o nó (MISIRDALI, 2003; BAO; MAYS, 1990). No nó a confiabilidade é dada pela equação (6), onde Rn_n é o Fator de Confiabilidade do nó n ; $V_{n,s}^{disp}$ é o volume disponível; $V_{n,s}^{req}$ é o volume requerido; $q_{n,s}^{disp}$ é a vazão disponível no nó; $q_{n,s}^{req}$ é a vazão demandada ou requerida no nó; t_s é o tempo de duração do estado (igual para todos os nós); e, s representa o estado de operação ou modo de falha (intervalo de tempo no qual a demanda do nó e a condição da rede permanecem constantes).

$$Rn_n = \frac{\sum_s V_{n,s}^{disp}}{\sum_s V_{n,s}^{req}} = \frac{\sum_s q_{n,s}^{disp} * t_s}{\sum_s q_{n,s}^{req} * t_s} = \frac{\sum_s q_{n,s}^{disp}}{\sum_s q_{n,s}^{req}} \quad (6)$$

A equação (7) determina Rv , que representa a confiabilidade total para a vazão durante o período de análises ou Fator de Confiabilidade de Volume (GUPTA; BHAVE, 1996). Esta é a relação mais utilizada para definir a confiabilidade, considerando todo o volume utilizado no sistema no ciclo de simulação.

$$Rv = \frac{\sum_s \sum_n V_{n,s}^{disp}}{\sum_s \sum_n V_{n,s}^{req}} = \frac{\sum_s \sum_n q_{n,s}^{disp} * t_s}{\sum_s \sum_n q_{n,s}^{req} * t_s} = \frac{\sum_s \sum_n q_{n,s}^{disp}}{\sum_s \sum_n q_{n,s}^{req}} \quad (7)$$

Em geral a pressão é utilizada para definir a vazão disponível em um determinado nó. Com isto é possível determinar se em uma simulação pode-se satisfazer a demanda em um nó, considerando a pressão mínima e de operação em cada um. As equações (8), (9) e (10) são utilizadas para determinar a vazão disponível em cada estado de simulação (OSTFELD; KOGAN; SHAMIR, 2002; WALSKI; WEILER; CULVER, 2006; WU; WALSKI, 2006 apud WAGNER et al., 1988).

$$q_n^{disp} = 0 \quad \text{se } P_n^{disp} \leq 0 \quad (8)$$

$$q_n^{disp} = q_n^{req} \left(P_n^{disp} / P_n^{min} \right)^{0,5} \quad \text{se } 0 < P_n < P_n^{min} \quad (9)$$

$$q_n^{\text{disp}} = q_n^{\text{req}} \text{ se } P_n \geq P_n^{\text{min}} \quad (10)$$

Onde P_n é a pressão calculada pela simulação em cada estado; P_n^{min} é a pressão mínima, por baixo a qual a vazão é zero; q_n^{disp} é a vazão disponível; e q_n^{req} é a vazão requerida no nó.

Bupta e Bhave (1996) estabelecem a equação (11) para determinar a confiabilidade hidráulica (Rnw), que tem como limites $0 \leq Rnw \leq 1$, para a mínima e a máxima confiabilidade. Onde Rv é o Fator de Confiabilidade de Volume, Ft é o fator de tempo e Fn é o fator de nó.

$$Rnw = Rv * Ft * Fn \quad (11)$$

O fator de tempo (Ft) é calculado com a equação (12), onde N é o número total de nós de consumo; T é o período de análises, segundo a equação (13); $a_{n,s}$ é a disponibilidade aceitável, sendo $a_{n,s} = 1$ se $Rn_n \geq$ valor aceitável em um estado particular e $a_{n,s} = 0$ se $Rn_n \leq$ valor aceitável (BUPTA; BHAVE, 1996), geralmente, o valor aceitável é de 0,5 ou que a demanda no nó seja satisfeita em um 50%.

$$Ft = \frac{\sum_s \sum_n a_{n,s} * t_{n,s}}{N * T} \quad (12)$$

$$T = \sum t_s \quad (13)$$

Bupta e Bhave (1996) introduzem um outro indicador de confiabilidade, o Fator de Nó (Fn), dado pela equação (14), sendo N o número total de nós e n o nó avaliado. Este fator é um multiplicador da confiabilidade hidráulica dos nós.

$$Fn = \left[\prod_{n=1}^N Rn_n \right]^{1/N} \quad (14)$$

Ostfeld (2001) e Ostfeld et al. (2002) utilizam simulações hidráulicas para determinar indicadores de confiabilidade. O principal aporte desta proposta é que inclui indicadores de qualidade de água. A confiabilidade é calculada para nós de consumo e para o sistema, considerando a vazão, a qualidade da água requerida e a distribuída em um tempo determinado. Ostfeld et al. (2002) propõem o cálculo dos seguintes fatores ou frações para determinar a confiabilidade do sistema: FDV – Fração de Volume Entregado, FDD – Fração de Demanda Distribuída e FDQ – Fração de Qualidade Entregada.

A FDV_n é calculada utilizando a equação (15), que representa a capacidade de satisfazer a vazão requerida em um nó. Onde n é o nó de estudo; Si_T é o número total de simulações; $V_{si,n}$ é o volume fornecido no nó n , na simulação si ; V_T , volume total fornecido no nó n em toda a simulação.

$$FDV_n = \frac{\sum_{si=1}^{Si_T} V_{si,n}}{V_T} \quad (15)$$

A FDD_n é determinado com a equação (16) que representa a fração de tempo em que a demanda é satisfeita em um nó determinado. Onde n é o nó; Si_T é o número de simulações; T é a duração da execução; $t_{si,n}$ é o instante de simulação no estado si no nó n . A equação (16) é igual à equação (12) quando $a_{n,s}=1$.

$$FDD_n = \frac{\sum_{si=1}^{Si_T} t_{si,n}}{Si_T * T} \quad (16)$$

O modelo sugerido por Ostfeld (2001) e Ostfeld et al. (2002) permite calcular a confiabilidade a partir do histórico de funcionamento do sistema ou por simulações aleatórias. A metodologia está baseada principalmente no tempo em que o parâmetro de análises encontra-se nos limites aceitáveis. As equações (6) e (15) são similares, e ambas podem ser utilizadas para o cálculo da confiabilidade no sistema a partir do volume ou da vazão distribuída. A equação (17) é o resultado da reformulação da equação (6), utilizando a vazão fornecida e a vazão requerida no nó.

$$Rn_n = \frac{\sum_{t=0}^T q_{n,t}^{disp}}{\sum_{t=0}^T q_{n,t}^{req}} \quad (17)$$

Onde Rn_n corresponde ao fator de confiabilidade para o nó n no instante t ; $q_{n,t}^{disp}$ é a vazão disponível no tempo t no nó n ; $q_{n,t}^{req}$ é a vazão requerida no tempo t no nó n , estabelecida a partir de dados históricos ou através do cálculo da demanda real; e, T é o tempo total de simulação.

A equação (18) resume o procedimento utilizado nesta pesquisa para calcular Rv no sistema para o período de simulação T .

$$Rv = \frac{\sum_{t=0}^T \sum_{n=1}^N q_{n,t}^{disp}}{\sum_{t=0}^T \sum_{n=1}^N q_{n,t}^{req}} \quad (18)$$

O fator de tempo é determinado com a equação (19), simulando estado de operação para os diferentes nós (n) de um total N nó, em diferentes instantes (t) de um período de análises (T). Quando $Rn_n \geq$ valor aceitável em um estado particular $a_{n,s}=1$ e quando $Rn_n \leq$ valor aceitável o valor de $a_{n,s}=0$.

$$Ft = \frac{\sum_{t=0}^T \sum_{n=1}^N a_{n,t} * t_{n,t}}{N * T} \quad (19)$$

A confiabilidade no sistema é determinada com a equação (11), onde uma confiabilidade baixa significa que há alta probabilidade de não satisfazer a demanda, isto é, que o sistema é vulnerável às falhas analisadas. Assim o complemento da confiabilidade

corresponde a uma medição da vulnerabilidade do sistema, equação (20). A vulnerabilidade nó e intermediária (Vul_{int}) é determinada com a equação (21).

$$Vul_{sist}=1-Rnw=1-Rv*Ft*Fn \quad (20)$$

$$Vul_{int}=1-Rv*Ft \quad (21)$$

2.3.3 Tempo de duração de falhas e emergências

A duração de uma emergência está determinada por diferentes fatores, entre os principais estão: as condições físicas dos componentes, a exposição ao perigo, a redundância, a capacidade técnica e financeira, a existência de componentes em estoque, entre outros aspectos que podem ser importantes em uma zona determinada.

Duan e Mays (1990) estabelecem indicadores para medir a taxa de falha, a taxa de reabilitação e a frequência de falha para sistemas de abastecimento de água. A taxa de falha corresponde à média de falhas acontecidas em período de tempo determinado. A taxa de reabilitação é a média de reparações realizadas em um período de tempo, este indicador mostra a rapidez com que são solucionados os danos. Para calcular a confiabilidade, em geral é utilizada a taxa de reabilitação (GOULTER et al., 2000; LANSEY; MAYS; TUNG, 2002).

Essa proposta de determinação das taxas de falhas e reparações tem sido desenvolvida para condições normais, e depende da existência de registros de danos e reabilitações de componentes do sistema. Mas, em condições de emergências provocadas por eventos extremos, as taxas de falhas são alteradas e os tempos de reabilitação de componentes não necessariamente correspondem ao valor obtido em condições normais.

Para OMS/OPS (1998) e ALA (2002a), o tempo de reabilitação (tR) de um sistema de água pode ser estimado a partir da experiência em reabilitação e construção em tempos normais ou em tempos de emergências. O tR depende do tipo e da importância dos danos, da necessidade e disponibilidade de recursos e do acesso ao local danificado para realizar reparos.

Em casos de emergências, as reparações podem ser feitas de maneira parcial, permitindo o acesso a quantidades limitadas de água. Da mesma forma, o tempo de reabilitação pode ser calculado de forma parcial, ou seja, uma reabilitação pode permitir a recuperação do 50% da capacidade do sistema antes do evento.

Segundo ALA (2002a), o tempo mínimo de restauração de um sistema deve considerar o seguinte: o tempo de localização de danos; o tempo para obter e mobilizar equipamentos e pessoal; o tempo estimado para realizar a reabilitação; e o tempo de desinfecção do sistema. Além disso, sugere-se considerar os dados sobre a construção de novos componentes, a substituição de componentes existentes e, em alguns casos, sobre a reabilitação ou substituição de equipamentos após um desastre.

Para determinar o tempo de reabilitação, é recomendável contar com estatísticas de reparações realizadas nos sistemas, a disponibilidade de recursos humanos e materiais, e a

estimativa de especialistas da área de operação e manutenção sobre a duração da reabilitação. Em geral o tR está definido pela equação (22) (OMS/OPS, 1998).

$$tR = tI + tA + tM + tE + tP + tO \quad (22)$$

Onde tI é o tempo de identificação da avaria; tA é o tempo de acesso ao local afetado; tM é o tempo estimado de manutenção, ou seja, o tempo necessário para realizar o reparo; tE é o tempo de espera antes de poder reiniciar o procedimento de operação; tP é o tempo de obtenção de componentes ou partes destes, muito significativo para equipamento não estocado e raros; e tO é o tempo até a reoperação.

Dado que em casos de emergência é difícil determinar ou estimar os valores de alguns dos tempos indicados anteriormente, o cálculo de tR, em geral, depende de estimativas realizadas para períodos normais. A determinação dos diversos tempos tem alta incerteza e os que têm menor base estatística e mais difíceis de estimar são o tempo de identificação da avaria e o tempo de acesso ao local afetado.

Gupta e Bhawe (1996) realizam simulações com tempos de reabilitação de trechos e bombas estimados entre 12 e 72 horas. Osfeld, Kogan e Shamir (2002) em seu trabalho consideram tempo de reabilitação de componentes entre 8 e 24 horas. Xu e Goulter (1999) identificam condições críticas e tempo de solução por métodos heurísticos. Mas, em nenhum caso é aplicado em situações de desastres. Em emergências provocadas por perigos ambientais é difícil estabelecer o tempo provável de reabilitação de componentes, mas é possível utilizar o conhecimento de técnicos e a experiência adquirida em eventos de emergências e desastres.

OMS/OPS (1993) sugere, na determinação do tempo de reabilitação, obter o intervalo com tempo mínimo e máximo para realizar as reparações. A magnitude dos danos depende do perigo e das condições físicas em que se encontra o componente. O tempo de reabilitação vai depender da possibilidade de aproveitar ou não o componente e das condições existentes no cenário de emergência. A taxa média de reabilitação, ou o tempo de reabilitação, pode ser obtida por tipo de componentes, considerando o registro histórico de manutenção.

Para fins de simulação da confiabilidade, em geral, o tempo de reabilitação de um componente é gerado de maneira aleatória a partir do tempo mínimo e máximo de reabilitação de componentes (GOULTER et al., 2000; OSTFELD; KOGAN; SHAMIR, 2002; JACOBSON, 2004b). Na equação (23) é proposta uma alternativa para determinar aleatoriamente o tempo de reabilitação e calcular a confiabilidade do sistema. Aqui é gerado aleatoriamente o tR a partir do tempo mínimo (tmin) e do tempo máximo (tmax) necessários para reabilitar o componente afetado em condições normais ou previstas de maneira heurística.

$$tR = \text{RND}(t_{\text{mín}}, t_{\text{máx}}) \quad (23)$$

2.3.4 Determinação da vulnerabilidade com simulações hidráulicas com EPANET 2.0

O EPANET 2.0 é um software de simulação hidráulica, de fonte aberta, que foi desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa de Gestão de Risco da Agência de Proteção Ambiental Norte-americana (USEPA), com o objetivo de proporcionar subsídios na

administração de sistemas de abastecimento de água. O programa tem a capacidade de simular o comportamento hidráulico e da qualidade da água, podendo ser utilizado nas fases de projeto ou de operação de sistemas. Em casos de operação, podem ser simuladas condições normais ou para casos de emergências.

Entre os possíveis parâmetros calculados com o EPANET 2.0, estão a pressão e a altura piezométrica de água disponível em um nó, segundo a demanda de água para o instante de cálculo. No EPANET 2.0 a demanda sempre é satisfeita. Outros parâmetros que podem ser obtidos são: a perda de energia utilizando as equações de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, ou Chezy-Manning; velocidade do fluxo nos trechos; a qualidade da água nos nós e nos trechos. Além disso, é possível simular o comportamento do sistema com velocidade variável das bombas; permite utilizar várias categorias de demanda nos nós, com tipos de consumo por tempo; considera coeficiente de descarga para simular perdas ou simular consumo em controle de incêndio; entre outros cálculos.

O EPANET 2.0 conta com uma ferramenta de programação que permite realizar simulações e operações simultâneas por meio de um módulo denominado *Toolkit*, que está integrado ao simulador através de uma livreria dinâmica (DLL) programada em C/C++. Com isso é possível construir interfaces informáticas que realizem operações em EPANET, desde aplicativos em C/C++, Delphi Pascal, Visual Basic ou outras linguagens de programação.

Diversos autores utilizam EPANET 2.0 para avaliar o desempenho de sistemas de água, a partir da determinação da confiabilidade. Wu et al. (2006), Wu e Walski (2006) e Cheung, Van Zyl e Reis (2005) avaliam o comportamento de sistemas de água em condições de falhas por interrupção de trecho ou perda por vazamento. Ostfeld, Kogan e Shamir (2002) e Ostfeld (2001) avaliam sistemas de água considerando perdas ou aumento desproporcionado da demanda em nós de consumo. Goulter et al. (2000) propõem a utilização de simulações para determinar a confiabilidade de sistemas de água. Jacobson (2004b) desenvolve uma metodologia para avaliar o desempenho de sistemas de água em casos de emergências provocadas por sismos.

2.4 Experiências no abastecimento de água em condições de emergência

A quantidade mínima de água necessária para manter a saúde de uma pessoa corresponde a 20 litros por habitantes por dia ($L.hab^{-1}.d^{-1}$), sendo $7,5 L.hab^{-1}.d^{-1}$ o fornecimento mínimo extremo em situações de emergências (HOWARD; BARTRAM, 2003; OMS, 2004). A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Fundação das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) adotam este valor e a partir dele definem o *acesso razoável ou básico* como a disponibilidade de pelo menos $20 L.hab^{-1}.d^{-1}$ a uma distância não maior que 1.000 m ou 30 minutos de busca (OMS, 2004). Na Figura 3 é apresentada a hierarquia do abastecimento de água a uma pessoa em situação de emergência, segundo a OMS.

Para campos de refugiados ou centro de desabrigados UNHCR (2000) recomenda que a quantidade de água para sobrevivência é de $7 L.hab^{-1}.d^{-1}$ e quantidade mínima para satisfazer as necessidades básicas deve ser entre 15 e $20 L.hab^{-1}.d^{-1}$, esta dotação depende da temperatura e da atividade física das pessoas.

ESFERA (2004) e ECHO (2005), sugerem que a quantidade mínima de água deve ser aproximadamente de 15 L.hab⁻¹.d⁻¹. Com relação ao usuário, a fonte deve estar a uma distância inferior a 500 m ou um tempo máximo de 15 minutos.

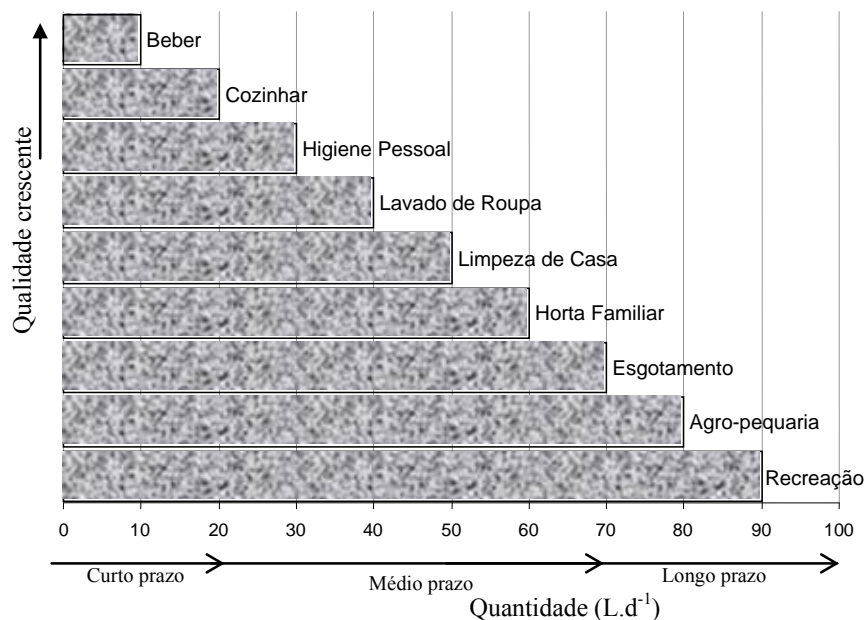


Figura 3 - Hierarquia de requerimento de água
 Fonte: adaptado de OMS, 2005

Em geral, há coincidência em reconhecer que em casos de emergências a quantidade tem maior importância que a qualidade, quer dizer, recomenda-se entregar mais água com uma qualidade inferior que pouca com alta qualidade (UNHCR, 2000; ESFERA, 2004). Isto porque uma quantidade suficiente promove a higiene pessoal e da casa. Evidentemente, em emergências provocadas por epidemias, este argumento precisa ser reconsiderado, principalmente quando há suspeita ou confirmação de que a água esteja contaminada.

Por outro lado, em caso de emergência é preciso tomar decisões relativas à rapidez de restabelecimento do serviço. Agardy (2001) sugere tempos-guias no restabelecimento do serviço de água. Na Tabela 1 apresentam-se os indicadores propostos por Agardy (2001) e ESFERA (2004) para definir tempos de restabelecimento de serviço e requerimento de água. É preciso esclarecer que estes tempos e dotações são guias e dependerão da magnitude dos danos e da capacidade de resposta para satisfazer estes requisitos.

Tabela 1 – Tempos-guias para o restabelecimento do serviço de água

Instituição/atividade	Tempo* (horas)	Quantidade** (L.hab⁻¹.d⁻¹)
Hospital	0 (Contínua)	40,0-60,0 (L/paciente_interno/dia)
Albergue	0 (Imediato)	-
Diálises	24	-
Água para beber	72	2,5-3,0
Higiene pessoal	72	2,0-6,0

Fonte: *AGARDY, 2001; **ESFERA, 2004).

Observam-se duas linhas de abordagem para o abastecimento de água em casos de emergências maiores: a) desenvolvimento de equipamentos e técnicas emergenciais de tratamento de água pós-evento (SOARES, 2004; SANTOS, 1999; SENS; RICHTER e FERRARI, 1996; SENS, 1991; PHILIPPI, 1985; INAPA, 1980); e b) planejamento local para garantir o abastecimento emergencial (ECHO, 2005; USEPA, 2004; OMS/OPS, 2003a; BURNS et al., 2002; UNHCR, 2000; IDPH, 2000; OMS/OPS, 1999). O objetivo principal é reduzir a vulnerabilidade do sistema. Portanto, o abastecimento emergencial deve ser incluído no planejamento das entidades responsáveis pelo serviço e pelo socorro.

As soluções que propõem ações após evento e sem conhecer *a priori* os pontos críticos podem ser praticáveis em comunidades pequenas ou onde exista uma baixa vulnerabilidade social e ambiental. No entanto, diante do crescimento das cidades, a degradação ambiental, os custos de tratamento e distribuição de água, o provável aumento dos perigos ambientais, entre outros fatores, faz-se necessário que na administração das cidades sejam considerados os riscos de que linhas vitais sejam inabilitadas. Algumas das experiências ou propostas para o abastecimento de água em situações de emergências são resumidas na Tabela 2, e no Apêndice I apresentam-se as propostas em detalhe.

O abastecimento de água em condições de emergências deve ser normatizado e planejado para que possa satisfazer as exigências de qualidade e quantidade que garantam um nível de risco baixo, no que se refere à saúde da população. O planejamento corresponde à entidade responsável do serviço e da regulação, às autoridades de saúde e de prevenção de desastres.

Na América Latina existem algumas experiências que procuram a regulação e o planejamento do serviço de água em casos emergenciais. A portaria nº 518/2004 estabelece que o responsável pela operação dos sistemas de água deve garantir que a pressão em todos os nós e em todo momento seja superior à pressão atmosférica (BRASIL, 2004), ainda que não estabelece as ações para evitar operações anormais. Em CORAASAN (1988) se estabelece o plano de ação em casos de emergências para Santiago de los Caballeros.

Tabela 2 - Resumo de experiências e propostas para abastecimento de água em situações de emergências

Recomendação	Autor/ Instituição	Aplicação
Estocar substâncias químicas; estocar água em reservatórios e casas; contar com equipamento emergencial e ETA portáteis.	INAPA, 1980	Experiências no furacão David e a tormenta Federico em 1979, República Dominicana.
Localizar mananciais alternativos; abastecer com poços profundos e rasos; construir sistemas provisórios; distribuir água em carros-pipas; ferver água.	PHILIPPI, 1985	Enchentes 1983 e 1984, Santa Catarina.
Avaliar a vulnerabilidade ante perigos existentes e históricos; localizar fontes alternativas emergenciais; usar sistemas de água particulares; coordenar com interinstituições; armazenar água em caso de perigos previsíveis.	CORAASAN, 1990	Plano de atenção a emergências em Santiago de los Caballeros, República Dominicana.
Construir estação de tratamento compacta e portátil para tratar água com elevada turbidez.	SENS, 1991	ETA para situações de emergências, operações militares e locais isolados. Aplicação genérica.
Desenvolver estação de tratamento de água com recursos locais (tambores metálicos). Estação experimental fabricável in-situ em dois dias.	SENS; RICHTER; FERRARI, 1996	Enchentes de 1984, Santa Catarina.
Descentralizar as fontes de água e a operação de sistemas. Proporcionar equipamento de emergência.	OMS/OPS, 1999	Medidas para casos de emergências. Aplicação genérica
Elevar a pressão na tubulação de água e a concentração de cloro; distribuir água através de poços com bombas manuais; contar com ETA portáteis; improvisar depósitos (lona, nylon e plástico revestido de polietileno).	SANTOS, 1999	Estudo de casos inundações, Rio de Janeiro.
Obter água de indústria de alimentos (como leite e bebidas). Distribuir água em carro-pipa.	IDPH, 2000	Plano de emergência de Illinois.
Localizar fontes de boa qualidade, para evitar a necessidade de tratar água.	UNHCR, 2000	Campo de refugiados. Aplicação genérica.
Determinar fontes alternativas antes da emergência (reservatórios, fontes independentes, etc.); estimar necessidades de caminhões cisternas; identificar necessidades de reservatórios e ETA; estimar usuários especiais.	BURNS et al., 2002	Proposta geral para redução de vulnerabilidade em sistemas de abastecimento de água. Aplicação genérica.
Perforar poços; instalar pequenas ETAs; e abastecer água em carro-pipa.	OMS/OPS, 2003a	Atuação emergencial por causa de El Niño no Equador 1997-98. Equador.
Estimar a quantidade de água necessária para emergências de curto e de longo prazo; identificar abastecimentos alternativos segundo tipo de interrupção.	USEPA, 2004	Plano para resposta em emergência. Estados Unidos da América.
Destilar água com equipamento solar para abastecer uma família.	SOARES, 2004	Zona rural com déficit de água doce. Aplicação genérica.
Avaliação de riscos ambientais na fase de projeto e na operação dos sistemas; instalar componentes em zonas de baixo risco ou resistentes a perigos; garantir fontes alternativas.	INAA, 2004	Gestão de riscos para sistemas de abastecimento de água da Nicarágua.
Construir estações temporais, tipicamente em dias ou semanas. Tratar água no ponto de consumo.	ECHO, 2005	Atuação em emergências agudas e crônicas. Aplicação genérica.

OPS/UNICEF (2006) e OPS (2002) relatam os principais aprendizados na América Latina com relação à regulação e à atuação em emergências em sistemas de água. Na Nicarágua foram estabelecidas normas para a avaliação de vulnerabilidade e para a gestão de emergências, considerando que os responsáveis por operar os sistemas estão obrigados a dar resposta adequada em todo momento (INAA, 2004).

A República Dominicana, igual que outros países da América Latina, carece de estudos científicos sobre o abastecimento de água em situações de emergências. Nos trabalhos CORAASAN (1990) e INAPA (1980), citados na Tabela 2, aborda-se a gestão de água em desastres de maneira empírica, a partir das experiências adquiridas com o furacão David. No entanto, o comportamento de um sistema é diferente ante condições de falhas distintas, por isso a abordagem do problema da gestão de emergências deve incluir diversas condições.

2.5 Aspectos legais para gestão de emergências em sistemas de água

A Política Nacional de Gestão de Riscos da República Dominicana, estabelecida pela lei nº 147/2002, no Art. 6, entre os objetivos indica os seguintes: a redução de riscos e prevenção de desastres, a resposta efetiva em casos de emergências e a rápida recuperação depois de uma emergência. No Art. 7, estabelece a realização de estudos e avaliações de riscos, considerando os perigos existentes. Esta lei delega a responsabilidade do estabelecimento da política de gestão de riscos a autoridades locais e setoriais. A lei nº 147/2002 é o resultado da necessidade de criar condições políticas para reduzir os efeitos de desastres naturais, que historicamente têm afetado a ilha e provocado grandes perdas de vidas, danos materiais e a redução do ritmo de desenvolvimento do país.

A lei nº 64/2000, da conservação, proteção, melhoramento e restauração do ambiente e dos recursos naturais, no Art. 18, Inciso 20, estabelece que entre as funções da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais está a avaliação de fatores de riscos ambientais que incidem na ocorrência de desastres. No Art. 77 desta lei, está estabelecido que os municípios e instituições governamentais (autoridades setoriais) devem realizar planos para enfrentar desastres (DOMINICANA, 2000).

Um aspecto comum das leis nº 64/2000 e nº 147/2002 é a abordagem da necessidade de que as autoridades locais ou municipais sejam protagonistas da gestão de risco no município. Com isso, espera-se que as diversas instituições que têm alguma responsabilidade na redução (ou exacerbação) dos riscos ambientais integrem suas capacidades e a tomada de decisões seja mais adequada na prevenção de desastres. Assim, por exemplo, o município, como gestor do espaço, deve dar os marcos gerais para administrar os assentamentos humanos, trabalhando juntamente com autoridades de saúde, ambiente, obras públicas e outras. O município e o governo central devem, por sua vez, coordenar ações para minimizar perdas por perigos naturais. Também se promove que as instituições públicas e privadas apresentem planos de redução e mitigação de danos e coordenem atuações com outras entidades em casos de desastres.

A intenção de descentralizar ou municipalizar a gestão de riscos é incipiente, ainda que já tenha sido realizado alguns esforços e transferências de poderes. Pode-se dizer que os

locais onde este processo está mais desenvolvido são Santiago de los Caballeros e Santo Domingo. Mas, em muitos aspectos, as ações da defesa civil dependem das decisões tomadas no nível central.

No Brasil o MIN/SDC (2000) ao estabelecer a política de defesa civil não considerou o estudo de vulnerabilidade de sistemas de água das comunidades, ainda que promove a realização de avaliação de risco e reconhece a necessidade de abastecer água como recurso prioritário. Esta debilidade da política de gestão de risco no Brasil não é evidente na prática devido à capacidade de administrativa existente nos operadores de grandes sistemas de água e pela capacidade de mobilizar recursos financeiros para solucionar uma emergência local ou municipal. No entanto, isto pode significar uma exposição injustificada a condições de emergências preveníveis ou a aplicação ineficiente de recursos.

A portaria 518/2004 no Art. 7 são indicados os deveres das secretarias municipais de saúde na gestão de risco para a saúde dos usuários de sistemas de abastecimento de água. Na seção IV, artigos 8, 9 e 10, a portaria estabelece as responsabilidades dos operadores de sistemas quando são registradas condições anormais ou não conformidade na qualidade de água tratada. Isso obriga à autoridade municipal de saúde pública e a operadores de sistemas de água a coordenar de ações em casos de riscos para a saúde. No entanto, isto não significa que o operador deve realizar estudos prévios de vulnerabilidade e risco no sistema, o que é importante quando considerado o fato que a portaria não reconhece explicitamente condições de emergências onde o operador, e o próprio município, perde a capacidade de reposta e será difícil satisfazer a norma de qualidade de água.

Na Nicaragua o Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) aprovou a guia técnica para reduzir a vulnerabilidade em sistema de abastecimento de água e esgoto sanitário (INAA, 2004). Esse trabalho estabelece diretrizes projetar e construir sistemas de água em esse país da América Central, que é afetado por sismos, furacões e vulcões. Mas, a avaliação de vulnerabilidade em sistemas existentes e a distribuição de água em situação de emergência não é regulada.

Nos Estados Unidos da América, depois dos atentados de 2001, é obrigatório realizar avaliação de vulnerabilidade de sistemas de abastecimento de água em populações maiores que 3.300 habitantes (USA, 2002). A lei PL107-188/2002 estabelece as medidas que os operadores de sistemas de abastecimento de água devem realizar para prever danos por atentado terrorista e garantir fornecimento de água quando o mesmo acontecer. Para apoiar os mandatos USEPA (2004; 2003) propõem ações específicas, que abrangem a gestão de sistemas em condições normais e em emergências, considerando as vulnerabilidade a atentados, os tipos de ameaças, os prováveis efeitos no sistema e as medidas de contingência.

Depois da promulgação da lei PL107-188/2002 a USEPA desenvolve guias para a realização de avaliação de vulnerabilidade e são aprovadas normas específicas para ser aplicadas em casos de emergências e desastres. Para contribuir com a gestão dos sistemas foram apoiadas pesquisas para o monitoramento e modelagem do comportamento de parâmetros hidráulica e da qualidade de água em redes de distribuição.

3 METODOLOGIA

Como condição de estudo, assume-se que perigos primários independentes não acontecem de forma simultânea, ou seja, não se espera que coincidam eventos como uma grande precipitação juntamente com um terremoto. Na Figura 4 têm-se o esquema geral para a avaliação de riscos em um sistema de abastecimento de água. A descrição do entorno abrange a descrição do sistema e a identificação dos perigos ambientais que podem afetar os seus diferentes componentes, principalmente aqueles relacionados com inundações.

Posteriormente é realizada a análise de vulnerabilidade, considerando danos nos componentes expostos. Para isso são identificados os componentes fundamentais e sua exposição, bem como os tempos de reabilitação dos componentes expostos. Com esta informação é realizada a análise de vulnerabilidade.

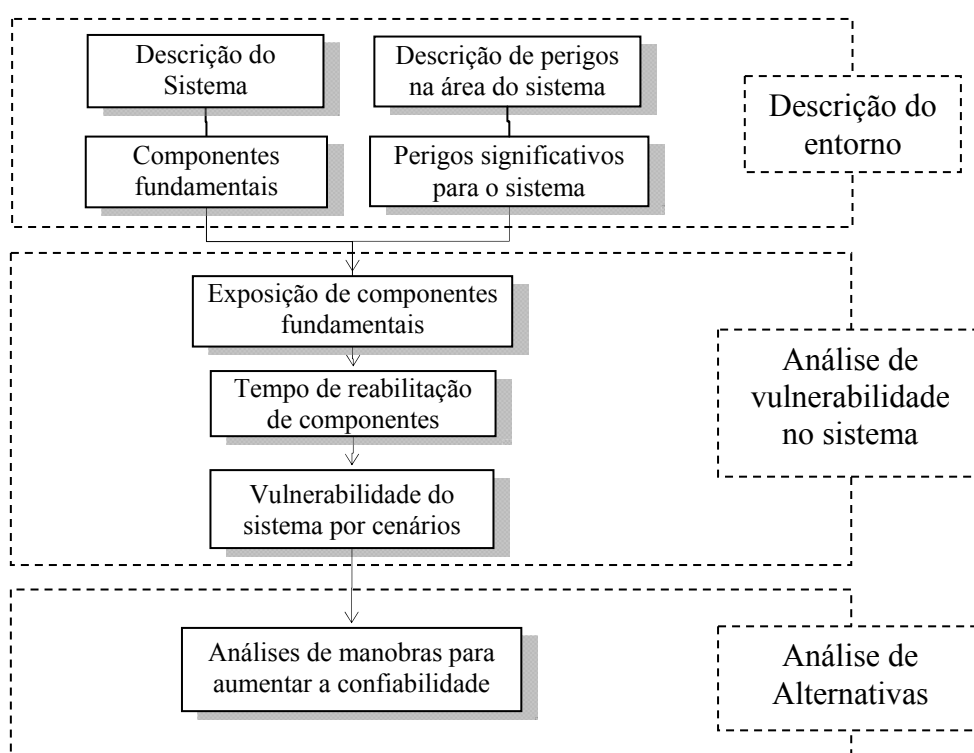


Figura 4 - Esquema geral de avaliação de vulnerabilidade a perigos ambientais

Fonte: adaptado de CÁNEPA, 1982; ALA 2002a e ALA, 2002b

Por último, a análise de alternativa de abastecimento é realizada avaliando a redução da vulnerabilidade no sistema quando são realizadas manobras de redução de demanda e armazenamento emergencial de água. A seguir se detalha cada um dos pontos considerados na Figura 4.

3.1 Descrição do entorno do sistema de abastecimento de água

O objetivo desta fase é relacionar o sistema de abastecimento de água com o contexto geográfico. Desta forma são conjugados os perigos e os componentes do sistema e são

determinados os componentes expostos. Os dados coletados foram localizados no mapa da área de estudo, considerando a rede de distribuição de água e as cotas de inundação do setor.

3.1.1 Descrição do sistema de abastecimento de água

Considera-se componente todo elemento com características específicas ou funções determinadas dentro do sistema. Assim, todos os trechos, as estações de tratamento e as estações de bombeamento são componentes deste. Nesta pesquisa, o aspecto principal na descrição do sistema tem a ver com a sua configuração, a localização de cada componente e as suas características. Os dados espaciais dos elementos do sistema posteriormente são comparados com a localização de perigos na área de estudo.

A quantidade de água requerida em cada nó é definida pelo consumo em condições normais e emergenciais. O consumo estabelecido a cada nó em condições normais é obtido dos dados proporcionados pelo operador do sistema, segundo dados históricos de distribuição de água. A vazão disponível nos nós em situação de emergência depende dos resultados obtidos nas simulações hidráulicas.

No que se refere aos trechos, para fins de análises hidráulicas, só foram considerados os de diâmetro superior a 100 mm. Pela importância da configuração no desempenho do sistema, não se realiza simplificação dos circuitos da rede.

3.1.2 Descrição de perigos na área do sistema de abastecimento de água

A avaliação de perigos está dividida em duas partes. Na primeira, foram avaliados os eventos hidrometeorológicos que podem afetar o sistema de abastecimento de água, considerando principalmente aqueles ocorridos nas áreas de estudo ou simulações baseadas nas condições locais, ainda que não tenham provocado a interrupção no fornecimento de água. Na segunda parte, foram identificados os perigos existentes no trajeto do sistema de abastecimento de água, considerando perigos naturais que podem provocar uma emergência.

A avaliação do potencial de perigo das inundações na área correspondente ao sistema de abastecimento de água está baseada em um estudo publicado pelo Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) da República Dominicana. O INDRHI publicou no ano de 2002 o Estudo de Controle de Inundações na Bacia do rio Yaque del Norte, realizado por SOGREAH/SERCITEC, em que foram estabelecidas as cotas de inundação para períodos de recorrência de precipitação de 25 a 500 anos. No ano de 2005, o INDRHI publicou o Atlas de Inundações no rio Yaque del Norte, cujo trabalho foi realizado a partir dos dados do estudo do SOGREAH/SERCITEC.

Do Atlas foi selecionado o “Tramo Pastor-Quinigua”, que corresponde a Santiago de los Caballeros. As simulações das cotas de inundação nesse Atlas foram realizadas com base nos dados de SOGREAH/SERCITEC (2002), e o geoprocessamento da informação foi realizada pelo Departamento de Geomática do INDRHI. Desta forma, foi possível comparar as cotas de inundação e o sistema de abastecimento de água, localizados em mapas cartográficos e na fotografia aérea da área de estudo.

No que se refere à identificação de perigos existentes no trajeto do sistema, esta parte foi realizada por meio de entrevistas com técnicos que têm participado na gestão de emergências no fornecimento de água, da revisão de relatórios de avaliação de danos em casos de emergências, da localização de pontos de interesse na fotografia aérea e em mapas da cidade.

As entrevistas foram realizadas com cinco técnicos com experiências em casos de emergências e que exercem postos nas áreas de manutenção ou operação de redes no sistema de água do município de Santiago de los Caballeros. Depois de realizadas as entrevistas, a revisão de relatórios e da identificação de pontos de interesse foram realizadas visitas de campo, onde foram fotografadas as condições atuais dos diferentes locais, tanto onde há riscos altos quanto os baixos. *A priori* foram considerados pontos de alto risco os trechos transversais a rios ou córregos, trechos longitudinais a rios ou córregos na área exposta à erosão, componentes expostos à inundação e previamente afetados por ela.

3.1.3 Estabelecimento de componentes fundamentais

As equações (3) e (5) são utilizadas para determinar os trechos importantes segundo a vulnerabilidade e a quantidade de usuários afetados. Com a determinação dos componentes importantes para o funcionamento do sistema, tem-se a possibilidade de estabelecer os cenários que podem ser provocados pelos perigos identificados e a partir desse ponto realizar as simulações necessárias. No caso de nós, são considerados importantes os que abastecem hospitais e centros para detentos e os que têm maior demanda.

$$L_{imp-v} = (1 - R_v * F_t) * 100 \quad \text{para o período de falha} \quad (3)$$

$$U_{imp_{L-c}} = \frac{q_n^{req}}{Q_{total}} * 100 \quad \text{para } (R_{v_n} * F_{t_n}) < 0,90 \quad (5)$$

Para calcular a L_{imp-v} foi desenvolvido um aplicativo a partir das análises da vulnerabilidade. A equação (3) define uma vulnerabilidade intermédia para o sistema, isto porque não considera o Fator de Nó – F_n –. Dado que o F_n gera um valor de zero quando um nó não é abastecido em toda a simulação, isto impede discriminar a real influência da linha para o sistema. O cálculo de F_t e R_v é realizado com o algoritmo apresentado na Figura 6 do item 3.2.3.

A importância de cada trecho corresponde à vulnerabilidade, calculada a partir do Fator de Tempo e do Fator de Volume, quando um trecho está interrompido por todo o ciclo de simulação. O tempo de simulação neste caso é de 10 dias (240 horas). Este tempo corresponde ao tempo máximo que, segundo as entrevistas, um trecho pode ser consertado. Adicionalmente ao anterior, *a priori*, são considerados componentes importantes a ETA, a estação de bombeamento e a adutora de água tratada.

3.1.4 Identificação de perigos significativos para o sistema

Com as informações coletadas na fase anterior, foram realizados mapas relacionando os perigos, suas condições agravantes e os componentes do sistema de abastecimento de água. Como indicador de perigo foi utilizada a cota de inundação com relação a um componente exposto. Comumente, as áreas de inundação apresentam uma localização específica, por isso é preciso selecionar aquelas que afetam componentes fundamentais. A localização de componentes com relação à cota de inundação é determinada no mapa georeferenciado, realizado nesta pesquisa. As alturas dos componentes foram obtidas da memória de cálculo de ITALCONSULT (1972) e por meio das entrevistas aos técnicos chave.

A sobreposição das simulações de inundação com relação ao esquema da rede de distribuição de água permitiu estabelecer os componentes afetados, considerando as linhas de períodos de retornos de 25, 100 e 500 anos, segundo o INDRHI (2005).

Para fins de análise, um perigo é significativo quando em qualquer período de retorno de inundação o nível que atinge as águas é superior a um metro ou quando a força da água possa impactar de forma transversal um componente. Adicionalmente, é preciso realizar visitas de campo para localizar e georeferenciar córregos e canais pluviais e zonas de inundação onde componentes do sistema sejam expostos a danos.

3.2 Avaliação de vulnerabilidade no sistema de abastecimento de água

A partir da configuração do sistema e de suas características hidráulicas, foram avaliados os cenários prováveis segundo os danos observados. Para isso foi utilizado o software EPANET 2.0, desenvolvido pela USEPA (ROSSMAN, 2000). Este software é a base para determinar a confiabilidade hidráulica do sistema e para analisar as possibilidades de fornecer água, considerando os prováveis danos que provoque um perigo. Na Figura 5 apresenta-se o diagrama de fluxo geral da análise de vulnerabilidade para casos de emergências considerando danos.

A partir dos perigos avaliados, são estimados os impactos esperados sobre o sistema de abastecimento de água. Desta forma, são construídos diferentes cenários de danos no sistema de abastecimento de água. Um cenário de emergência é o resultado de danos em uma ou vários trechos do sistema que podem provocar vazamento em um nó relacionado à linha ou pode produzir a interrupção desta.

A vulnerabilidade física do componente depende da possibilidade de trabalhar submerso e da possibilidade de resistir ao impacto direto da força da água (tubulações sobre ponte ou abaixo do leito de rio). Conforme mostra a Figura 5, a vulnerabilidade hidráulica depende da exposição dos componentes e do desempenho do sistema quando o componente exposto falha.

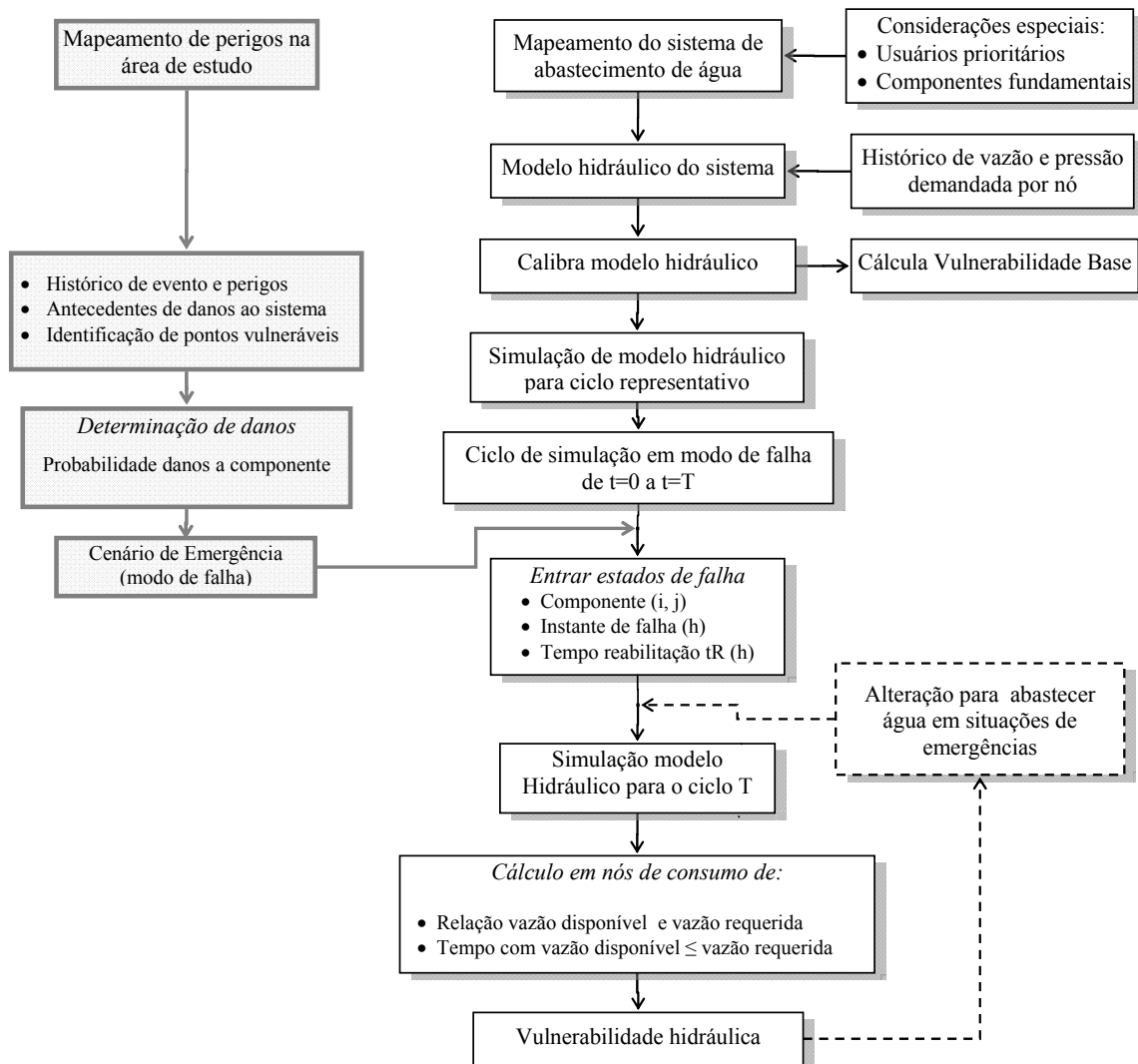


Figura 5 - Esquema detalhado da metodologia para avaliar o abastecimento de água em casos de emergência

Fonte: adaptado de CÁNEPA, 1982; OSTFELD et al., 2002; ALA 2002a e ALA, 2002b

3.2.1 Exposição e danos a componentes fundamentais

Os danos provocados pelos perigos ambientais dependem da exposição e do tipo de componente, alguns componentes podem trabalhar em condições de alteração ambiental provocadas por um perigo, por exemplo, alguns componentes podem trabalhar em condições de inundação e outros não.

Os impactos das inundações sobre sistemas de água podem significar a remoção de tubulações, danos aos equipamentos eletromecânicos, destruição da obra de captação, entre outros. Nas análises realizadas em Santiago de los Caballeros, considera-se que o principal fator de risco é a altura da água no ponto do componente e o arraste de trechos. Em geral, se estabelece que uma altura maior que um metro significa um risco importante em casos de equipamento eletromecânico e estação de tratamento. No caso dos trechos, estão expostos aqueles localizados em pontes, em leito ou margem de rio.

As cotas de inundação de 25, 100 e 500 anos de período de retorno são consideradas como os limites das áreas expostas. Utilizando o modelo construído por

SOGREAH/SERCITEC para o INDRHI, segundo simulações de eventos hidrometeorológicos para a bacia do rio Yaque del Norte, os componentes dentro destas cotas e com um nível de água maior que um metro são considerados de alto risco frente a inundação.

Os componentes fundamentais são determinados conforme o item 3.1.3, já com a sobreposição das cotas de inundações ao esquema da rede de distribuição de água são identificados aqueles que são fundamentais e estão expostos.

3.2.2 Determinação do tempo de reabilitação de componentes

A estimativa do tempo de reabilitação de danos foi realizada a partir dos registros de manutenção de redes e dos tempos atribuídos pelos técnicos mais experientes na gestão de emergências. O cálculo de tempo de reabilitação é realizado com a equação (22). No Apêndice E apresentam-se as entrevistas realizadas com técnicos da CORAASAN, para determinar o tempo de reparação dos diferentes componentes do sistema.

Com a revisão dos dados de reparações e as entrevistas foi possível estimar o tempo requerido para realizar a reabilitação de trechos. O tempo estimado de manutenção (t_M), o tempo de espera (t_E), o tempo de obtenção de componentes (t_P) e o tempo para reoperação (t_O) como foi estabelecido tendem a ser similares aos tempos necessários para reabilitação em situações normais. No caso do tempo de identificação da avaria (t_I) e o tempo de acesso ao local afetado (t_A), os entrevistados sugeriram tempos considerando condição normal.

Os eventos hidrometeorológicos que têm afetado Santiago de los Caballeros e que provocaram danos no seu sistema de água são experiências que em muitos casos permitem obter dados sobre tempo de reabilitação e ações de contingência. Os principais eventos são: o furacão de 1998, a tormenta tropical de 2004 e o sismo de 2003, os episódios de inundação de 2007, entre outros. A revisão de documentos ou relatórios de ações nos eventos indicados permitiu conhecer o tempo de reabilitação de alguns componentes, mas estes dados tendem a ser escassos.

Com os tempos de reabilitação obtidos das entrevistas e comparados com os tempos de manutenção em condições normais foram determinados os tempos máximos, médio e mínimo necessários para realizar a reabilitação. Os tempos de reabilitação para trechos e estação de bombeamento foram gerados de maneira aleatória simples, a partir do tempo mínimo e do tempo máximo de reabilitação definidos pelos técnicos. A equação (23) foi utilizada para calcular o tempo de reabilitação aleatória.

$$t_R = \text{RND}(t_{\text{mín}}, t_{\text{máx}}) \quad (23)$$

3.2.3 Análise da vulnerabilidade do sistema por cenários prováveis

A partir do impacto dos perigos nos componentes mais importantes foram criados diferentes cenários. O desvio entre cada cenário e o desempenho do sistema em condição normal definem o nível de vulnerabilidade em cada estado de operação. O desempenho do sistema vai depender dos danos provocados nos componentes fundamentais e da capacidade

do sistema de assimilar os danos e satisfazer a vazão requerida, ou seja, a vulnerabilidade (ou confiabilidade) hidráulica, considerando os danos ocorridos, vai definir o desempenho do sistema em casos de emergência.

Os cálculos hidráulicos são realizados com o módulo *Toolkit-EPANET*, que permite realizar simulações contínuas nas condições desejadas. O módulo possibilita a construção de uma interface de programação para comandar as simulações em EPANET 2.0. O software utilizado para programar foi o Visual Basic 6.0, com o qual se programou o aplicativo para determinar os trechos importantes e a vulnerabilidade do sistema. O algoritmo apresentado na Figura 6 foi utilizado para realizar as análises hidráulicas no sistema.

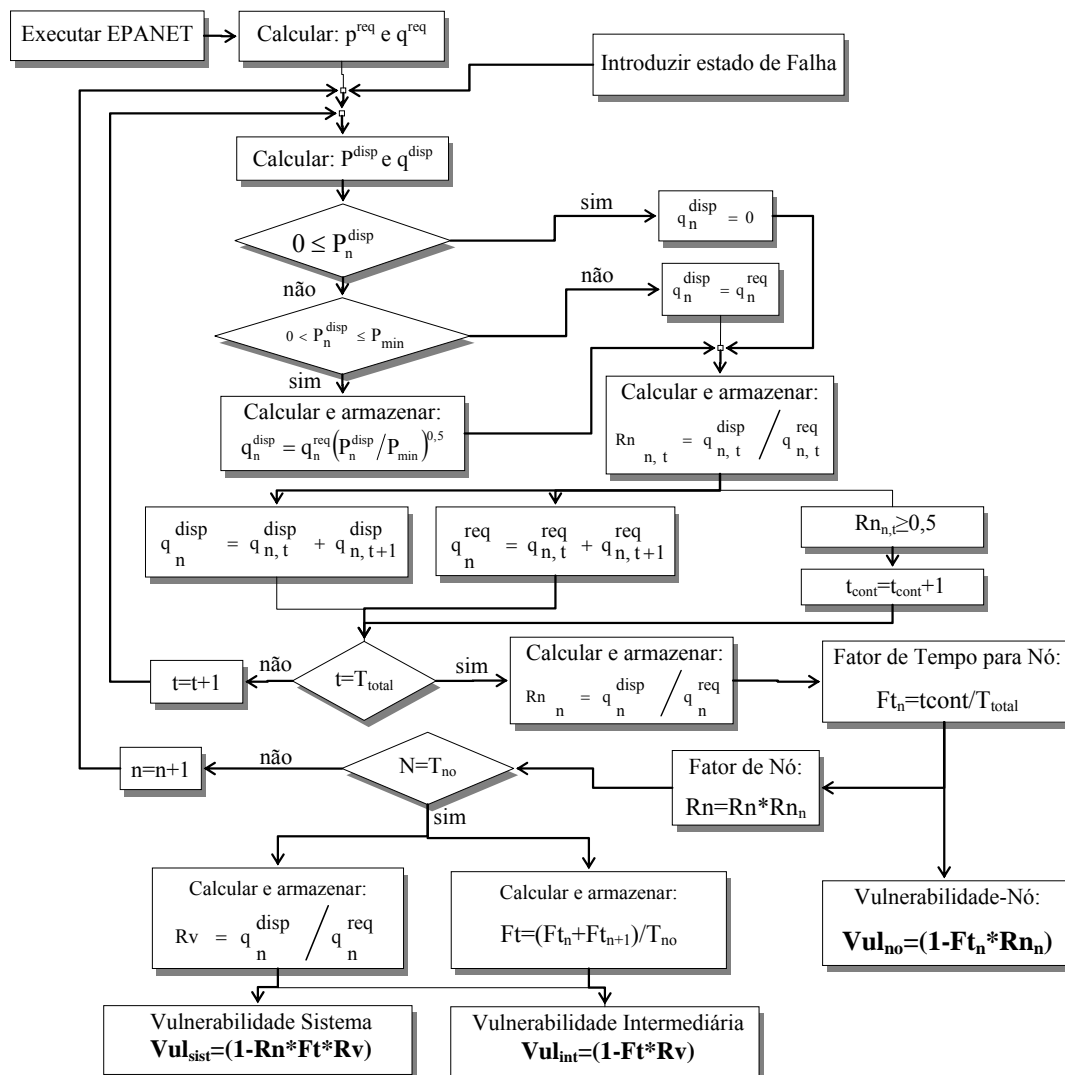


Figura 6 - Algoritmo para determinar a vulnerabilidade de sistemas de água
 Fonte: adaptado de OSTFELD et al., 2002; GUPTA; BHAVE, 1996

Os modos ou estados de operação normal e em falha foram simulados interrompendo a vazão no trecho afetado. As simulações realizadas com EPANET 2.0 avaliam simultaneamente dados de operações em condições normais e emergenciais, em que a vulnerabilidade do sistema e do nó é calculada comparando a vazão disponível em estado de falha com a vazão requerida em estado normal.

A confiabilidade de um sistema corresponde à probabilidade de que em um tempo determinado o sistema possa satisfazer a demanda e pressão requerida. A confiabilidade hidráulica do sistema é medida utilizando a equação (11) com a vulnerabilidade como complemento, calculada através da equação (20). No algoritmo proposto para determinar a vulnerabilidade do sistema, os parâmetros são calculados usando os dados históricos (base de dados) da CORAASAN e simulando cenários criados segundo o impacto provável dos perigos ambientais sobre componentes importantes.

Para os cálculos são fixadas as condições de operação do sistema de água. A pressão mínima estabelecida para o sistema pode ser de 10 a 30 m para cada nó. Neste trabalho estabelece-se uma pressão mínima de 20 m, que é a pressão mínima de projeto para o sistema de água de Santiago de los Caballeros. A vazão requerida por cada nó é aquela calculada com a simulação em caso normal. Considera-se que um trecho exposto à inundação é fechado para fins de manutenção ou para evitar contaminação da água.

3.3 Análise de alternativas de abastecimento em situações de emergência

Foram avaliadas algumas alternativas de abastecimento de água, considerando os piores cenários provocados por uma inundação. O indicador de abastecimento no sistema e em determinados nós é vulnerável quando se realizam alterações na disponibilidade de água em nós considerados não-importantes.

Considera-se que o trecho estava totalmente interrompido e que existe falha na ETA e/ou na estação de bombas. As manobras nas redes são simuladas como redução programada da vazão disponível em determinados nós. Uma diminuição da demanda de água em nós não-importantes corresponde a uma manobra de interrupção de um trecho que abastece um nó com essas características.

Para fins de análise, foi considerado que a quantidade mínima de água a fornecer é de $20 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$, que corresponde a 10% da dotação média no sistema. O tempo máximo esperado sem abastecer água a um setor é de 48 horas, a partir desse ponto deve considerar-se estado de emergência. Uma vulnerabilidade menor que 10%, calculada em 30 dias de simulação, corresponde a aproximadamente 48 horas sem serviço de água, o que define uma emergência menor. Uma emergência é média quando a vulnerabilidade encontra-se entre 10 e 30%. A emergência maior é determinada por uma vulnerabilidade superior que 30% nos 30 dias estabelecidos para simulação, que corresponde a 216 horas sem serviço.

A determinação de manobras com possibilidades de aumentar a vazão disponível em um nó importante está determinada pela redução da vulnerabilidade no nó específico e no sistema. Foram realizadas simulações reduzindo a demanda base de nós não-importantes, as quais determinaram as opções de abastecimento para os cenários estudados.

Por último, foi analisada a possibilidade de satisfazer a demanda de água em um nó importante, com interrupção total da vazão requerida no nó. Neste caso é considerada a possibilidade de manter água armazenada durante a emergência.

3.4 Programação do aplicativo para determinar a vulnerabilidade hidráulica

O módulo *Toolkit*-EPANET permitiu realizar as simulações de forma simultânea em condição normal e de falha. Com o algoritmo da Figura 6, foi possível determinar a confiabilidade ou a vulnerabilidade hidráulica de um sistema determinado, neste caso o aplicativo foi programado em Visual Basic 6.0, baseado nos recursos do EPANET 2.0 versão 12. O algoritmo possibilita: *estabelecer os componentes fundamentais, analisar a vulnerabilidade do sistema nos cenários prováveis e analisar alternativas de abastecimento em situações de emergência*. Os cálculos foram realizados com o algoritmo variando condições de falhas para determinar os trechos importantes e alternativas de abastecimento, considerando a vulnerabilidade hidráulica.

A determinação da importância dos diferentes trechos do sistema ou componentes fundamentais foi realizada a partir do cálculo da vulnerabilidade intermediária para o sistema ($V_{i, \text{int}}$). Os trechos importantes por vulnerabilidade foram determinados com a interrupção de um trecho pelo total do tempo de simulação.

O ponto central do algoritmo é o cálculo da vazão disponível (q_n^{disp}) no estado de falha e a vazão requerida (q_n^{req}) no estado normal, de maneira paralela geram-se tempos aleatórios de duração da falha. A partir desse ponto, determina-se a vulnerabilidade hidráulica nos nós e no sistema. Para determinar a vazão requerida, o *Toolkit*-EPANET proporciona o parâmetro *EN_DEMAND* utilizado juntamente com o comando *ENgetnodevalue*, para obter o valor simulado. A vazão disponível depende da pressão no nó em caso de falha e a pressão disponível (P_n^{disp}) é determinada com o parâmetro *EN_PRESSURE*, considerando uma pressão mínima (P_n^{min}) de 20 m.

Para simular o estado de falha, interrompe-se um trecho com a função *EN_STATUS* (estado de trecho igual “1” para aberto e “0” para fechado) do comando de programação *ENsetlinkvalue*. A interrupção do fluxo de água é igual ao tempo necessário para realizar a reabilitação, calculados aleatoriamente.

No que se refere à análise de alternativas de abastecimento, o programa foi desenvolvido a partir da redução da demanda base, com o parâmetro *EN_BASEDEMAND* executado com o comando *ENsetnodevalue*. Também foi simulado o armazenamento emergencial de água, que foi realizado com os comandos *EN_TANKDIAM*, *EN_MAXLEVEL* e *EN_TANKLEVEL*, os quais estabelecem o diâmetro do reservatório, o nível máximo de água no reservatório e o nível do reservatório no momento da simulação de falha, respectivamente.

No EPANET 2.0 é gerado um arquivo com extensão NET próprio do software para realizar os cálculos hidráulicos de um sistema determinado. Para utilizar o aplicativo de programação, é preciso converter o arquivo de EPANET 2.0 em um de texto, o que é possível realizar exportando o esquema hidráulico para um arquivo de texto com extensão INP, que pode ser lido desde o aplicativo.

O aplicativo *Vul_Perigo*, que permite a interface com EPANET 2.0, é a base para realizar as operações necessárias para determinar os trechos importantes e as alternativas de

pós-impacto em trechos importantes ou expostos. No Apêndice G apresenta-se um modelo genérico do aplicativo Vul_Perigo, segundo a sintaxe do linguagem Visual Basic 6.0 e EPANET 2.0 versão 12, o arquivo do esquema hidráulico do sistema de abastecimento de água é o CORAASAN.INP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição do entorno do sistema

Antes de descrever o sistema de abastecimento da área de estudo, é conveniente conhecer um pouco das características físicas e demográficas do país e do município em que foi realizada a pesquisa. A República Dominicana encontra-se localizada na Ilha A Espanhola, onde divide fronteira com a República do Haiti. A área total da Ilha é de 77.914 km², dos quais 48.670 km² (62,5%) correspondem ao território dominicano, na parte Leste da Ilha. As coordenadas geográficas limites da nação Dominicana são: 17° 36'-19° 58' latitude Norte e 68° 19'-72° 01' longitude Oeste, no Mar Caribe.

Segundo o censo do ano 2002, a população total da República Dominicana era de 7,98 milhões de habitantes, sendo que Santo Domingo, a capital do país, tinha aproximadamente 860 mil habitantes (11% do total nacional) e na Região Distrito Nacional, composta pela província de Santo Domingo e o Distrito Nacional, a população é de 2.54 milhões (32% do total nacional) sendo que 79% dos habitantes vive em zona urbana (ONE, 2002).

Para o mesmo ano no município de Santiago de los Caballeros a população era de cerca de 583 mil (7.30% do total nacional), com 82% na zona urbana (ONE, 2002). Atualmente é o terceiro município com maior número de habitantes e desde a fundação da república, em 1844, tem sido considerada a segunda cidade em importância da nação, tanto no aspecto econômico como no demográfico.

Na República Dominicana existem cinco bacias hidrográficas (BH) importantes: a BH rio Yaque del Norte, com uma área de aproximadamente de 7.044 km² e precipitação de 500 a 2.000 mm; A BH rio Yaque del Sur, com uma área de 4.972 km² e precipitação de 700 a 1.500 mm; a BH rio Yuna, com 5.630 km² e precipitação de 1.170 a 2.250 mm; a BH rio Ozama, com 2.706 km² e precipitação de 1.400 a 2.250 mm; e, a BH rio Artibonito, com uma área de 2.653 km² e precipitação de 1.200 a 2.000 mm (FAO, 2008)

O Vale do Cibao, macro região à que pertence o município de Santiago de los Caballeros, tem um comprimento de aproximadamente 230 km e entre 15 e 30 km de largura, ao Norte está limitado pela Cordilheira Septentrional e ao Sul pela Cordilheira Central. Este vale é uma das regiões do país com maior produção agrícola e industrial. O município de Santiago de los Caballeros está localizado totalmente dentro do vale do Cibao. Toda a área da cidade encontra-se localizada na bacia do rio Yaque del Norte, a maior bacia hidrográfica e a mais importante da ilha. A Figura 7 mostra a localização da ilha A Espanhola (República Dominicana e Haiti) na Região do Caribe e a localização de Santiago de los Caballeros na República Dominicana.

A área metropolitana de Santiago de los Caballeros é de aproximadamente 70 km² e encontra-se a uma altura média 170 m com relação ao nível do mar. A precipitação normal na província de Santiago de los Caballeros é de 945 mm de chuva por ano (período 1971-2000), tendo aproximadamente 94 dias de chuvas normais e uma temperatura média anual de aproximadamente 31 °C (ONAMET, 2006).

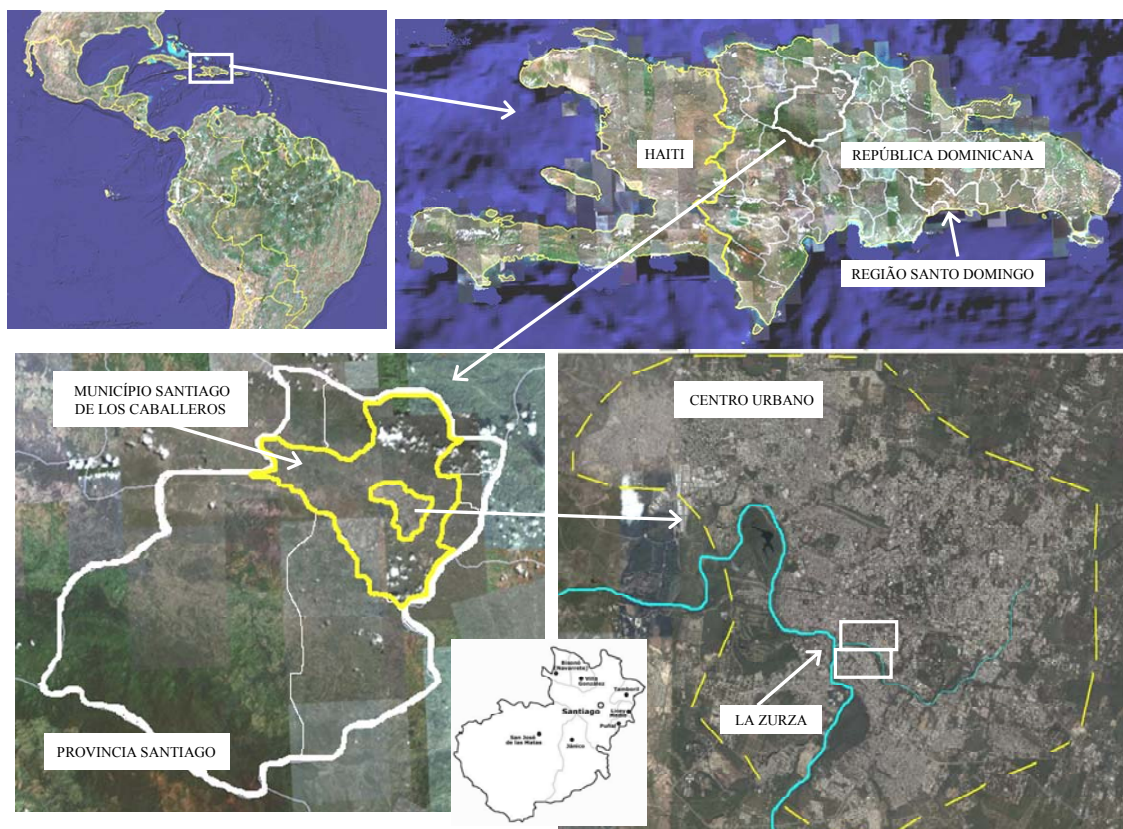


Figura 7 - Mapa de localização da República Dominicana e Santiago de los Caballeros

4.1.1 Descrição do sistema de água de Santiago de los Caballeros

O abastecimento de água em Santiago de los Caballeros é de responsabilidade da Corporación de Acueducto e Alcantarillado de Santiago (CORAASAN), que por sua trajetória administrativa, é considerada a empresa de água mais organizada do país (SEMARN/SGA, 2001). Isto está relacionado, principalmente, com a cultura de pagamento de serviços de água e esgoto por parte da população do município.

A CORAASAN foi criada com a lei nº 562/1977, com as funções de administrar, operar e manter os sistemas de abastecimento de água, o esgoto sanitário e a rede de drenagem da cidade de Santiago de los Caballeros. A CORAASAN deve coordenar sua atuação com as prefeituras, com INAPA, a Secretaria de Estado de Saúde Pública e Previdência Social (SESPAS, siglas em espanhol), com a Pontifícia Universidade Católica Madre e Maestra (PUCMM), e com os setores usuários de água.

Santiago de los Caballeros é um dos municípios com melhor cobertura de abastecimento de água, onde 97% dos usuários tem acesso a água potável e 72% com serviço dentro da residências. A média da cobertura de abastecimento de água para todo o país é de aproximadamente 79%; no Distrito Nacional (Santo Domingo), a cobertura de água encanada é de 97%, mas dentro de casa é de apenas 55% (ONE, 2002). Pode-se dizer que o município de Santiago de los Caballeros tem um dos melhores serviços de abastecimento de água da República Dominicana e o melhor entre as grandes cidades do país.

Em 2005, o sistema de abastecimento de água do município de Santiago de los Caballeros era composto por 12 reservatórios, 7 dos quais são de concreto e os restantes de

ação. A capacidade total de armazenamento em reservatórios era de 72.000 m³. Na Tabela 5 são apresentadas as capacidades e materiais de construção dos reservatórios.

A capacidade instalada de tratamento de água é de 6,70 m³.s⁻¹, produzido por quatro estações de tratamento de água potável. A ETA denominada La Noriega I tem uma capacidade de tratamento nominal de 4,70 m³.s⁻¹; duas ETAs no bairro Nibaje, que juntas produzem 1 m³.s⁻¹; e no ano de 2007 foi construída outra ETA, denominada La Noriega II, com uma produção de 1 m³.s⁻¹.

A principal obra de captação das ETAs La Noriega está situada na barragem do rio Bao na cota 303 m e a 24 km da cidade de Santiago de los Caballeros na cota 170 m. A barragem tem uma capacidade nominal de armazenamento de 244 milhões de m³, com uso exclusivo para o abastecimento de água das cidades de Moca e Santiago de los Caballeros.

A barragem de Bao encontra-se unida com a barragem de Tavera por um canal aberto a partir da cota 311 m, com isto o volume total do complexo Tavera-Bao é de 417 milhões de m³ quando atinge a altura de 327 m, cota normal de operação (INDRHI, 2006). A vazão disponível nesta captação é de 4 m³.s⁻¹ por gravidade. Uma captação auxiliar encontra-se na barragem de López, na cota 225 m, com capacidade para a adução de 2 m³.s⁻¹, por meio de 10 bombas com capacidade de 0,126 m³.s⁻¹ cada uma.

Tabela 3 - Consumo de água em quatro áreas, segundo a divisão comercial da empresa CORAASAN para o ano 2000

Agência Comercial	Consumo de água (m³.s⁻¹)	Total de casas	Total de habitantes	Doméstico Per capita (m³.d⁻¹)	Total industrial	Industrial Per capita (m³.d⁻¹)
Santiago de los Caballeros*	41.930	37.090	203.995	206	57.988	284
Gurabo	8.177	6.592	36.256	226	9.500	262
Cien Fuegos	8.191	7.715	42.433	193	11.803	278
Bella Vista	5.506	5.212	28.666	192	6.618	231

* Inclui La Zurza, La Trinitaria, Zona Sur e Tierra Alta.

Fonte: JICA/CORAASAN, 2001

No ano de 2000, o consumo total de água em Santiago de los Caballeros foi de 133.378 m³.d⁻¹, com aproximadamente 107.000 usuários com e sem medição. O consumo médio da cidade é de 189 L.hab⁻¹.d⁻¹, sendo o mínimo de 118 L.hab⁻¹.d⁻¹ e o máximo de 247 L.hab⁻¹.d⁻¹ (JICA/CORAASAN, 2001). A Tabela 3 mostra os dados de consumo por grandes setores e tipo de usuário na cidade de Santiago de los Caballeros no ano de 2000.

Na Tabela 4 é apresentada a relação do comprimento das tubulações no sistema de água para os quatro setores indicados. Da extensão total da rede, a porcentagem que corresponde a cada setor é o seguinte: 16% para La Zurza, 26,37 % para Cerro de Gurabo, 26,79% para Cien Fuegos e 30,74% para o setor Bella Vista. La Zurza é o setor mais antigo com sistema de tratamento e distribuição de água e é o centro com maior densidade de comércio e residências por quilômetro quadrado.

Tabela 4 - Comprimento das tubulações no sistema de abastecimento de água de Santiago de los Caballeros por setor segundo o diâmetro dos trechos

Diâmetro (mm)	Comprimento (m)				
	S1 La Zurza	S2 Cerro de Gurabo	S3 Zona Sur	S4 Bella Vista	Total por Diâmetro
200	3.897,80	1.605,62	688,41	6.968,91	13.160,74
250	127,11	4.343,27			4.470,38
300	3.595,48	7.499,01	9.086,64	8.236,06	28.417,19
400	4.167,96	1.687,71	2.725,75	1.956,15	10.537,57
450	1.505,85	5.058,28	3.788,27	3.325,65	13.678,05
500		380,51	5.856,46	5.324,09	11.561,06
600		2.523,51	515,16	245,94	3.284,61
750	4.063,12	1.080,37	3.184,59	6.877,03	15.205,11
900		544,56	3.041,83	214,91	3.801,30
1050		3.715,49			3.715,49
Total por setor	17.357,32	28.438,33	28.887,11	33.148,74	107.831,50

Fonte: CORAASAN, 2007

Na Figura 8 apresenta-se o esquema geral do sistema de distribuição de água da cidade de Santiago de los Caballeros em relação ao mapa cartográfico da cidade. O esquema representa as linhas, reservatórios e ETAs que formam parte de quatro setores do sistema de água de Santiago de los Caballeros.

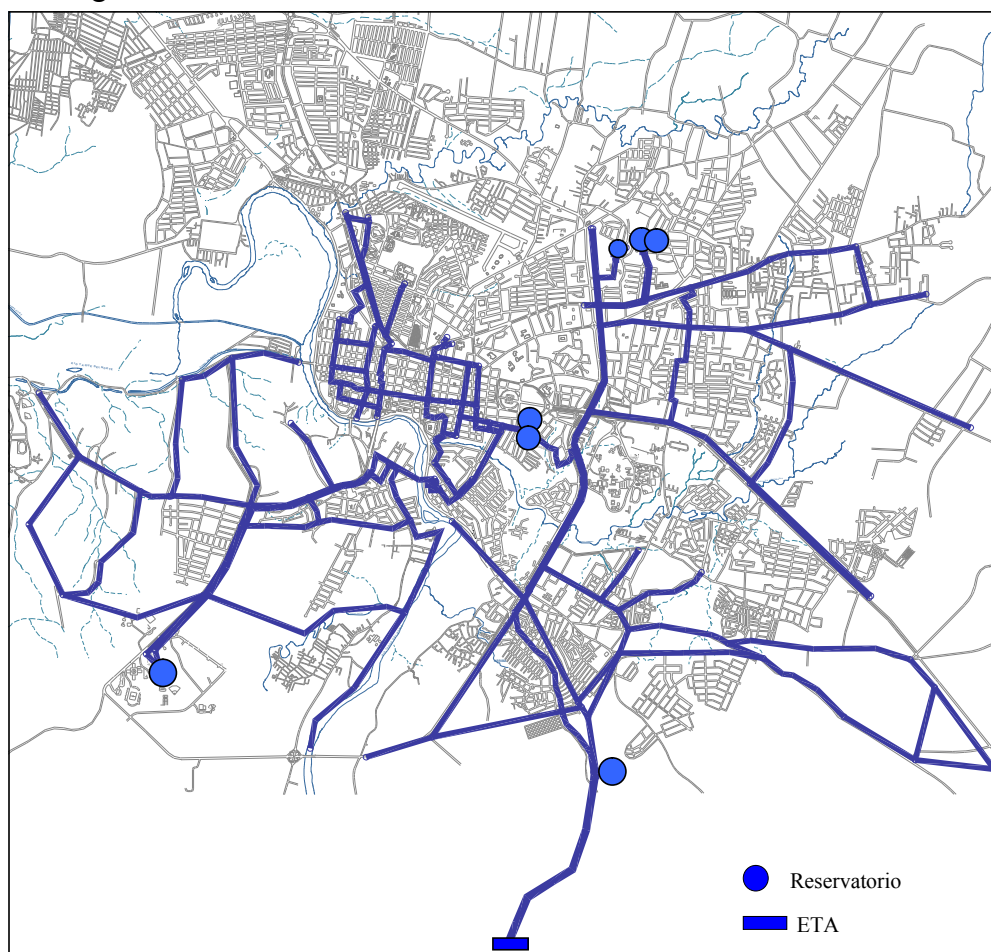


Figura 8 - Rede de distribuição de água de Santiago de los Caballeros

Fonte: adaptado de CORAASAN, 2007

A Figura 9 apresenta o sistema de água com 4 dos 6 setores que conformam o sistema. O setor 1 corresponde a La Zurza, centro histórico, comercial e institucional da cidade; o setor dois é Cerros de Gurabo, zona residencial de renda média alta e com topografia acidentada; o setor 3 é a Zona Sur, área residencial de renda baixa e atualmente com a maior expansão populacional; por último, o setor 4 ou Bella Vista, área residencial de renda média. Outros dois setores são Tierra Alta e La Trinitaria, dos quais não se tem informação detalhada. Os quatro setores apresentados somam um total de 108 km de rede, com tubulações em aço, com diâmetro mínimo de 200 mm e máximo de 1.500 mm.

Os setores La Zurza e Bella Vista são os únicos que possuem tratamento de água exclusivo a partir das ETAs Nibaje-25 e Nibaje-10, respectivamente. Também podem ser abastecidos com as ETAs de La Noriega. Do ponto de vista de redundância, só estes dois setores têm possibilidade de serem abastecidos pelas quatro ETAs.

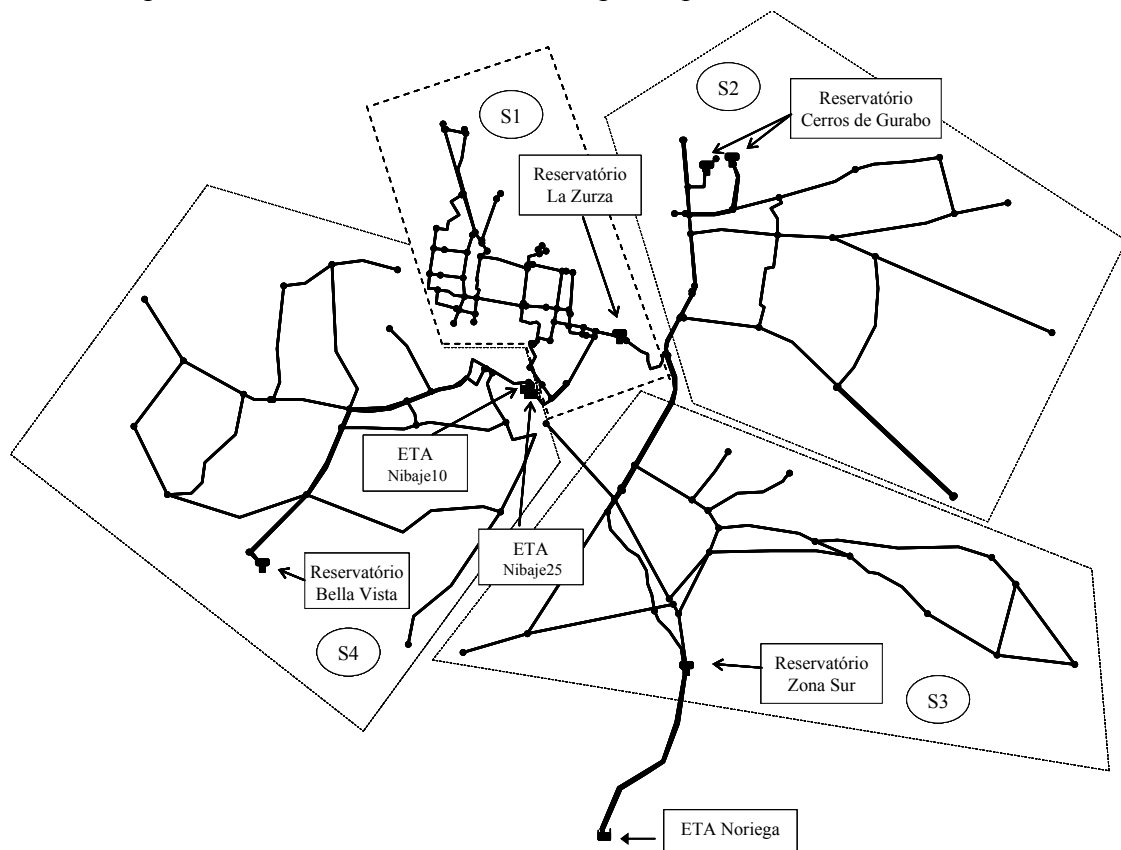


Figura 9 - Esquema geral do sistema de água de Santiago de los Caballeros
Fonte: adaptado de CORAASAN, 2007

Os reservatórios dos quatro setores são detalhados na Tabela 5, o volume total que pode ser armazenado é de aproximadamente 72.075 m³. Os reservatórios de aço foram construídos no ano de 1975 e os de concreto em 1995, com exceção do reservatório de Bella Vista, que iniciou as operações em 2006.

Tabela 5 - Reservatórios do sistema de água de Santiago de los Caballeros

Setor	Reservatório	Material construção	Capacidade m ³
S1	La Zurza 1	Aço	7.580
	La Zurza 2	Aço	7.580
S2	Cerros de Gurabo 1	Aço	11.370
	Cerros de Gurabo 2	Concreto	11.370
	Cerros de Gurabo 3	Aço	1.895
S3	Zona Sur	Concreto	22.629
S4	Bella Vista	Concreto	9.651
Total			72.075

Fonte: CORAASAN, 2007.

Como foi mencionado, o sistema de água de Santiago de los Caballeros possui quatro estações de tratamento de água. O setor de La Zurza é abastecido pela ETA Nibaje-25 e o setor de Bella Vista pela ETA Nibaje-10. Finalmente estão as ETAs La Noriega 1 e 2, que podem abastecer todos os setores. A Tabela 6 apresenta as diferentes ETAs do sistema, sua produção, o tipo de energia e o ano de construção. Os setores La Zurza e Bella Vista, em geral, são abastecidos exclusivamente com as ETAs Nibaje-25 e Nibaje-10, respectivamente.

Tabela 6 - Estações de tratamento no sistema de água de Santiago de los Caballeros

ETA	Capacidade		Energia	Ano de construção
	m ³ .s ⁻¹	L.s ⁻¹		
La Noriega 1	4,00	4000	Gravidade	1995
La Noriega 2	1,00	1000	Gravidade	2006
Nibaje-25	1,10	1100	Bomba	1975
Nibaje-10	0,44	440	Bomba	1975
Total	6,54	6540		

Fonte: CORAASAN, 2007

Analisando os setores apresentados na Figura 9, observa-se que os setores Cerros de Gurabo e Zona Sur são os que apresentam menor redundância, por terem uma configuração ramificada. No caso dos setores Bella Vista e La Zurza, a configuração da rede apresenta circuitos, tendo como objetivo garantir a redundância na rede. O setor La Zurza, segundo o relatório-memória apresentado pela empresa construtora do sistema base da cidade, o critério fundamental na eleição do traçado das linhas foi que zonas importantes da cidade estejam servidas por mais de um trecho (ITALCONSULT, 1972). Portanto, desde a concepção do sistema foi previsto a necessidade de redundância na rede.

Descrição do sistema de abastecimento de água do setor La Zurza

Para realizar esta pesquisa foi escolhido o setor La Zurza, por ser o mais antigo da cidade e o de maior importância. Em La Zurza se concentra o maior número de instituições públicas, uma alta densidade populacional, além de ser a área mais afetada por inundações. Segundo a CORAASAN, a dotação de água neste setor é cerca de $200 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Na Figura 10 é observado o circuito de rede do setor La Zurza, segundo a atualização para o ano 2006, para os trechos maiores de 100 mm. A potabilização depende principalmente da ETA Nibaje-25, mas também existe uma entrada emergencial para água ETA La Noriega. Na Figura 10 observa-se também a localização de três pontos importantes para o abastecimento, que correspondem a locais abastecidos pelos nós N-8 (ponto 3), N-13 (ponto 1) e N-62 (ponto 2).

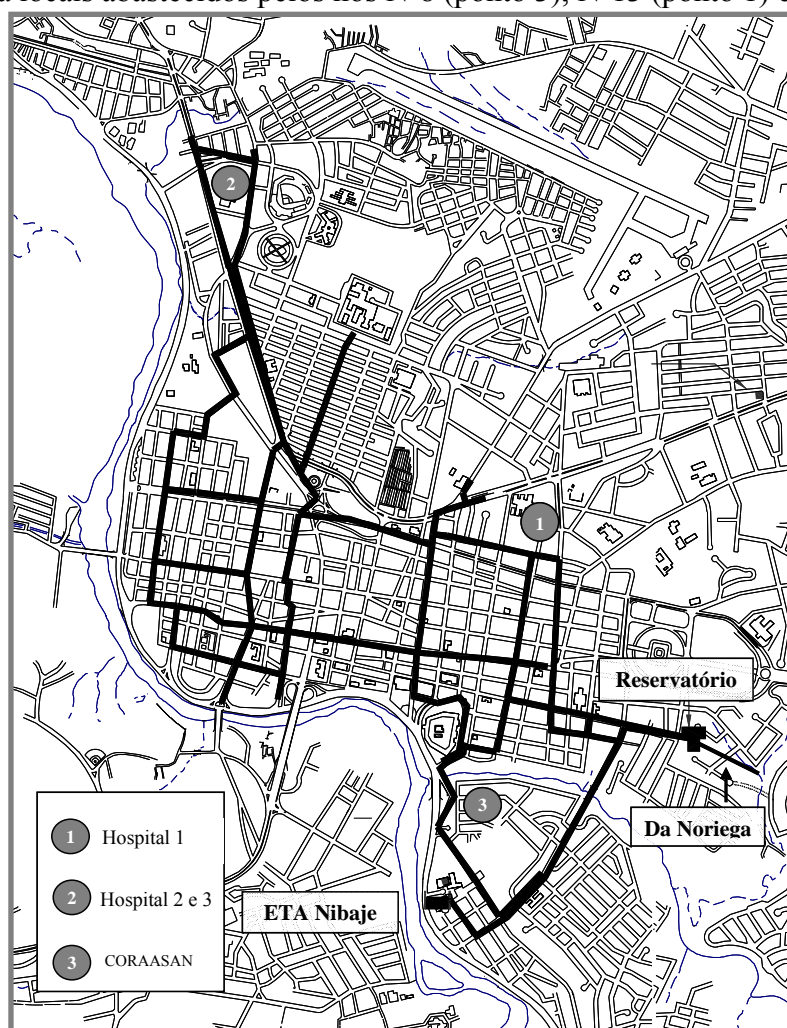


Figura 10 - Mapa cartográfico do setor La Zurza (S1) e Esquema do Sistema de Tratamento de água exclusivo da ETA Nibaje-25

Fonte: adaptado de CORAASAN, 2007

O sistema base de distribuição de água de Santiago de los Caballeros foi construído em 1963, quando foi iniciada a operação da ETA Nibaje-10, com capacidade de tratamento de 438 L.s^{-1} . Posteriormente, em 1975 foi construída a ETA Nibaje-25 com uma produção de 1.100 L.s^{-1} , nesse ano também foi realizada uma reconfiguração e ampliação da rede de distribuição de água.

O abastecimento de La Zurza depende de uma estação de bombeamento composta por quatro bombas de tipo vertical. Duas delas têm capacidade de 542 L.s^{-1} e as outras duas de 333 L.s^{-1} , para uma capacidade total de bombeamento de 1.750 L.s^{-1} . Esta estação conduz água até dois reservatórios de aço com capacidade para armazenar 7.580 m^3 cada um. Como parte de uma decisão de projeto, as bombas estão na cota 162,50 m, que corresponde a aproximadamente 5 m acima do nível normal do rio Yaque del Norte. Esta decisão foi tomada considerando as eventuais inundações que afetavam a área, já que entre o rio e a ETA há uma distância de aproximadamente 130 m. Na fotografia da Figura 11 é apresentado o conjunto de bombas da ETA Nibaje-25.



Figura 11 - Foto da estação de bombeamento da ETA Nibaje-25, Santiago de los Caballeros

A ETA Nibaje-25 ocupa uma área de 7.000 m^2 em cotas que vão de 154 m a 160 m. A água bruta desta ETA é conduzida desde a captação localizada no setor Pastor a 2 km da ETA. Nibaje-25 é uma ETA de filtração rápida com processo de coagulação, floculação, filtração e desinfecção. Como mencionado anteriormente, sua construção foi em 1975, tendo uma ampliação maior no ano 2000, quando foi totalmente automatizada. Na Figura 12 pode-se observar a ETA e a distância com relação ao rio Yaque del Norte.



Figura 12 - Estação de tratamento Nibaje-25 e rio Yaque del Norte (CORAASAN, 2007)

4.1.2 Relação entre perigos e sistemas de água na República Dominicana

A República Dominicana, devido à sua localização geográfica, é afetada por perigos naturais importantes. Por exemplo, encontra-se na rota mais provável de furacões e em uma área sísmogênica ativa no Caribe. Além destes dois perigos, as características orográficas de grande parte da ilha geram altos riscos de deslizamentos.

Por outro lado, como na maioria dos países em desenvolvimento, o crescimento urbano desorganizado cria condições de vulnerabilidade preocupantes. Nos principais centros urbanos é comum a ocupação de áreas de riscos, como encostas ou margens de rios.

Os registros históricos mostram que a Ilha é uma área frequentemente afetada por desastres naturais. Há registros de sismos, furacões, inundações, fogos florestais, entre outros. De 1871 a 1999 foram registrados 21 furacões importantes (STP/BID, 2001a). Segundo a CEPAL (2004), a Ilha é afetada por pelo menos quatro furacões a cada 10 anos; de 1966 a 2000, houve 441 episódios de inundações provocados por chuvas normais e tormentas tropicais, bem como 160 episódios de seca (STP/BID, 2001b). De acordo com Cordero (2000), de 1562 a 1979 foram registrados 12 sismos devastadores em algum lugar da ilha.

Os principais eventos naturais que têm afetado o município de Santiago de los Caballeros de 1966 a 2000 são as inundações (STP/BID, 2001b). Os sismos representam um grande perigo pela presença de falhas geológicas ativas na área de influência do Caribe (MUELLER et al., 2006; VARGAS, 2005; MANN et al., 2004). Mann et al. (2004) e SYSMIN-UASD (1999) estimam que a falha Septentrional, a principal falha geológica da Ilha, tem suficiente energia acumulada para provocar um sismo de magnitude 8,0 na escala Richter.

Na República Dominicana existem algumas experiências que permitem avaliar como os fenômenos têm afetado os sistemas de água. Na seqüência, apresenta-se uma revisão dos levantamentos realizados após eventos naturais que danificaram sistemas de água.

No ano de 2007 as tormentas tropicais Noel e Olga impactaram a Ilha em outubro e dezembro, respectivamente, provocando grandes destruições, principalmente pelas inundações. A tormenta Noel afetou principalmente a vertente Sul do país, não impactando a zona de Santiago de los Caballeros. A tormenta Olga provocou grandes precipitações na vertente Norte da Ilha, provocando inundações em todo o vale do Cibao, incluindo Santiago de los Caballeros. O Instituto Nacional de Água Potável e Saneamento (INAPA, siglas em espanhol) registrou 155 sistemas fora de serviço na primeira tormenta e 56 na segunda. No sistema de abastecimento de Santiago de los Caballeros reporaram-se danos físicos na tormenta Olga, que provocaram a interrupção do serviço das duas ETAs localizadas no setor de Nibaje.

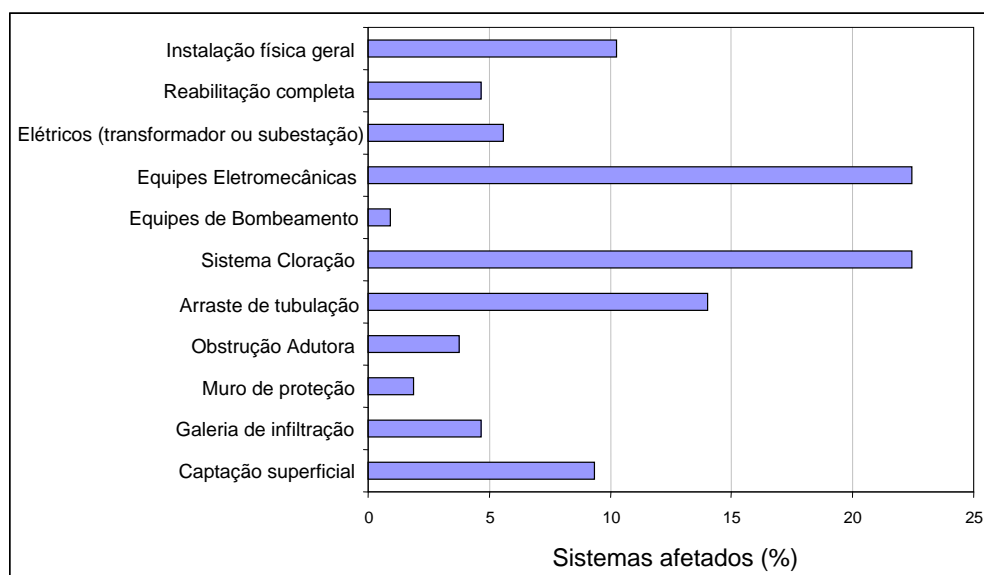


Figura 13 - Danos em 52 sistemas de água provocados pela tormenta tropical Jeanne, República Dominicana outubro de 2004
Fonte: INAPA, 2004

No dia 1º de outubro de 2004, a tormenta tropical Jeanne provocou danos em 52 aquedutos de 13 províncias (INAPA, 2004). Segundo a Sub-Direção de Operações do INAPA, os componentes mais afetados foram: sistema de cloração e equipamentos eletromecânicos, com aproximadamente 22% cada um; tubulações com 14% dos danos reportados; e obras de captação com 9%. Na Figura 13 são apresentados os componentes afetados nesta tormenta em 52 sistemas de abastecimento administrados pelo INAPA.

No dia 22 de setembro do ano 2003, a zona norte da Ilha foi impactada por um sismo de magnitude 6,5 na escala Richter, provocando danos importantes nas cidades de Puerto Plata e Santiago de los Caballeros. O epicentro do sismo esteve localizado aproximadamente a 10 km de Puerto Plata e a 30 km de Santiago de los Caballeros. Em relação aos danos provocados pelo sismo de 2003 no sistema de água, a avaliação realizada em Santiago de los Caballeros concluiu que não ocorreram danos significativos no sistema da água e esgoto.

Mas, na cidade de Puerto Plata foram registrados danos menores no sistema de abastecimento de água (CODIA, 2003).

Em novembro de 2003, num evento de chuvas intensas que provocou inundações em várias regiões do país, o INAPA registrou danos em 20 sistemas de água. As reabilitações dos sistemas foram realizadas em no máximo 30 dias, com um custo de aproximadamente US\$140 mil. A qualidade da água tratada teve um decréscimo de 88% a 60% (o índice normal está baseado no cumprimento de 95% da norma), por efeito da turbidez e contaminação após os eventos das precipitações (CEPAL, 2004).

No ano de 1998, o território da República Dominicana foi totalmente afetado pelo furacão Georges, que foi classificado com categoria 3 na escala Zaffir-Simpson, que vai de 1 ou baixa intensidade, a 5 ou alta intensidade. O INAPA, no relatório interno *Relación de Sistemas Puestos em Operación Después del Huracán Georges*¹ indica que os principais danos provocados pelo furacão Georges estavam relacionados com problemas elétricos e com a obra de captação, representando aproximadamente 84% e 12%, respectivamente (INAPA, 1998b). A reabilitação de 136 aquedutos afetados custou US\$12,30 milhões (INAPA, 1998a).

A Ilha tem também riscos de sismos, sendo a zona de maior atividade a região do Vale do Cibao, pela influência de duas falhas tectônicas ativas, a Zona de Falha Septentrional (SFZ, siglas em inglês) e a Zona de Falha Camú (CFZ, siglas em inglês). Estes dois sistemas constituem uma faixa de aproximadamente 300 km de comprimento por 50 km de largura. Neste sistema de falha os dados históricos registram 6 eventos sísmicos com magnitude maior que 6° na escala Richter. (SYSMIN-UASD, 1999).

O rastro ativo da SFZ encontra-se aproximadamente a 1 km de distância do limite Sul da Cordilheira Septentrional e aproximadamente a 5 km do centro histórico da cidade de Santiago de los Caballeros, que corresponde ao setor La Zurza (FRANCO e PEÑA, 2003). Considerando que o Vale do Cibao tem uma largura de 15 a 30 km, grande parte do vale está dentro da SFZ e com ele a cidade de Santiago de los Caballeros.

No ano de 2003 o município foi afetado por um terremoto de magnitude 6.5° na escala Richter, com epicentro localizado aproximadamente a 20 km ao Norte de Santiago de los Caballeros (MANN et al., 2004; VARGAS, 2003). Este sismo se originou na área de choque entre as placas tectônicas da América do Norte e do Caribe. Tem-se constatado que a placa do Caribe tem um deslocamento de 19,4 mm.ano⁻¹ com relação à placa da América do Norte (MUELLER et al., 2006) ou 20 ± 3 mm.ano⁻¹ (MANN et al., 2004). Mann et al. (2004) calculam que existe suficiente energia acumulada para provocar um abalo sísmico maior que 7° na escala Richter.

Franco e Peña (2003) avaliaram condições de atenuação do solo de Santiago de los Caballeros, concluindo que as amplificações maiores (baixa atenuação) serão observadas em depósitos artificiais; de alta a média amplificação acontece em depósitos aluviais e de argila; e, nos depósitos de rocha mãe e rocha calcárias, a amplificação seria baixa.

¹ Relación de Sistemas Postos em Operación depois do Furacão Georges.

Perigos de inundações em Santiago de los Caballeros

Santiago de los Caballeros apresenta riscos históricos de terremotos, inundações, deslizamentos, furacões, entre outros. Segundo STP/BID (2001b), no município as inundações representam 20% dos desastres registrados no país, e 96% delas ocorreram com precipitações normais², ou seja, precipitações esperadas no período e fora do período de furacão. Na cidade são registrados dois tipos de inundações: as inundações locais e as inundações ribeirinhas. As primeiras, em geral, não têm energia suficiente para produzir danos no sistema de água, ainda que podem ser focos de contaminação quando se apresentam vazamentos e se produzem pressões internas nas tubulações menores à pressão externa.

As inundações ribeirinhas, provocadas principalmente pelo rio Yaque do Norte e o córrego Nibaje, são as que têm causado danos no sistema de água da cidade e estão relacionadas com eventos extremos de chuvas na bacia de rio Yaque del Norte. Os eventos hidrometeorológicos principais foram: o furacão David e a tormenta Federico em agosto e setembro de 1979, respectivamente; o furacão Allen de 1980; furacão Georges de setembro de 1998; as inundações de novembro de 2003; a tormenta Jeane de 2004 e tormenta Olga de dezembro de 2007. Estes eventos provocaram chuvas intensas e/ou descargas de volumes extraordinários da barragem Taveras e com isso inundações. Nos casos mencionados, as águas do rio tinham suficiente energia para causar danos em algumas linhas, nas estações de tratamento, nas estações de bombeamento e em equipamentos auxiliares (eletromecânicos e de controle).

Em dezembro de 2007, a tormenta tropical Olga impactou o solo dominicano, gerando precipitações de 220 mm (ONAMET, 2007). Este evento provocou danos extraordinários no sistema de água, por exemplo: afetou a captação no setor Pastor; inundou o setor Nibaje, danificando bombas, transformadores elétricos, o sistema de desinfecção, as ETAs; o nível da água atingiu a altura do primeiro andar do prédio administrativo; além dos danos físicos, a qualidade da água bruta foi alterada pela alta turbidez e sólidos.

Em outubro de 2007, a República Dominicana foi afetada pela tormenta tropical Noel. Segundo a informação oferecida pelo departamento de meteorologia nacional, a precipitação total registrada na estação de Jarabacoa, na montante da cidade de Santiago de los Caballeros, foi de 174 mm (ONAMET, 2007). Esta tormenta não provocou danos importantes sobre o sistema de Santiago de los Caballeros, ainda que a produção de água foi menor devido à alteração da qualidade da água bruta.

Em novembro do ano 2003, a bacia do rio Yaque del Norte foi afetada por um evento de chuvas intensas. Neste evento foi registrada uma precipitação de aproximadamente 229 mm em 24 horas na estação localizada em Santiago de los Caballeros (CEPAL, 2004). As conseqüências das chuvas foram inundações em 20 comunidades, incluindo Santiago de los Caballeros.

O furacão David em 1979 teve ventos com velocidade de até 240 km/h, classificado como categoria 5, a máxima na escala Zaffir-Simpson. Os ventos deste furacão não afetaram

² O estudo da STP/BIC (2001) considerou todo tipo de desastres, incluindo incêndios, que em todo o país e em Santiago representou os desastres mais freqüentes.

diretamente a cidade de Santiago de los Caballeros, mas as precipitações provocaram grandes inundações. A precipitação registrada na estação meteorológica da cidade de Jarabacoa, na montante de Santiago de los Caballeros, no dia 31 agosto de 1979, foi de 244 mm, esperando-se aproximadamente 100 mm no mês. A tormenta tropical Federico entrou na Ilha no dia 3 de setembro, dois dias após o furacão David, provocando grandes precipitações sobre todo o território até o dia 9 de setembro. Em conjunto, o fenômeno David-Federico³ foi um evento extraordinário que provocou a maior precipitação do século XX.

O furacão Georges entrou em terra dominicana no dia 22 de setembro de 1998 com ventos de até 200 km/h (categoria 3). No dia 22 setembro de 1998, o furacão Georges provocou 181 mm de chuva na estação meteorológica de Jarabacoa, sendo a previsão de 130 mm para aquele mês (ONAMET, 2006).

Os antecedentes de inundações na cidade de Santiago de los Caballeros mostram que vários componentes importantes podem ser afetados pelas águas do rio Yaque del Norte e pelos afluentes principais que atravessam a cidade, especificamente os córregos Nibaje e Gurabo. Os principais eventos de inundações que provocaram danos na cidade estão vinculados a tormentas e furacões.

Segundo as entrevistas realizadas com os técnicos da CORAASAN, os dois eventos que ocasionaram mais danos ao sistema foram o David-Federico e o furacão Georges. Os danos provocados pelo David-Federico no sistema de abastecimento de água de Santiago de los Caballeros vão desde a captação, a adutora, a ETA, estações de bombeamento, até tubulações de distribuição. Segundo o INAPA (1980), as duas captações existentes em 1979 no sistema de Santiago de los Caballeros, uma aproximadamente a 2 km e outra a 100 m da ETA, foram cobertas de detritos e a estação de bombeamento na captação foi destruída. A área das ETAs de Nibaje foi inundada, afetando a estação de bombas da Nibaje-10, o sistema de dosagem de cloro e a unidade de geração de eletricidade de emergência. Além disso, foi arrastada a adutora de água tratada de Nibaje-Bella Vista, que atravessava o rio Yaque de maneira subterrânea.

A entrevista realizada ao encarregado da Gerência de Operações da CORAASAN indicou que 80% das instalações de Nibaje foram destruídas no evento de 1979, bem como as captações. De fato, depois deste fenômeno, a captação localizada a 100 m da ETA foi eliminada e a captação em Pastor foi reprojeta para suportar inundações deste porte. A Figura 14 mostra a captação de Pastor, projetada em 1980 para suportar inundações similares à provocada pelo furacão David. A reconstrução das instalações dos equipamentos eletromecânicos e de controle foram elevadas a mais de 2 m sobre o nível do solo e foi incluído um muro de proteção na entrada da água.

Historicamente registra-se que os componentes mais expostos a inundação são os localizados na área de captação, na área de Nibaje e os trechos próximos ou que atravessam o rio ou os córregos da cidade. Na área de captação existem equipamentos eletromecânicos que

³ O furacão David e a tormenta tropical Federico são dois eventos hidrometeorológicos diferentes, mas por terem acontecido em um período de tempo muito próximo e terem gerado um impacto conjunto muito grande, tendem a ser reconhecidos como o fenômeno David-Federico.

podem ser afetados pela elevação de água, e a obra de captação mesma tende a ser destruída ou contaminada com detritos.

Na área de Nibaje, estão localizadas as ETAs e as correspondentes estações de bombeamento, a instalação de cloração e unidades de geração de energia elétrica, além dos prédios administrativos e técnicos. Todos estes componentes têm sido afetados parcial ou totalmente nos diferentes eventos de inundação.



Figura 14 - Captação de Pastor, no rio Yaque del Norte e subestação elétrica com gerador de emergência, remodelada após o furacão David

4.1.3 Estabelecimento de componentes fundamentais

As análises para determinar a importância dos diferentes elementos do sistema de água de Santiago de los Caballeros devem considerar a setorização ou divisão em subsistema. É possível avaliar um setor determinado, como se fosse um sistema independente e considerar a condição normal de seu funcionamento. Para o setor La Zurza foi determinada a importância de todas as linhas, buscando atender ao consumo de água nos nós de consumo.

A determinação da Limp-v (importância de trecho por vulnerabilidade) foi realizada com o aplicativo *Vul_Perigo*. Os cálculos foram realizados a partir de simulações para 10 dias (240 horas) com uma linha fora de serviço por vez, para todo o período de simulação. As linhas de condução ETA-reservatórios e reservatórios-distribuição têm importância de 100%, pois elas interrompem totalmente a água produzida, se não há uma ETA alternativa.

A Figura 15 apresenta o esquema do setor La Zurza indicando o número identificador dos trechos e a Figura 16 mostra o número identificador dos nós do sistema. No caso de trechos, aquelas que estão em série e com diâmetros similares são consideradas como um único componente, quando não tem nó de demanda definido.

Na Tabela 7 são destacados os trechos que, se fechados, provocariam a maior vulnerabilidade no sistema. No Apêndice H apresentam-se todas as linhas do sistema de abastecimento de água e a sua importância por vulnerabilidade, para uma simulação de 10 dias com interrupção total de uma linha por vez. Um trecho interrompido por um período de 10 dias ou 240 horas é uma condição extrema. Em geral, na revisão de dados foi observado que o máximo de tempo necessário para reabilitar um trecho é de 10 dias, no item 4.2.1 foi determinado que o tempo máximo para solucionar os danos nos trechos de maior diâmetro é de aproximadamente 200 horas.

Tabela 7 - Linhas com importância maior que 5% ou com redução da confiabilidade em mais de 95%

Número Linhas	Vazão Sistema	Fator de nó (Fn)	Fator de tempo (Ft)	Fator de volume (Rv)	Conf. Sistema Rnw	Limp-V %
L-54	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	100,00
L-76	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	100,00
L-1	2,60	0,00875	0,01250	0,00874	0,00000	99,99
L-2	2,60	0,00875	0,01250	0,00874	0,00000	99,99
L-50	177,23	0,41490	0,69609	0,59660	0,17230	58,47
L-12	228,93	0,75761	0,92361	0,77064	0,53925	28,82
L-48	228,93	0,75761	0,92361	0,77064	0,53925	28,82
L-6	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,02
L-52	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,02
L-7	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,02
L-78	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,02
L-4	282,89	0,95616	1,00000	0,95226	0,91051	4,77
L-79	286,01	0,96388	1,00000	0,96278	0,92801	3,72

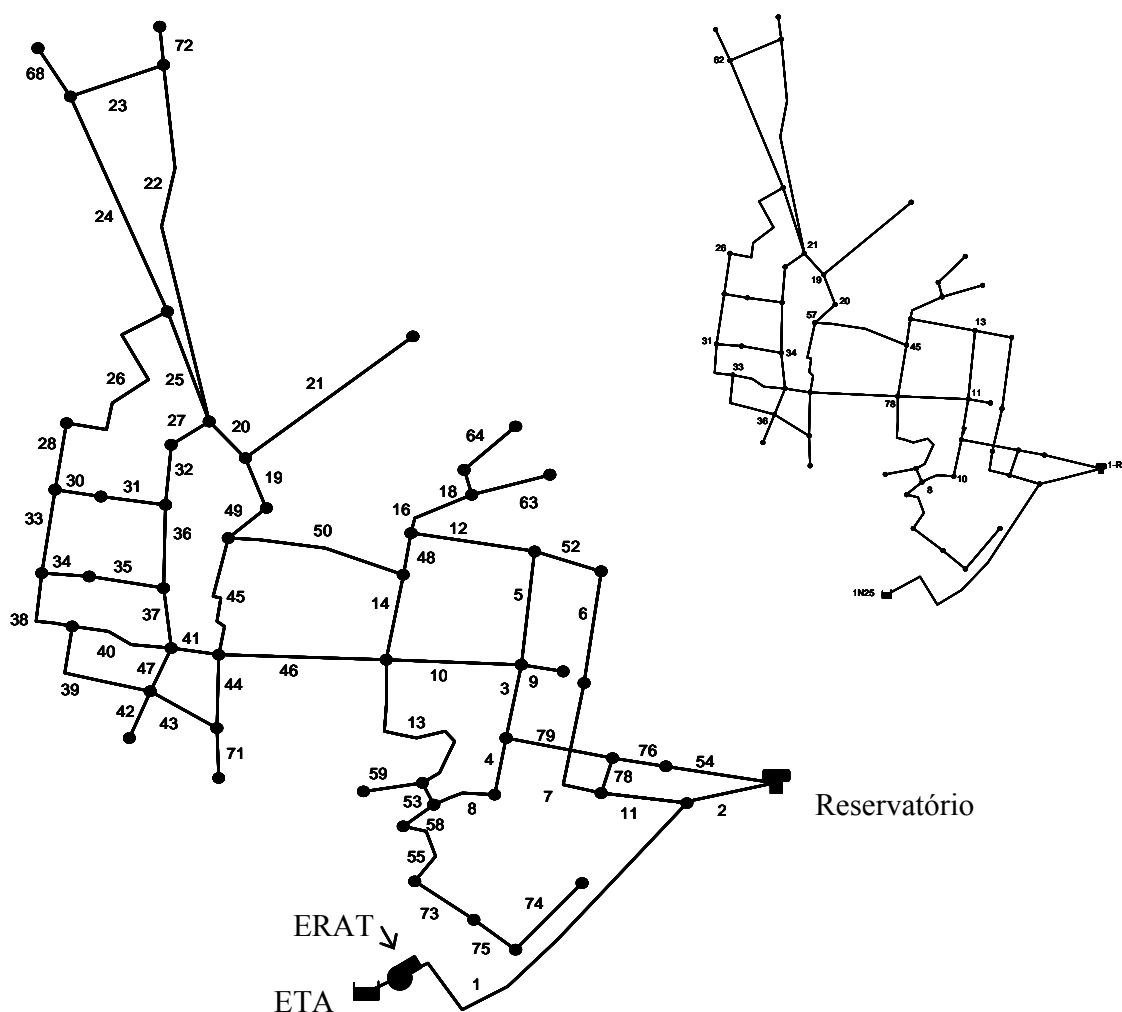


Figura 15 - Rede do sistema de água no setor La Zurza com identificador de trechos

O resultado apresentado tem relação com a capacidade do sistema de satisfazer a demanda de água em cada nó de consumo quando falta uma determinada linha. Portanto, se a demanda não é servida em nós com grande consumo há uma maior influência na redução da confiabilidade. Ainda que é esperado que as linhas de adução tenham um valor de importância de 100%, os resultados mostram que no sistema existe uma vazão remanescente, o que produz um Limp-v para as linhas L-1 e L-2, que conduz a água da ETA aos reservatórios, isto porque as simulações iniciam com um volume armazenado nos reservatórios.

Na Tabela 8 apresentam-se os nós de demanda ordenados de acordo com a importância por consumo e por localização. Segundo os resultados os nós que tem maior importância pela quantidade de água que devem abastecer são: o N-19 com 12% de importância; N-45 com 9%; os nós N-10, N-20 e N-13 com 8%; e os nós N-36, N-7 e N-8 com importância de 7%. Os nós N-13, N-8 e N-62 são importantes por sua localização, já que abastecem hospitais.

A determinação de trechos importantes depende da localização de nós de consumo e da pressão nesse ponto para cada simulação. No caso de La Zurza, estes nós são os utilizados pelo gestor do sistema para a macromedição do consumo nas diferentes zonas.

Tabela 8 - Importância de nós segundo o consumo e localização

ID Nó	Demanda Base (L.s ⁻¹)	Consumo por Nó %	Tipo de Importância
N-19	36,18	12	Por quantidade
N-45	27,20	9	Por quantidade
N-10	25,34	8	Por quantidade
N-20	24,79	8	Por quantidade
N-13	23,64	8	Por quantidade e localização
N-36	22,49	7	
N-7	21,94	7	
N-8	21,86	7	Por localização
N-78	19,56	6	
N-21	14,72	5	
N-33	13,03	4	
N-31	11,31	4	
N-34	11,15	4	
N-11	10,00	3	
N-62	9,70	3	Por localização
N-26	9,12	3	
Total	302	100	

Na Tabela 9, destacaram-se os trechos importantes segundo o nível de vulnerabilidade nos nós. As linhas L-1, L-2, L-54 e L-76 provocam um impacto de 100% em todos os nós, enquanto outros provocam um baixo impacto no desempenho do sistema ou em nós importantes. Os trechos que comprometem o desempenho total do sistema e aqueles que têm uma importância inferior a 5% em nós importantes não são considerados na análises da rede.

Tabela 9 - Importância de nós segundo o consumo e trechos que afetam cada nó segundo vulnerabilidade

ID Nó	Vulnerabilidade segundo Linhas					
	Vul < 5	5 ≥ Vul ≤ 10	10 > Vul ≤ 30	30 > Vul ≤ 50	50 > Vul ≤ 70	> 70 Vul ≤ 90
N-19	L-6, L-7, L-52, L-78			L-12, L-48		L-50
N-45	L-4	L-6, L-7, L-52, L-78			L-12, L-48	L-50
N-10	L-79	L-6, L-7, L-52, L-78	L-4			
N-20	L-6, L-7, L-49, L-52, L-78			L-12, L-48		L-50
N-13		L-6, L-7, L-52, L-78				
N-36	L-6, L-7, L-52, L-78			L-12, L-48		L-50
N-7	L-79	L-6, L-7, L-52, L-78				
N-8	L-6, L-7, L-8, L-52, L-78, L-79	L-4				
N-78	L-4, L-8, L-50, L-79	L-6, L-7, L-52, L-78		L-12, L-48		
N-21	L-6, L-7, L-52, L-78			L-12, L-48		L-50
N-33	L-6, L-7, L-52, L-78		L-12, L-48			L-50
N-31	L-6, L-7, L-52, L-78		L-12, L-48			L-50
N-34	L-6, L-7, L-52, L-78			L-12, L-48		L-50
N-11	L-79	L-6, L-7, L-52, L-78				
N-62	L-6, L-7, L-52, L-78		L-12, L-48			L-50
N-26	L-6, L-7, L-52, L-78		L-12, L-48			L-50

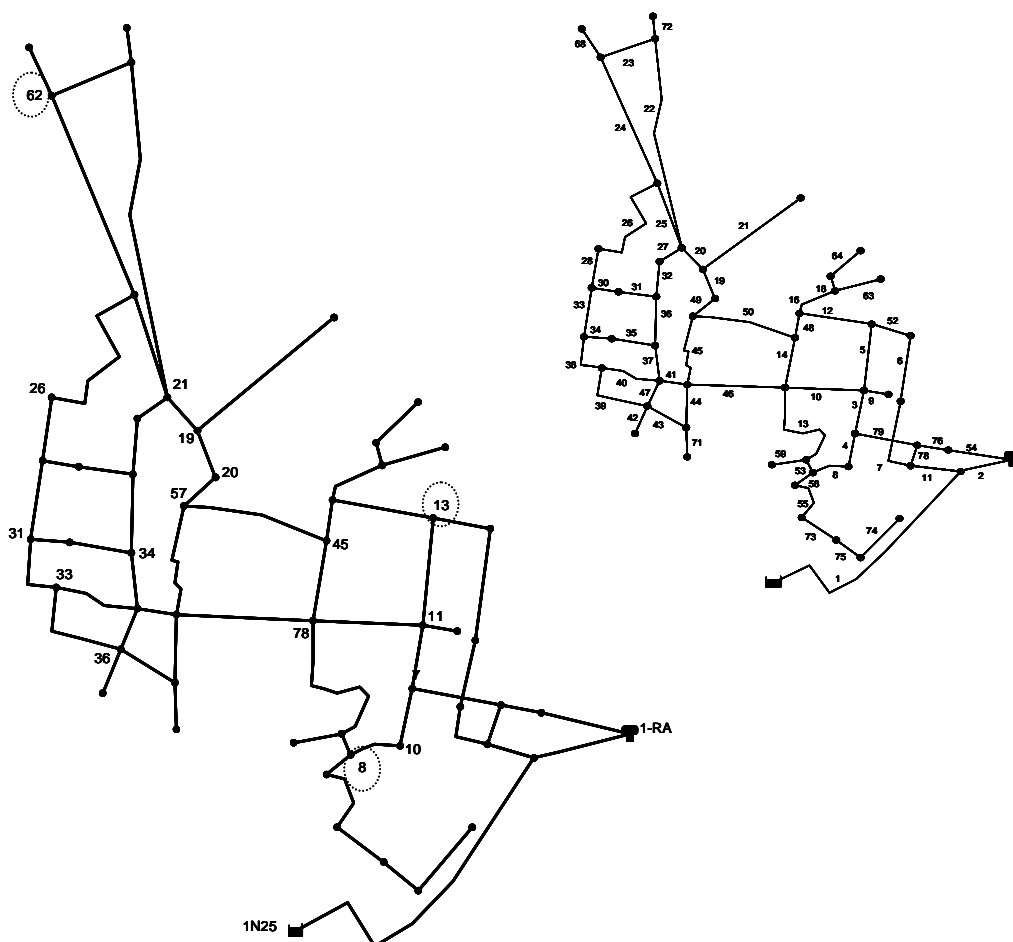


Figura 16 - Rede do subsistema de distribuição de água no setor La Zurza, com identificador de nós de demanda

Na Tabela 9, observa-se que o trecho L-50 tem uma grande importância para a maioria dos nós, refletindo no sistema onde se verificou uma vulnerabilidade de aproximadamente 58%, como se vê na Tabela 7. A interrupção das linhas L-12 ou L-48 provoca vulnerabilidade-nó superior a 30% em 7 nós, e uma vulnerabilidade no sistema de aproximadamente 28%.

A Figura 17 mostra o comportamento da vulnerabilidade-nó para quatro trechos. Pode-se observar a importância dos trechos L-50 e L-12. No sistema de La Zurza o trecho L-12 está em série com a L-48, provocando um comportamento similar no desempenho do sistema. O trecho L-4 provoca um comportamento similar ao de L-8, afetando principalmente os nós N-8 e N-10. No caso de L-6, o impacto é baixo em todos os nós, sendo a maior vulnerabilidade de 8% para o nó N-13, esta linha está em série com L-78, L-7 e L-52.

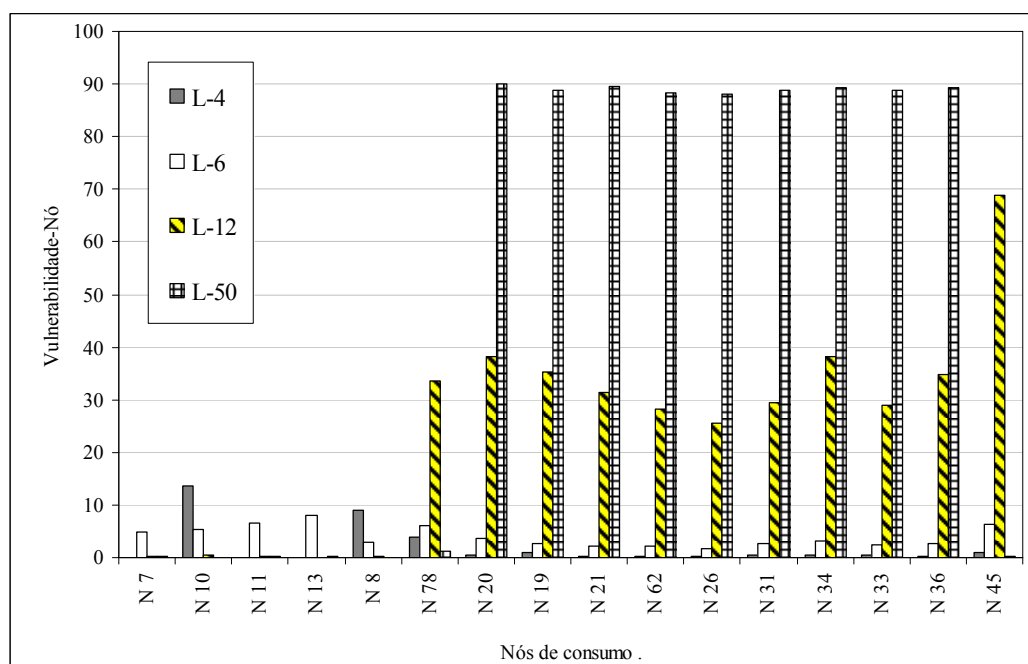


Figura 17 - Vulnerabilidade para nós de consumo segundo a interrupção dos trechos L-4, L-6, L-12 ou L-50 do setor La Zurza

Análise de vulnerabilidade em nós importantes segundo a interrupção de trechos

Com a análise da vulnerabilidade para os nós se estabelecem as linhas que mais influem na vulnerabilidade específica para o nó (Vulnerabilidade-Nó). O nó N-13 abastece água para dois importantes hospitais da cidade, o Cabral e Baez e o São Vicente de Paul.

A Figura 18 mostra o comportamento da vulnerabilidade de nó quando é interrompido um dos seguintes trechos: L-1, L-2, L-54, L-76, L-6, L-7, L-52 ou L-78. O consumo pode ser totalmente reduzido quando os 4 primeiros trechos são afetados, os próximos 4 provocam uma vulnerabilidade de 8%. Os 8 trechos são importantes para que a vulnerabilidade seja baixa.

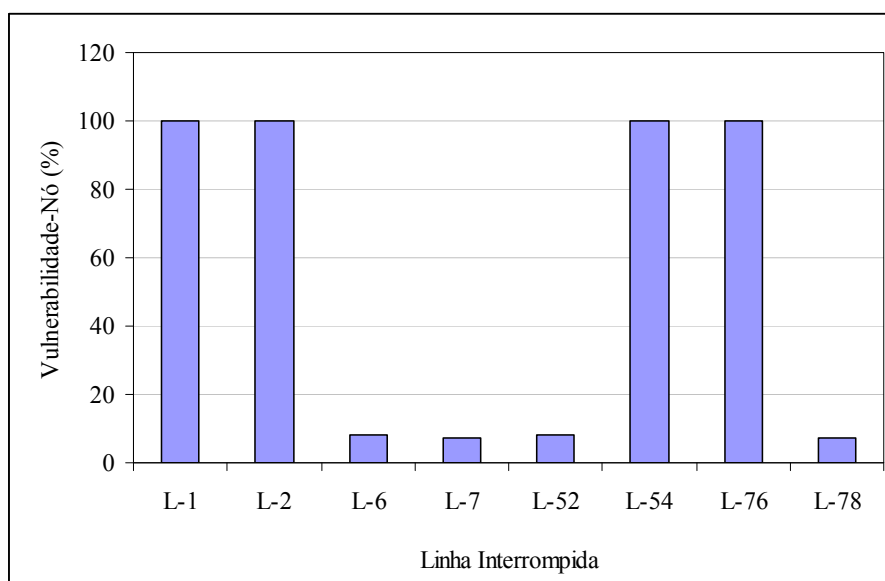


Figura 18 - Vulnerabilidade para nó N-13 por interrupção de trechos do setor La Zurza

Os hospitais devem ter um serviço contínuo de água, em um exercício de simulação de 30 dias, uma vulnerabilidade de 5% significa que existe a possibilidade de que o nó não receba água em pelo menos um dia. Outros nós com importância por abastecer pontos de interesse são: o N-62, que abastece o Hospital Pte. E. Ureña (IDSS), o Hosp. A. Grullón e o Fórum Judicial (usado de albergue para as presidiárias em casos de inundações); e o nó N-8, que abastece a própria CORAASAN e outras instituições públicas.

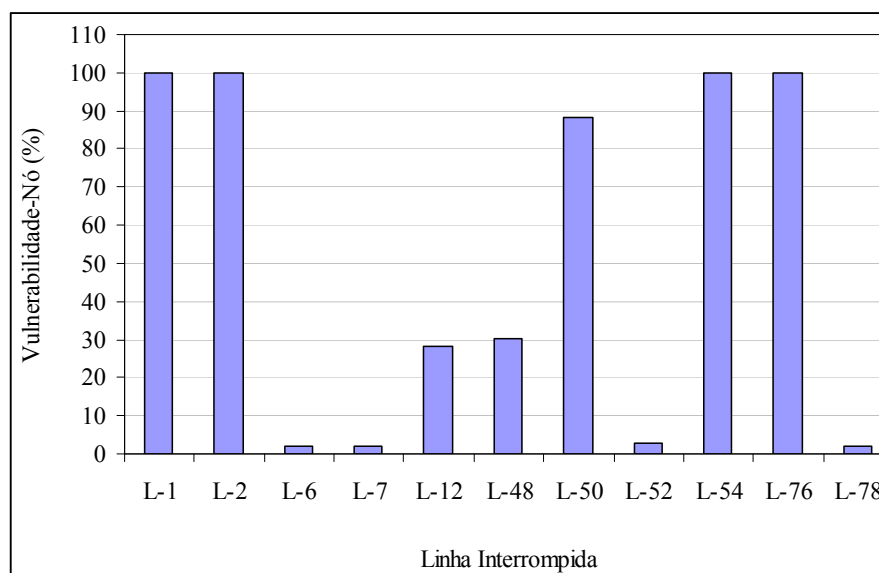


Figura 19 - Vulnerabilidade para o nó N-62 segundo interrupção de trechos do setor La Zurza

A Figura 19 apresenta a vulnerabilidade-nó em N-62 quando a interrupção de um trecho provoca uma redução da confiabilidade de 95%. Este nó é afetado pelo fechamento de várias linhas, destacando-se as linhas L-12, L-48 e L-50. A linha L-50 pode provocar uma vulnerabilidade de até 90%. Já a L-12 e a L-48 causam uma vulnerabilidade de

aproximadamente 27%. As linhas L-6, L-7 e L-52 têm um impacto baixo, 2% na vulnerabilidade.

Na Figura 20 observa-se o comportamento da vulnerabilidade no nó N-8. As linhas com maior impacto, além daquelas com influência em todo o sistema, são: as linhas L-4, com 9% de vulnerabilidade; e as linhas L-6, L-7, L-8, L-52 e L-78, com aproximadamente 3% de vulnerabilidade, que podem provocar a falta de água por cerca de 72 horas em 30 dias.

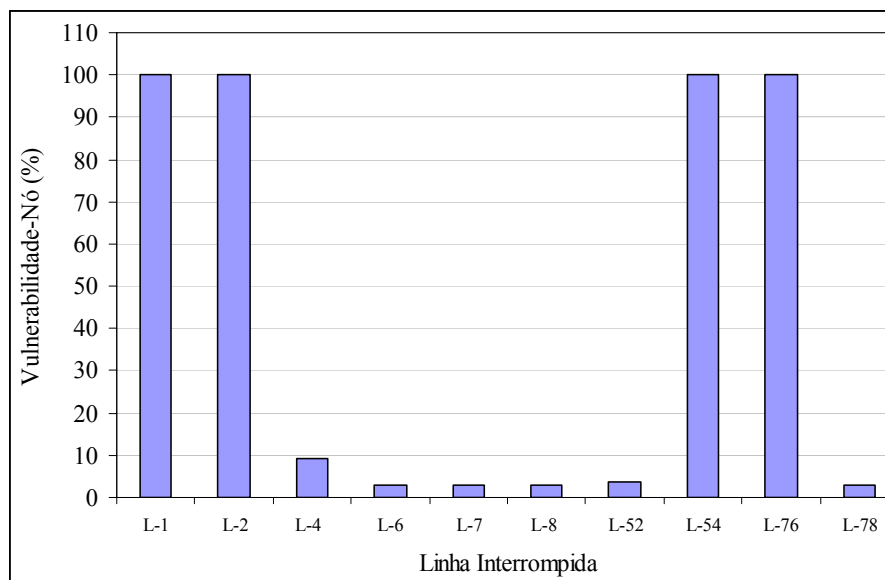


Figura 20 - Vulnerabilidade para o nó N-8 segundo a interrupção de trechos do setor La Zurza

Analisando os nós com importância pelo consumo, segundo o apresentado na Tabela 10, tem-se que os nós com consumo superior a 8% em relação ao consumo total da rede são: N-10, N-20, N-19 e N-45. As linhas L-6, L-7, L-12, L-48 e L-50 aparecem afetando vários destes nós.

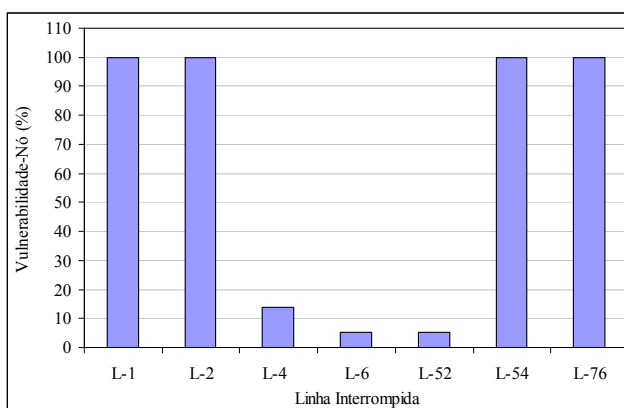


Figura 21 - Vulnerabilidade para o nó N-10 por interrupção de trechos

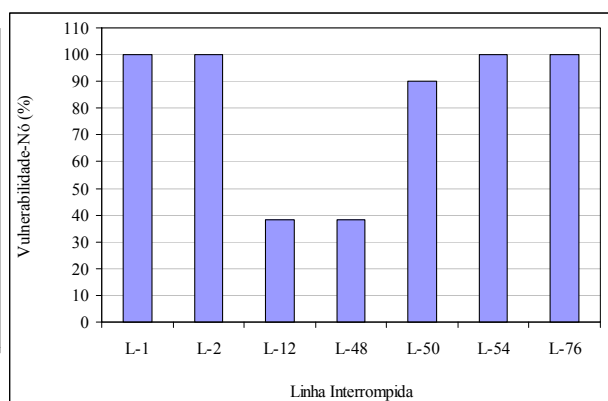


Figura 22 - Vulnerabilidade para o nó N-20 por interrupção de trechos

Na Figura 21 apresenta-se o comportamento da vulnerabilidade no nó N-10. Neste caso a linha L-4 provoca uma vulnerabilidade de aproximadamente 13%. Outras linhas são a L-6, L-7, L-52 e L-78, as quais provocaram uma vulnerabilidade de 5%.

A Figura 22 apresenta o comportamento da vulnerabilidade para o nó N-20, o qual é afetado principalmente pela linha L-50, com aproximadamente 90% de vulnerabilidade, e as linhas L-12 e L-48 provocam vulnerabilidade de cerca de 38%.

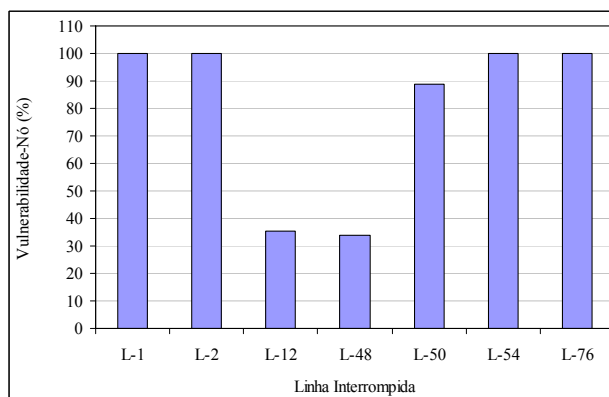


Figura 23 - Vulnerabilidade para o nó N-19 por interrupção de trechos

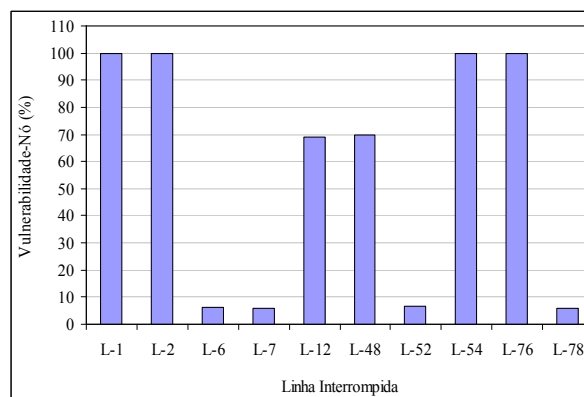


Figura 24 - Vulnerabilidade para o nó N-45 por interrupção de trechos

Na Figura 23 apresenta a vulnerabilidade do nó N-19, observa-se que com a interrupção de L-50 a vulnerabilidade é de aproximadamente 90% e para L-12 e L-48 é de 33%. A Figura 24 mostra a vulnerabilidade-nó para o N-45. Neste caso os trechos mais importantes são as L-12 e a L-48, que provocam um impacto de aproximadamente 72%, mas por estar em série são considerados um mesmo componente.

4.1.4 Identificação de perigos significativos para o sistema de água do setor La Zurza

Os principais problemas provocados por inundações no sistema de abastecimento de água da cidade de Santiago de los Caballeros têm ocorrido no setor La Zurza. Isto se dá devido à sua relação com o desenvolvimento histórico da cidade, já que as residências e as indústrias se instalavam perto das fontes de água, especialmente do rio Yaque del Norte. Da mesma forma, para abastecer a cidade, a ETA foi instalada em um ponto estratégico para a captação. A Figura 25 apresenta uma fotografia aérea da cidade de Santiago com as cotas de inundação e a rede de distribuição de água, nela observa-se a exposição do sistema e especialmente o setor de La Zurza. Esta figura está baseada nas simulações de inundações provocadas por precipitações na bacia do rio Yaque del Norte para período de recorrência de 25, 100 e 500 anos, segundo SOGREA/SERCITEC (2002).

A Figura 25 demonstra que os setores mais afetados pelas inundações ribeirinhas são La Zurza e, em segundo lugar, Bella Vista. Nestes dois setores, as ETAs e os equipamentos eletromecânicos necessários para que elas funcionem podem ser danificados pela água. Além disso, as linhas principais dos dois setores podem ser arrastadas e, no caso de La Zurza, várias linhas estão expostas a inundações.

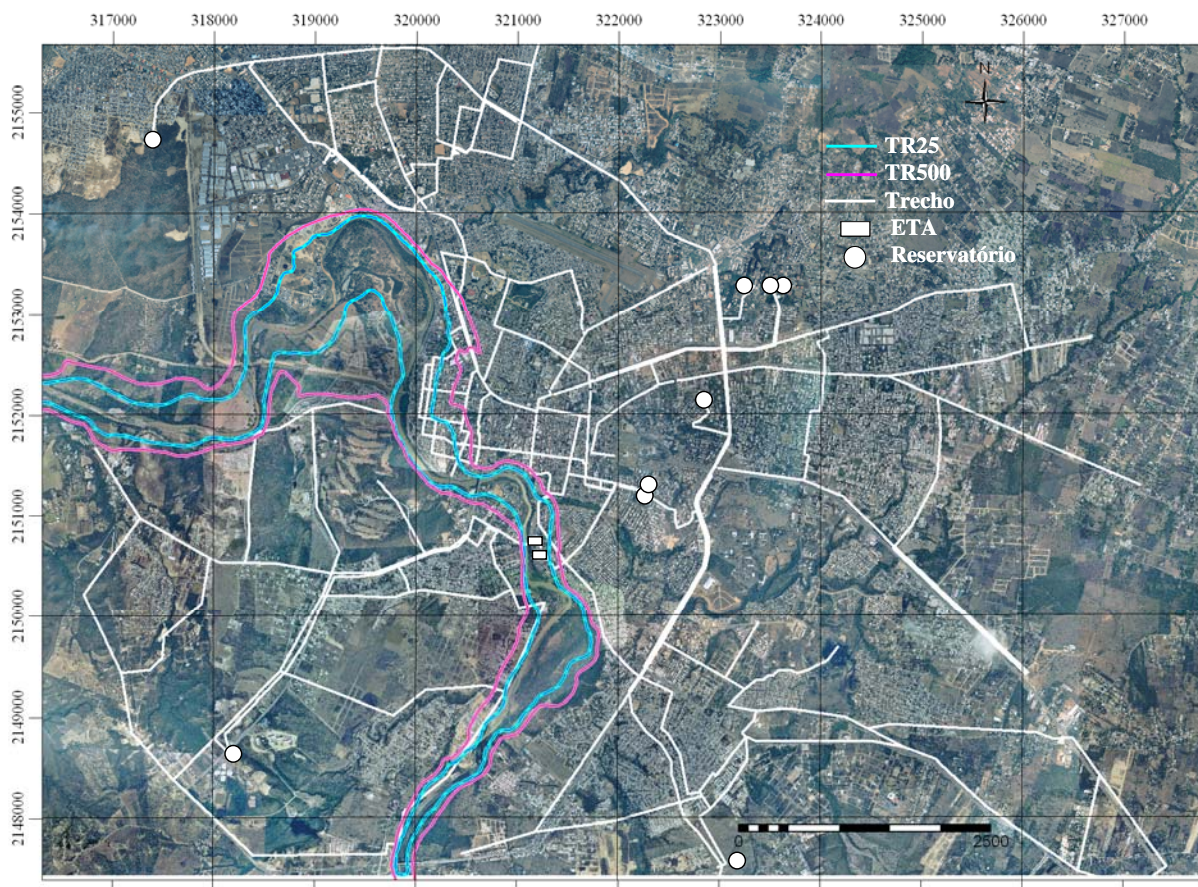


Figura 25 - Esquema geral do sistema de água de Santiago de los Caballeros com relação a inundações de período de retorno de 25 e 500 anos
 Fonte: adaptado de SOGREAH/SERCITEC, 2002; INDRHI, 2005; CORAASAN, 2007.

Na Figura 26, é observado em detalhe o subsistema de abastecimento do setor La Zurza com relação à área inundável. Neste setor, aproximadamente 23 linhas e a ETA de Nibaje-25 podem ser afetadas por inundações com tempo de retorno entre 25 e 500 anos. O risco de inundação na área de Nibaje foi considerado no projeto da ETA Nibaje-25, já que as bombas foram instaladas em uma plataforma a uma altura de 5,0 m acima do nível normal do rio (162,50 m acima do nível do mar). No caso da ETA Nibaje-10, as três bombas estão instaladas a 2,0 m abaixo do nível do rio.

Segundo os dados do estudo SOGREAH/SERCITEC (2002), as alturas que atingiriam as água em diferentes eventos de precipitação no rio Yaque do Norte, na área próxima às ETAs de Nibaje podem ser de 159 a 164 m, para períodos de recorrência de 25 e 500 anos, respectivamente. Em época de estiagem, a altura do rio é de 150 m. Portanto, para chuvas de 25 anos de recorrência, espera-se que no setor de Nibaje a altura da água supere os 9 m e para 500 anos poderia superar os 14 m.

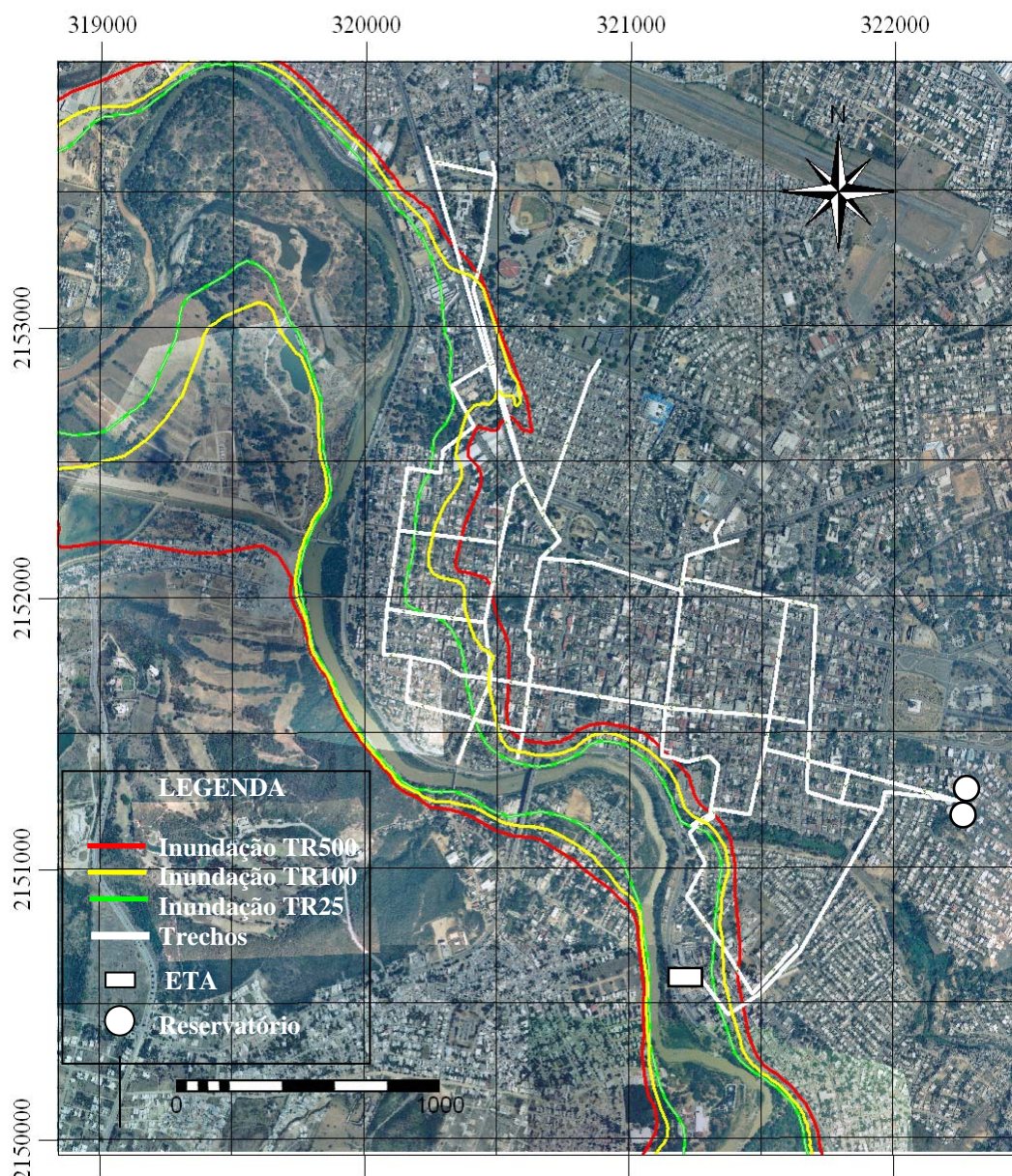


Figura 26 - Foto aérea do setor La Zurza e cotas de inundação para períodos de retorno de 500, 100 e 25 anos
 Fonte: adaptado de SOGREAH/SERCITEC, 2002; INDRHI, 2005; CORAASAN, 2007.

Na área de Nibaje, especificamente no ponto da ETA, a distância aproximada que abrange a linha de inundação de 25 anos é de 220 m e para 500 anos é de 314 m medidos desde o centro do rio. As ETAs Nibaje-25 e Nibaje-10 estão localizadas aproximadamente a 135 m e a 167 m, respectivamente, do centro do rio. Portanto, as duas unidades de tratamento estão dentro da zona de influência das inundações.

Na Figura 27, apresentam-se o mapa cartográfico, o esquema da rede de distribuição de água do setor La Zurza e as linhas de inundação para 25, 100 e 500 anos. Nesta figura são indicados os pontos de interesse por risco de ruptura de trecho em casos de inundações. Os pontos A e B atravessam o córrego Nibaje e o ponto C atravessa um canal do rede de drenagem pluvial.

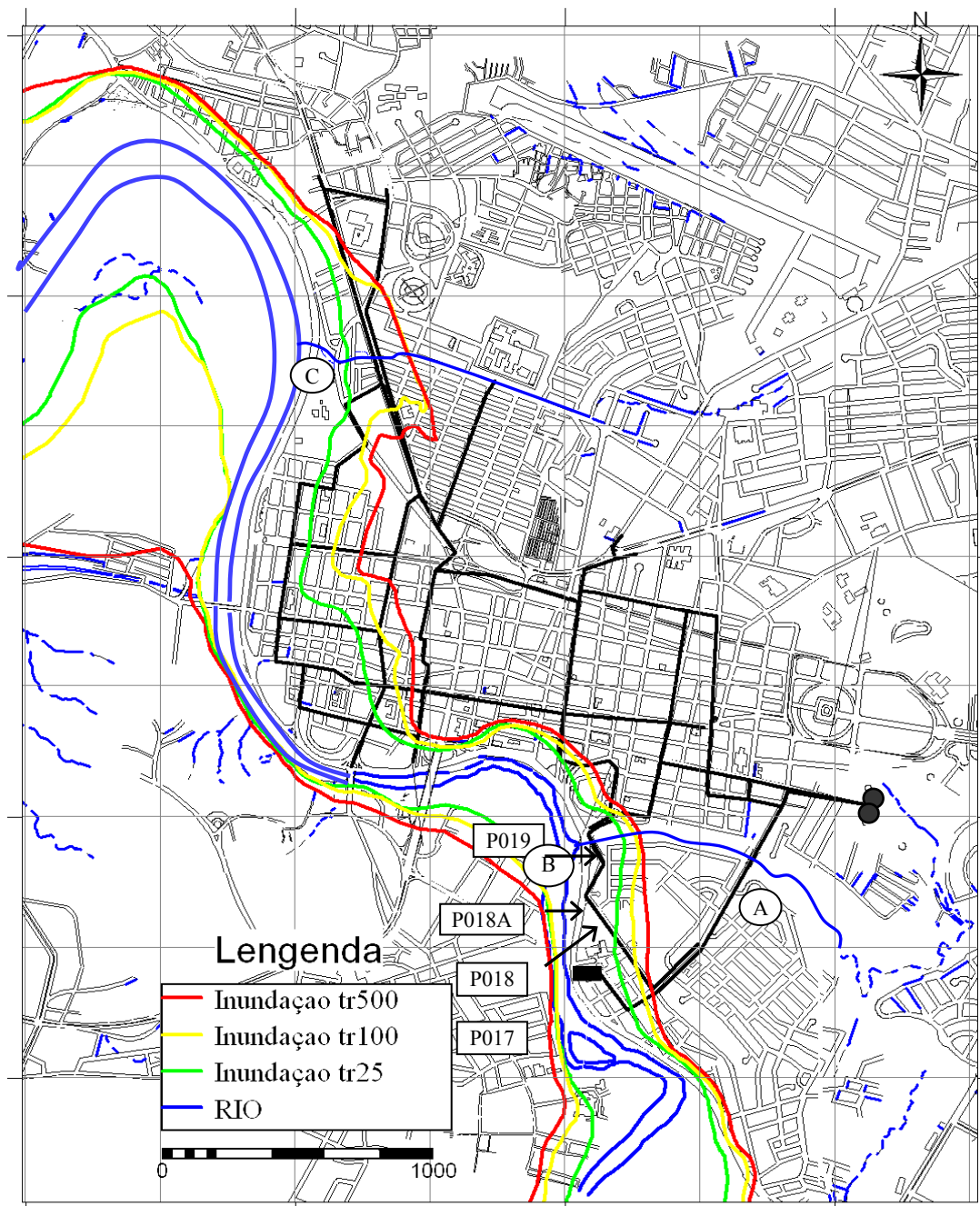


Figura 27 - Cartografia e rede de distribuição do setor La Zurza e cota de inundação para períodos de retorno de 500, 100 e 25 anos
 Fonte: adaptado de SOGREAH/SERCITEC, 2002; INDRHI, 2005; CORAASAN, 2007.

Na Tabela 10, apresentam-se os trechos que são inundados nos três períodos de retorno considerados. Nestes casos considera-se como exposição o fato de o componente estar abaixo da cota de inundação. Comparando os trechos expostos a inundações com aqueles importantes, segundo os resultados das Tabelas 10 e 9, respectivamente, observou-se que L-8, L-13, L-22 e L-24 são comuns nas duas tabelas. Outros pontos que podem ser afetados por inundações são as tubulações que atravessam rios ou córregos. Neste sentido, os três pontos mais importantes no setor La Zurza estão indicados com as letras A, B e C, na Figura 27. Estes três pontos correspondem a trechos importantes, pelo menos para um nó de interesse especial.

Tabela 10 - Trechos impactados por inundações no setor La Zurza em diferentes períodos de retornos

Impacto	Período de retorno (anos)		
	25	100	500
Parcial	L-1, L-26, L-30, L-35, L-40, L-43, L-47, L-71	L-1, L-8, L-13, L-22, L-24, L-37, L-43, L-53, L-55, L-71	L-1, L-8, L-13, L-22, L-24, L-31, L-36, L-41, L-55, L-73, L-75
Total	L-28, L-33, L-34, L-38, L-39, L-42, L-55, L-73	L-26, L-28, L-30, L-33, L-34, L-35, L-38, L-39, L-40, L-42, L-47, L-53, L-55, L-73	L-26, L-28, L-30, L-33, L-34, L-35, L-37, L-38, L-39, L-40, L-42, L-43, L-47, L-53, L-55, L-71, L-75

O ponto A está localizado sobre o córrego Nibaje, na ponte da avenida Francia, a Figura 28 mostra este ponto com o trecho L-1, pode-se observar que o leito do córrego encontra-se alterado. Como ilustrado na Figura 27, este ponto está longe das cotas de inundação, mas devido ao fato de estar sobre um córrego, é considerado um ponto de risco para L-1. A foto mostra o aterro realizado no leito do córrego, as águas deste rio atualmente correm pela margem direita (direita da foto). O estado atual do leito aumenta a condição de vulnerabilidade deste ponto, mas não existem dados sobre inundações neste local.



Figura 28 - Ponte na avenida Francia sobre o córrego Nibaje e passo da adutora (L-1) desde a ETA Nibaje-25 até os reservatórios La Zurza

O ponto B fica dentro da zona de influência das inundações e também atravessa o córrego Nibaje sobre uma antiga ponte paralela à avenida Circunvalación (Figura 29). Esta

ponte atualmente só é utilizada por pedestres. A Figura 30 mostra o trecho sobre a ponte antiga.



Figura 29 - Ponte antiga sobre o córrego Nibaje, serve de passo para o trecho L-8 no setor La Zurza



Figura 30 - Condição do trecho L-8 na ponte antiga sobre o córrego Nibaje

O ponto C está dentro da área de inundação, o trecho (sem proteção de uma estrutura auxiliar) atravessa um coletor de água pluvial, como pode-se observar na Figura 31. Não foi obtido dados de inundações neste ponto. No entanto, as características da ponte e a localização da tubulação o convertem em um local crítico em casos de inundações.



Figura 31 - Córrego na avenida Circunvalación para água pluvial, trecho L-22 no ponto C

O comportamento do sistema ante danos provocados por perigos, não é similar para os diferentes locais que são abastecidos. Ainda que um trecho não seja importante para o sistema, este componente pode ser importante para alguns dos nós de demanda considerados importantes. A Tabela 11 corresponde aos nós que possuem demanda maior que 8% e que satisfazem a demanda de centros de interesse especial. Nesta tabela são incluídos 5 nós com importância alta, sendo três deles importantes por sua localização.

Tabela 11 - Nós e trechos importantes expostos a inundaç o em per odo de retorno de 25, 100 e 500 anos

ID Não	Importância Consumo por Não %	Trechos expostos � inunda�o		
		TR-25	TR-100	TR-500
N-19	12	L-1	L-1	L-1
N-45	9	L-1	L-1	L-1
N-13	8	L-1	L-1	L-1
N-8	7	L-1	L-1, L-8 e L-13	L-1, L-8 e L-13
N-62	3	L-1	L-1, L-22 e L-24	L-1, L-22 e L-24

As simula es para determinar a vulnerabilidade em diferentes condi es de dano e tempo de repara o foram realizadas para os trechos L-8, L-22 e L-24. Tamb m foi incluído o trecho L-50, por provocar a maior vulnerabilidade hidr ulica quando est  interrompido, ainda que n o est  exposto a inunda o. Dado que a ERAT tamb m est  exposta a inunda o,   preciso determinar o desempenho caso as bombas sejam afetadas. Para essa condi o, foram realizadas simula es reduzindo a velocidade na bomba, o que equivale a uma redu o da  gua distribuída.

Na hip tese 1 define-se que *a vulnerabilidade hidr ulica permite estabelecer os trechos mais importantes para o desempenho adequado do sistema de abastecimento de  gua*, o que fica demonstrado com a an lise realizada nestes itens. A metodologia proposta para determinar os trechos mais importantes para uma rede de distribui o de  gua mostrou que,

por médio do cálculo da vulnerabilidade para o sistema, é possível estabelecer quais trechos influem mais no desempenho do sistema. Assim, pode-se conhecer o impacto que os perigos identificados podem provocar no abastecimento de água para nós específicos e para o sistema.

A proposta de Bouchart e Goulter (1989), para determinar os trechos importantes em uma rede, não permite estabelecer a influência de um trecho quando é considerada a configuração do sistema. Esses autores apenas consideram o diâmetro do trecho, para determinar a sua importância, mas este fator não determina o desempenho da rede. No entanto, nesta pesquisa foi determinada a importância do trecho a partir do desempenho de sistema, segundo a vazão disponível nos nós. Em ALA (2002a; 2002b), para determinar a importância de componentes, é utilizado o critério de especialistas, no entanto, esta proposta é de difícil aplicação em sistemas complexos e também não considera as características hidráulicas do sistema.

A hipótese dois afirma que *a interrupção de trechos expostos a inundações provoca falta de água em nós importantes para o sistema*, os resultados mostram que apenas 5 trechos expostos podem provocar falta de água em nós importantes. Para afetar de maneira determinante um desses nós, é preciso interromper dois trechos simultaneamente e, no caso mais crítico, a adutora.

Ainda que no sistema avaliado os trechos expostos a inundações mostraram ser pouco importantes para o seu desempenho, é preciso esclarecer que trechos importantes, podem ser afetados por outros perigos ou falhas. No caso do trecho L-50, se for interrompido, o déficit do serviço afetaria um maior número de usuários, mas não foi observado risco por inundação.

4.2 Avaliação da vulnerabilidade no sistema de água do setor La Zurza

Analisando o sistema de água do ponto de vista do seu desempenho em emergência, observam-se os dois tipos de vulnerabilidades que interagem para reduzir a capacidade de abastecer água. A primeira depende da resistência do componente ou vulnerabilidade mecânica; a segunda, geralmente negligenciada nas análises de vulnerabilidade, é a que vem determinada pela confiabilidade hidráulica do sistema diante de danos em componentes expostos a perigos, a vulnerabilidade hidráulica.

A vulnerabilidade mecânica ante perigos ambientais, em certos aspectos pode ser comparada com a confiabilidade mecânica que, no entanto, é um parâmetro que depende das características físicas dos componentes e de condições de projeto. A vulnerabilidade mecânica depende das características físicas dos componentes e da sua localização com relação aos perigos e à intensidade destes.

Entretanto, a confiabilidade hidráulica depende da concepção do projeto. Em um projeto em que se tenha considerado aspectos tais como a redundância ou aumento da demanda, é provável que haja um melhor desempenho diante de situações de emergências e desastres. Os passos seguintes procuram determinar a vulnerabilidade do sistema a partir da análise da rede, quando 5 trechos importantes são interrompidos, 4 dos quais estão expostos a inundações ou atravessam córrego, e também quando a produção da ERAT está reduzida.

4.2.1 Determinação do tempo de reabilitação de componentes

O tempo de reabilitação de componentes abrange desde o tempo de identificação de uma avaria até o momento em que se reinicia a operação. Por outro lado, o tempo de manutenção refere-se à duração da intervenção técnica para consertar os danos e forma parte do tempo de reabilitação. Em alguns casos, é possível utilizar os tempos de manutenção registrados por um período de tempo determinado. No entanto, em casos de emergência aparecem condições ambientais que retardam o tempo para realizar as reparações. Por exemplo, as inundações podem manter níveis de água que impossibilitam a localização e a manutenção das redes.

Na Tabela 12, são indicados os tempos de reabilitação determinados através de entrevistas a técnicos chave que possuem experiências em manutenção e reabilitação de equipamentos e redes da CORASAAN. Foram entrevistados cinco técnicos, quatro dos quais com experiência em casos de emergências. Os que tinham experiências em casos de desastres naturais estabeleceram tempos a partir de ações realizadas nos diferentes eventos que aconteceram no passado.

Tabela 12 - Tempo de reabilitação de componentes no sistema de água de Santiago de los Caballeros segundo entrevistas de quatro técnicos de CORAASAN

Componente		CAPTAÇÃO			ADUÇÃO			E. BOMBA			ETA			RESERVATORIO		
Tempo (horas)		Média	Min	Max	Média	Mín	Máx	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max
tI	Tempo de identificação de danos	1,17	1,00	2,00	1,56	1,00	2,00	0,67		1,00	1,00	1,00	1,00	8,67	1,00	24,00
tA	Tempo de acesso ao local afetado	1,00	1,00	1,00	1,22	1,00	2,00	0,67		1,00	1,00		1,00	2,67	1,00	6,00
tP	Tempo de aquisição de partes	105,00	6,00	360,00	80,00	24,00	168,00	72,00	24,00	168,00	96,00	24,00	168,00	36,00	24,00	48,00
Tm	Tempo de Manutenção	114,17	2,00	336,00	126,89	4,00	336,00	249,67	5,00	504,00	86,50	5,00	168,00	29,33	3,00	48,00
tE	Tempo de espera de reparação	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	24,50	1,00	48,00	1,00	1,00	1,00	24,50	1,00	48,00
To	Tempo reinício de operação	1,25	1,00	2,00	1,67	1,00	3,00	1,50	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	4,33	1,00	6,00
Tr	Tempo de reabilitação (horas)	224	12	702	212	32	512	349	31	724	186	32	340	105	31	180

Fonte: Entrevistas aos técnicos chave, 2007

Na determinação do tempo de reabilitação, só foram considerados os dados proporcionados por quatro dos técnicos, pois aqueles com menos experiência não proporcionaram informação congruente com os outros técnicos, nem com os registros de manutenção. No Apêndice E apresentam-se as entrevistas a técnicos da CORAASAN.

Na Tabela 13, estão resumidos os tempos de reabilitação de tubulações, segundo as respostas de quatro técnicos com mais de 10 anos de trabalho na CORAASAN, ocupando

cargos chave. Um dos técnicos tem 30 anos e participou nas emergências provocadas pelos furacões David em 1979 e Georges em 1998, além de episódios de inundações, avarias graves e ampliações importantes. Estas entrevistas foram necessárias porque é difícil determinar os tempos de reabilitação de componentes em casos de emergências. Os tempos correspondem a limites inferiores e superiores, que vão depender dos danos, da localização dos componentes, da disponibilidade do componente em estoque, entre outros aspectos.

Tabela 13 - Tempo de reabilitação de tubulações em hora segundo o diâmetro no sistema de água de Santiago de los Caballeros, para quatro técnicos da gerência de manutenção de redes de CORAASAN

Técnico	Tempo em horas segundo diâmetros (mm) dos trechos											
	1700	1000	900	600	550	500	450	400	350	300	250	200
A. C.	58	34	34	34	34	34	32	32	32	30	7	7
H. J.	199	199	199	199	61	49	50	50	66	66	78	55
J. F.	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	7	7
E. R.	104	80	75	75	43	43	12	12	12	12	12	12
Média	97	85	84	84	42	39	31	31	35	34	26	20
Mínimo	28	28	28	28	28	28	12	12	12	12	7	7
Máximo	199	199	199	199	61	49	50	50	66	66	78	55

Tabela 14 - Tempo de reabilitação de trechos por diâmetro, segundo entrevistas de quatro técnicos da gerência de manutenção de redes de CORAASAN

Horas	Diâmetro		
	≥ 600	>350 e <600	≤ 350
	34	34	32
	199	61	66
	28	28	28
	80	43	12
	34	34	30
	199	49	66
	28	28	28
	75	43	12
	34	32	7
	199	50	78
	28	28	7
	75	12	12
	58	32	7
	199	50	55
	28	28	7
	104	12	12
Média	84	35	29
Mínimo	28	12	7
Máximo	199	61	78

Para realizar as análises de vulnerabilidade do sistema é preferível gerar tempos de reabilitação por faixa de diâmetros. Na Tabela 14 apresentam-se os tempos de reabilitação de tubulações maior ou igual a 600 mm, entre 350-600 mm, e menor ou igual a 350 mm. Os valores mínimos e máximos de tempo de reabilitação são: 28 a 199 horas para trechos com

diâmetro maior que 600 mm; de 12 a 61 horas para os trechos com diâmetros entre 600 e 350 mm e, por fim, trechos de diâmetros menor que 350 mm têm tempo de reabilitação entre 7 e 78 horas.

Na Tabela 15 destacam-se os tempos de manutenção de trechos com diâmetro maior que 100 mm, segundo duas fontes de dados. Os tempos são os estimados pelos quatro técnicos entrevistados e aqueles obtidos dos registros de manutenção da gerência de operação e manutenção de redes da CORAASAN, em um período de 20 meses (janeiro/2006 a agosto/2007). Segundo os técnicos, os tempos mínimo e máximo para realizar a manutenção na rede estão compreendidos entre 2 e 48 horas. Na revisão dos arquivos de manutenções de redes, realizadas no ano de 2006 e 2007, na CORAASAN, foi detectado que as tubulações de 100 a 700 mm são consertadas em um mínimo de uma hora e em um máximo de 18 horas. No período analisado foram realizadas 25 reparações, sendo apenas 8 não programadas ou emergenciais.

Tabela 15 - Tempo de manutenção estimado por técnicos e tempo de manutenção de trechos maiores de 100 mm no período de janeiro de 2006 a agosto de 2007, segundo a gerência de manutenção de redes, CORAASAN

	Tempo de manutenção estimado ¹			Tempo de manutenção real 2006-2007 ²		
	Diâmetro (mm)			Diâmetro (mm)		
	>=600	>350 a <600	<=350	>=600	>350 a <600	<=350
	6	6	4	4	8	2
	24	24	12	4	10	1
	4	4	4	7		5
	2	2	2	7		2
	48	10	8	18		4
	6	6	2	5		1
	24	12	12			9
	4	4	4			5
	2	2	2			4
Horas	24	10	8			3
	6	4	2			4
	24	12	6			3
	4	4	4			4
	2	2	2			1
	24	8	8			1
	6	4	2			5
	4	12	6			7
	2	4	4			
	24	2	2			
	6	8	8			
Médio	12	7	5			
Mínimo	2	2	2	4	8	1
Máximo	48	24	12	18	10	9

Fontes: 1) Entrevistas de técnicos; 2) Arquivos de reabilitação de redes, CORAASAN, 2007.

Na análise de vulnerabilidade, são enfatizadas as piores condições do sistema, portanto, a visão dos técnicos é apropriada, já que a reposta deles foi segundo o tempo de reabilitação para os casos de emergência. O tempo de manutenção considera apenas o tempo necessário para realizar o conserto, não abrange os outros tempos incluídos na determinação

do tempo de reabilitação. As simulações foram realizadas com os tempos de reabilitação mínimo e máximo estimados, segundo apresentado na Tabela 16.

A revisão dos danos que têm provocado eventos hidrometeorológicos na República Dominicana, como indicado na Figura 13, mostra que o arraste de tubulações é de aproximadamente 15%, sendo os mais afetados os equipamentos eletromecânicos e as captações por 25% e por 10% dos eventos, respectivamente. O tempo necessário para solucionar os problemas e o tipo de danos dependem de condições específicas de cada local e de cada sistema. Nos sistemas avaliados, a reabilitação dos componentes danificados variou de 5 a 30 dias (INAPA, 2004).

Tabela 16 - Tempo médio, mínimo e máximo na reabilitação de trechos segundo o diâmetro, utilizado na execução de simulações na determinação da vulnerabilidade hidráulica

	Diâmetro (mm)		
	≥ 600	>350 e <600	≤ 350
Tempo médio (horas)	80	30	30
Tempo mínimo (horas)	30	15	10
Tempo máximo (horas)	200	80	80



Figura 32 - Adutora de água tratada da ETA La Noriega sobre a ponte na rua E. Sadalhá (Córrego Nibaje), novembro de 2005

No dia 29 de abril de 2006, uma interrupção importante afetou o sistema de água de Santiago de los Caballeros, provocando uma redução de 20% da capacidade de abastecimento de água por cerca de 15 dias. Um deslizamento de terra provocou uma falha na

estrutura da ponte na rua Estrella Sadalha sobre o córrego Nibaje, causando um rompimento na tubulação de 1.050 mm (entrevista ao Eng. E. Rodríguez).

Na Figura 32, é apresentado o trecho sobre a ponte E. Sadalhá no ano de 2005. Observa-se o estado de abandono da estrutura da ponte que suportava a linha. As chuvas provocaram a erosão da coluna norte da ponte e o deslizamento de 2006 provocou um vazamento na adutora.

A Figura 33 mostra o trecho sobre a ponte, após a reabilitação. Neste caso o sistema voltou à normalidade depois de 15 dias (360 horas), dos quais 5 dias foram dedicados à reabilitação do trecho e 10 dias de espera para reabilitar a ponte.



Figura 33 - Adutora de água tratada da ETA La Noriega sobre a ponte rua E. Sadalhá (Córrego Nibaje) depois da reabilitação, junho de 2007

Em eventos de chuvas intensas ocorridas no dia 28 de maio de 2007, a adutora de 1.750 mm do sistema de água de uma grande cidade do Vale do Cibao (Moca) foi arrastada. Neste caso o tempo total utilizado para reabilitar este trecho foi de 10 dias (240 horas).

A Figura 34 mostra os estragos provocados pela inundação de maio de 2007 na adutora do sistema de água de Moca. As condições ambientais impediram a restauração rápida e para voltar a abastecer a população, a reabilitação foi realizada no mesmo local e com as mesmas condições de vulnerabilidade que provocaram a emergência.



Figura 34 - Foto da destruição da adutora do sistema de água da cidade de Moca, República Dominicana

O mesmo evento de chuvas de maio 2007 provocou a destruição de uma linha de 300 mm, linha principal para uma comunidade rural que depende do sistema Cibao Central. Na Figura 35 mostra a linha que abastece a comunidade de Puñal. As expectativas para solucionar o problema eram de três dias (72 horas), usando como ponte uma estrutura existente não afetada (a adutora da cidade de Moca) ou 15 dias (360 horas), construindo uma ponte emergencial de elementos metálicos. Finalmente, o abastecimento foi restabelecido após 7 dias (168 horas), aplicando a primeira solução proposta.

Os eventos hidrometeorológicos indicados afetaram linhas importantes para três sistemas de água. Nestes casos há duas condições importantes que devem ser lembradas no momento de determinar o tempo de reabilitação de uma linha e outros componentes. Por um lado, a reabilitação vai depender da destruição provocada pelo evento e do tempo total que o evento afeta a zona, por exemplo, uma inundação pode tardar vários dias em permitir o acesso à área afetada. Por outro lado, a reabilitação depende de infra-estruturas complementares, como o caso da reabilitação ou construção de uma ponte ou o restabelecimento do serviço de eletricidade, para permitir o funcionamento de equipamentos eletromecânicos.



Figura 35 - Foto de avaria na linha principal da rede de distribuição de água da comunidade Puñal, República Dominicana, maio de 2007

4.2.2 Análise da vulnerabilidade do sistema por cenários prováveis

4.2.2.1 Comportamento do sistema para interrupção total de trechos

O comportamento do sistema em casos normais está determinado pelas falhas que se produzem de maneira rotineira e pelo tempo em que são resolvidos os danos. Para fins de projeto, em geral é desejada uma confiabilidade superior a 98% por ano, o que significa uma vulnerabilidade inferior ou igual a 2%. Na análise de vulnerabilidade foi assumido que a pressão requerida nos nós é igual a 20 m. Para condições normais, é considerado que não existem danos em nenhum componente, portanto, a vulnerabilidade esperada é nula.

Na Figura 36, é apresentado o comportamento do sistema de água com a interrupção de um trecho em cada simulação. Pode-se observar que alguns trechos não têm grande importância no cálculo da vulnerabilidade hidráulica do sistema, no entanto, outras provocam 100% de vulnerabilidade, como o caso de L-1, L-2, L-54 e L-76, que são os trechos principais do sistema. A interrupção de L-4, L-6, L-7, L-12, L-48, L-50, L-52 e L-78 provoca vulnerabilidade que vai de 2 a 60%.

Outro aspecto importante na avaliação da vulnerabilidade com interrupção de trechos é o fato de que uma inundação pode afetar simultaneamente várias linhas. Os cenários deste tipo são extremos para nós específicos ou para o sistema. Segundo a Tabela 17, os trechos que provocam maior impacto quando são interrompidos simultaneamente são: L-8 e L-13, que afetam o nó N-8; e os trechos L-22 e L-24, que afetam o nó N-62.

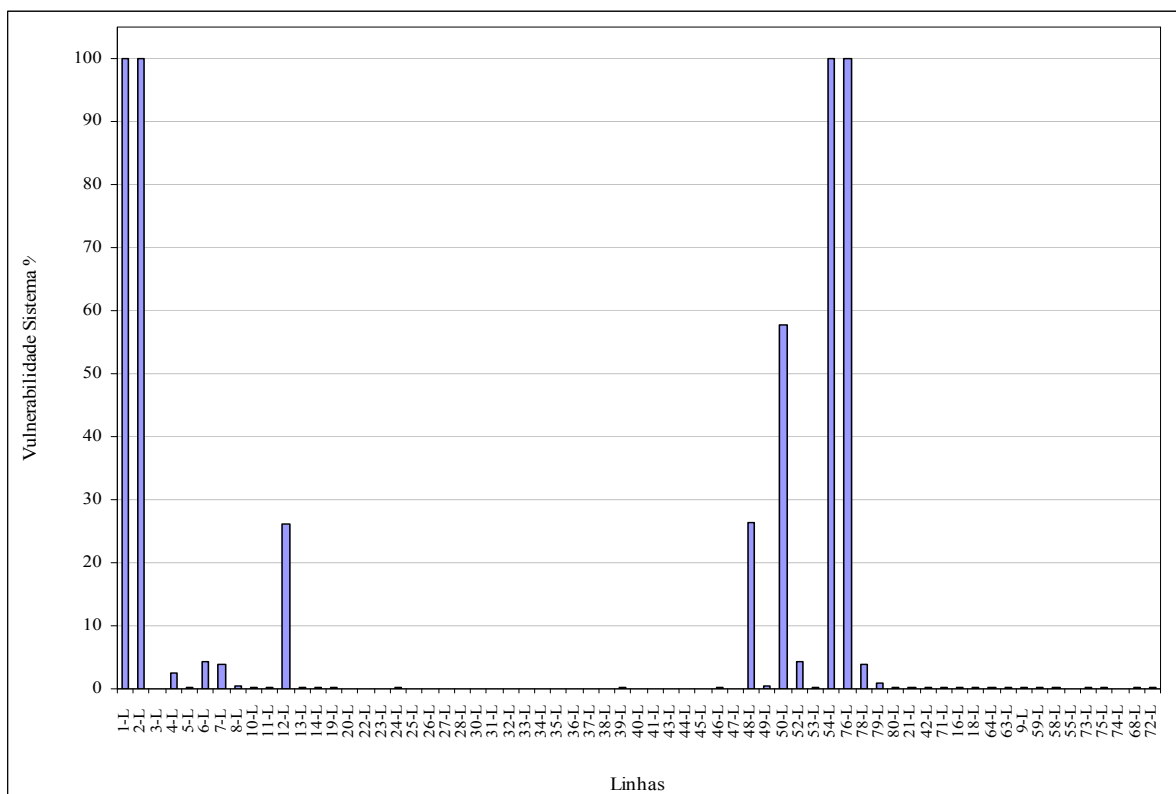


Figura 36 - Vulnerabilidade do sistema com a interrupção de trechos do setor La Zurza

Tabela 17 - Trechos expostos a inundações e vulnerabilidade do sistema com dois trechos interrompidos

Número de trechos		Fator de Nó (Fn)	Fator de Tempo (Ft)	Fator de Volume (Rv)	Vulnerabilidade Sistema (%)	Vulnerabilidade Intermediária (%)
L -22	L -24	0,715023	0,955938	0,978227	33,14	6,49
L-8	L -13	0,802912	0,958047	0,952808	26,71	8,72
L-8	L -22	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -24	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -25	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -26	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -30	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -31	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -33	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -34	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -35	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -36	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -37	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -38	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -39	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -40	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -41	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01
L-8	L -44	1,000000	0,999930	0,999930	0,01	0,01

Análise da vulnerabilidade do nó N-8 por interrupção total de trechos expostas

A linha L-8 abastece um nó no extremo do sistema e é importante porque leva água a uma zona de instituições governamentais e por servir a uma população relativamente alta. Em simulações de 30 dias e com interrupção que poderiam ir de 15 a 80 horas, os resultados indicam que o nó N-8 pode ser abastecido todo o tempo. Isto é possível porque existe a alternativa de abastecimento através da linha L-13 (em série com L-53). Mas, os trechos L-13 e L-53 estão expostos a inundações, portanto, podem ser interrompidos no mesmo evento.

Na Figura 37 apresenta-se o comportamento da pressão e da vazão consumida no nó N-8, quando L-8 está interrompido. Uma interrupção do trecho da hora 24 até a 93 da simulação, provoca uma redução da pressão desejada, assim na hora 43 a pressão é de 24,2 m, esperando-se aproximadamente 36,5. No entanto, dado que a pressão é maior que a pressão mínima estabelecida (20 m), a demanda é satisfeita e, portanto, a vulnerabilidade é igual a zero.

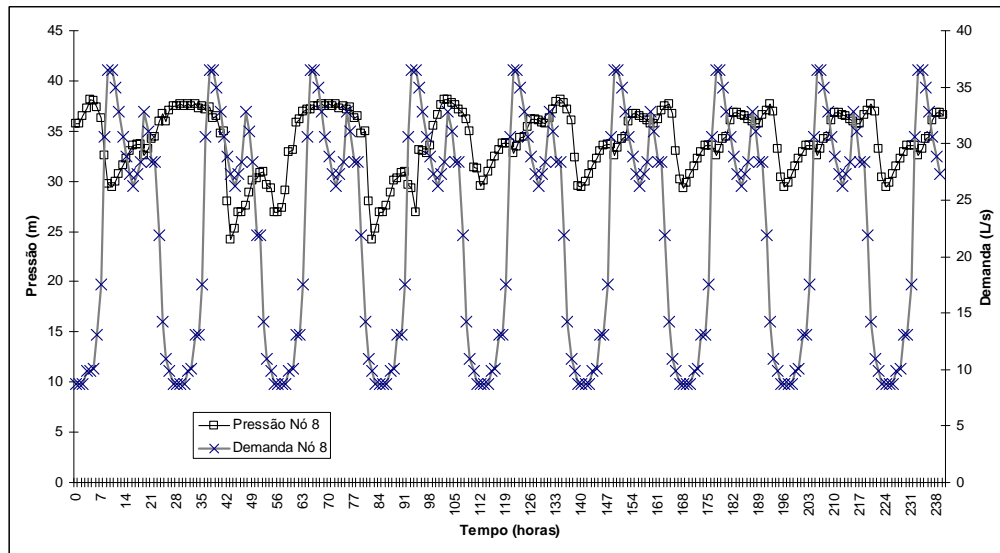


Figura 37 - Comportamento da pressão e a demanda no nó N-8, com interrupção entre a hora 24 e a hora 93

A condição de máxima vulnerabilidade no nó N-8 se dá quando a L-13 (ou L-53) também está fechada. Neste caso, a pressão e a vazão disponíveis são afetadas. Na Figura 38 tem-se o comportamento da vulnerabilidade no sistema com L-8 e L-13 interrompidos, de diâmetros de 450 mm e 400 mm, respectivamente. Observa-se que a vulnerabilidade no sistema é relativamente baixa, segundo um tempo de reabilitação de 10 a oitenta horas. O aspecto interessante é que o tempo de reabilitação de trechos foi calculado de forma aleatória e independente para cada um, portanto, era esperado que ao reabilitar um dos dois trechos, a vulnerabilidade diminua. Mas a vulnerabilidade não mudou com a reabilitação, ainda que qualquer dos dois trechos possa satisfazer a demanda.

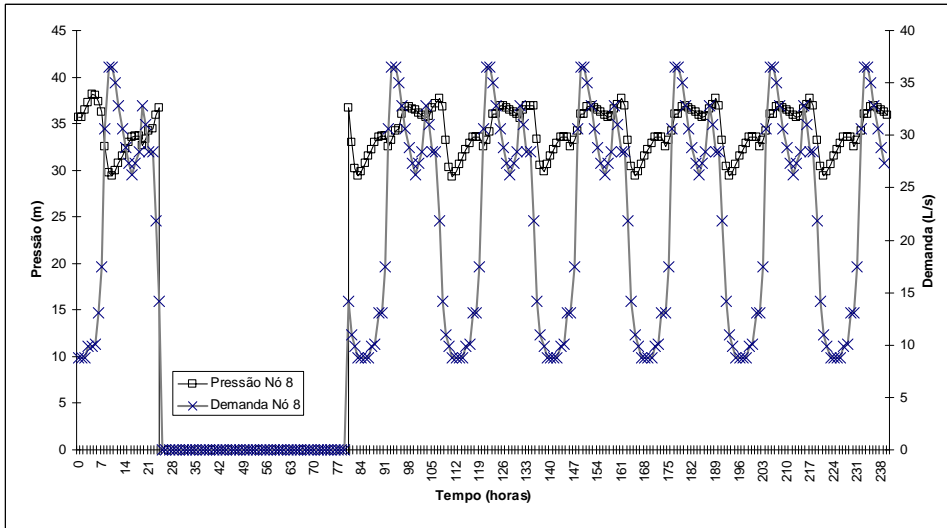


Figura 38 - Comportamento da pressão e a demanda no nó N-8 com interrupção iniciando na hora 24 e terminando na hora 48 e 78, para os trechos L-8 e L-13, respectivamente

Na Figura 39, observa-se que os piores desempenhos do sistema ou a alta vulnerabilidade, aconteceram quando o tempo de reabilitação dos dois trechos era alto, mas um tempo de reabilitação de L-8 de 20 horas e de 75 horas para L-13 provoca uma vulnerabilidade baixa (1,4%), devido principalmente ao baixo consumo no nó N-8. O número sobre o símbolo corresponde ao tempo que L-13 permanece interrompido.

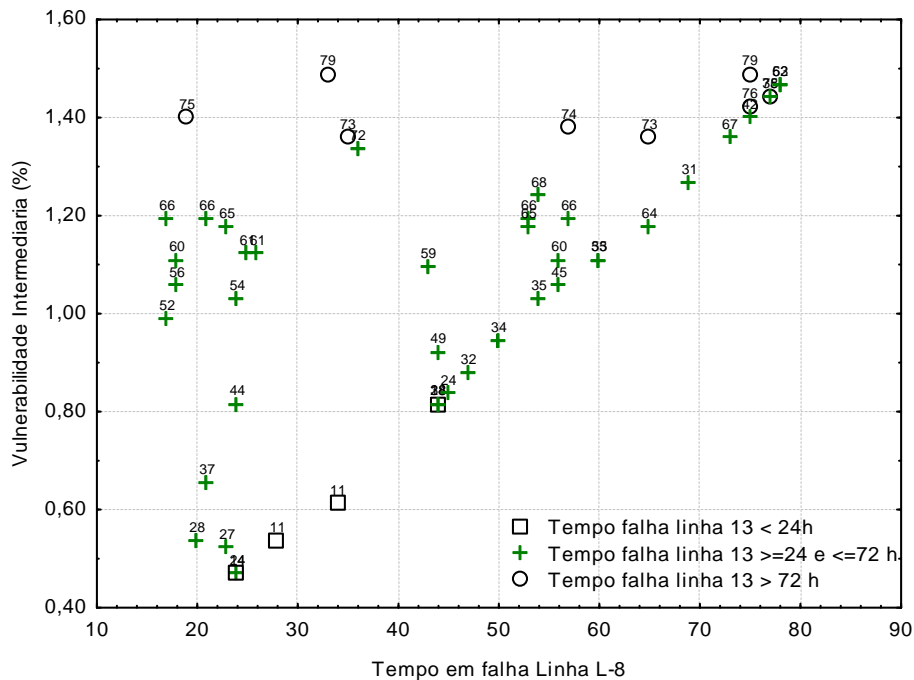


Figura 39 - Comportamento da vulnerabilidade no sistema para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-8 e L-13

Como evidencia a Figura 38, no nó N-8 faltou água da hora 24 até aproximadamente a hora 82. Com isto, a disponibilidade no nó é afetada, como indica a Figura 40, onde se observa que a vulnerabilidade-nó pode ser de até 21%. Ou seja, que no nó N-8 as

emergências podem ser classificadas como menor e média, com uma vulnerabilidade menor que 30% e com duração menor que 72 horas.

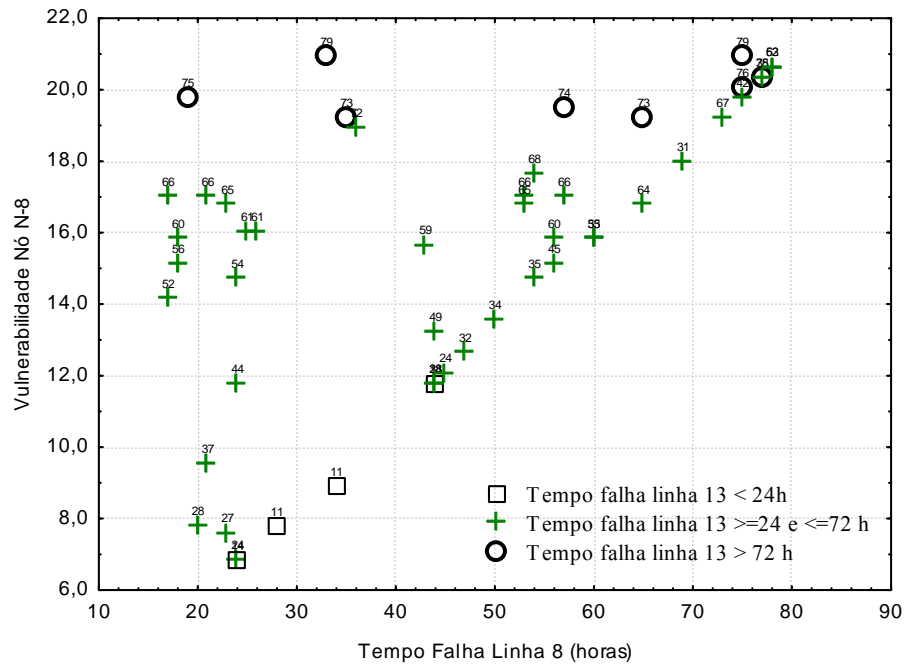


Figura 40 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-8 para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-8 e L-13

Análise da vulnerabilidade do nó N-62 por interrupção total de trechos expostos

A avaliação da vulnerabilidade para o nó N-62, com a linha L-24 interrompida, não provoca redução da pressão e da vazão disponíveis no nó, como demonstrado na Figura 41. Ou seja, que a demanda deste ponto pode ser satisfeita pela linha L-22, e se este trecho está interrompido o nó pode ser abastecido através de L-24.

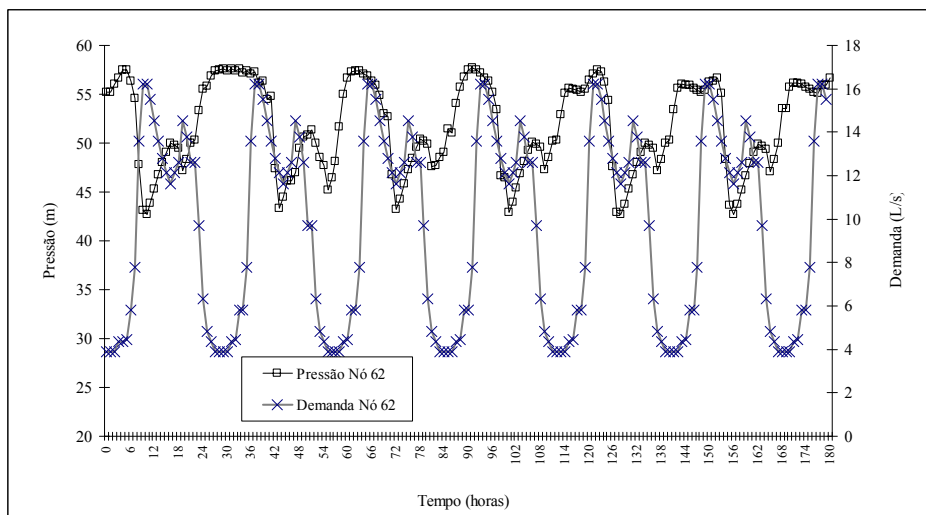


Figura 41 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-62, com interrupção do trecho L-24

Quando L-22 e L-24 são interrompidos juntamente, a vazão disponível no nó N-62 pode ser nula em determinados instantes da simulação. A Figura 42 apresenta o resultado de uma simulação para a interrupção simultânea dos dois trechos, a partir da hora 24 até a hora

68 não há abastecimento. Com a reabilitação da linha L-24, o abastecimento de água é regularizado novamente.

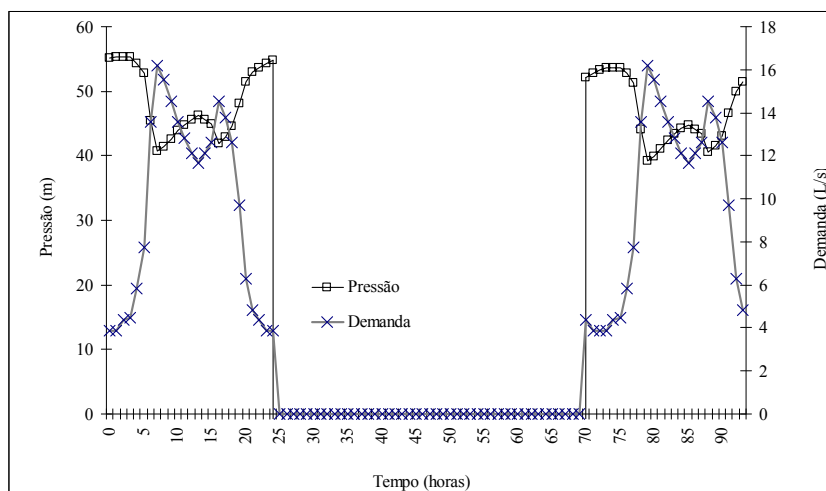


Figura 42 - Comportamento da pressão e da demanda no nó N-62 com interrupção iniciando na hora 24 e terminando na hora 86 para L-22 e na hora 68 para L-24

Considerando o tempo requerido para reabilitar os trechos L-22 e L-24, que possuem diâmetros de 200 mm e 400 mm, respectivamente, tem-se um impacto no desempenho do sistema, que depende totalmente da vulnerabilidade do nó N-62, pois os dois trechos só abastecem este ponto.

Na Figura 43 apresenta-se o comportamento da vulnerabilidade no sistema quando os trechos L-22 e L-24 estão fechados de forma simultânea a partir da hora 24 de simulação. A vulnerabilidade no sistema é baixa, isso é devido ao fato de o nó ter um baixo consumo.

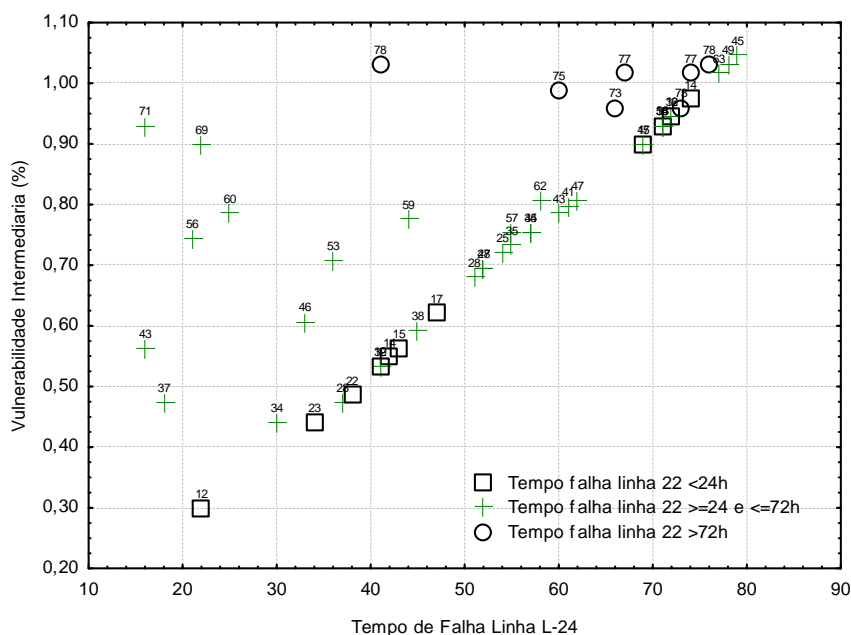


Figura 43 - Comportamento da vulnerabilidade no sistema para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-22 e L-24

Na Figura 44, observa-se que a vulnerabilidade no nó N-62 supera 20%. Do ponto de vista de geração de emergência, para um nó importante, uma vulnerabilidade maior que 10% representa uma emergência média.

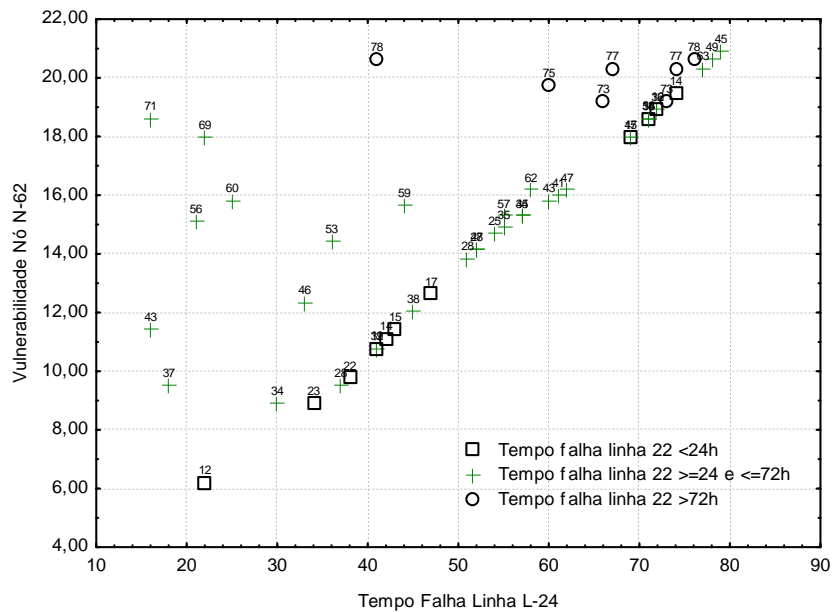


Figura 44 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-62 para diferentes tempos de interrupção dos trechos L-22 e L-24

Análise de vulnerabilidade do trecho L-50 em estado de interrupção total

A Figura 45 apresenta uma simulação do comportamento da vazão e da pressão no nó N-62, quando a linha L-50 é interrompida. Neste caso, é interessante observar que uma interrupção na hora 24, o nó avaliado reconhece a falha na hora 33. Na simulação analisada a pressão é afetada em dois momentos: na hora 33 a pressão é zero e tarda aproximadamente 15 horas em ser superior a 20 m; posteriormente na hora 60 a pressão volta a ser menor que 20 m até finalizar a falha na hora 74. Nesta caso, o tempo total de reabilitação do trecho foi de 50 horas.

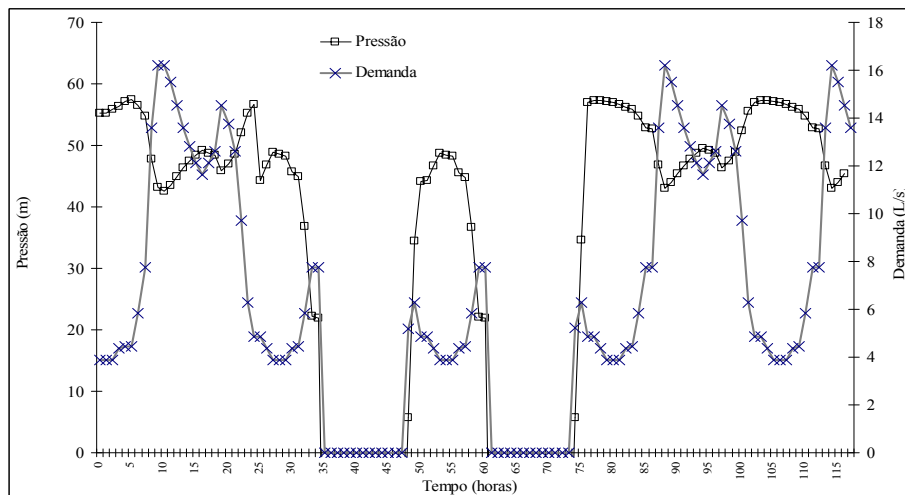


Figura 45 - Comportamento da vazão e a pressão no nó N-62 com interrupção do trecho L-50 entre a hora 24 e a hora 74

A vulnerabilidade do sistema quando falta o trecho L-50 foi a maior em comparação com outros trechos correspondente à parte malhada da rede. Em 50 simulações, foi observado uma média de vulnerabilidade do sistema de 4,64%, e nos nós a maior vulnerabilidade-nó foi nos nós N-20 e N-34, com aproximadamente 9,0%. Na Figura 46 apresenta-se o comportamento da vulnerabilidade para todos os nós de consumo quando o trecho L-50 é interrompido. Os nós importantes que são afetados por este trecho são o N-62, N-19 e o N-20.

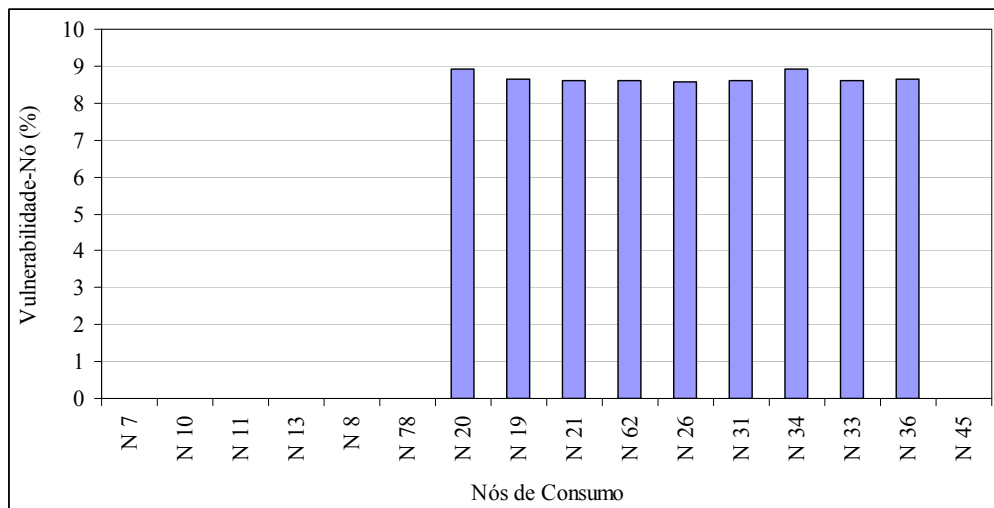


Figura 46 - Comportamento da vulnerabilidade em nós de consumo com a interrupção do trecho L-50

A Figura 47 destaca o comportamento da vulnerabilidade em três nós importantes e no sistema, quando o trecho L-50 é interrompido. A condição de estabilidade observada da hora 30 até a hora 60 é resultado do comportamento da pressão observada na Figura 45. A Figura 47 mostra que a vulnerabilidade nos nós e no sistema é mais crítica a partir da hora 60, instante em que as falhas tardam mais de 45 horas em ser solucionada.

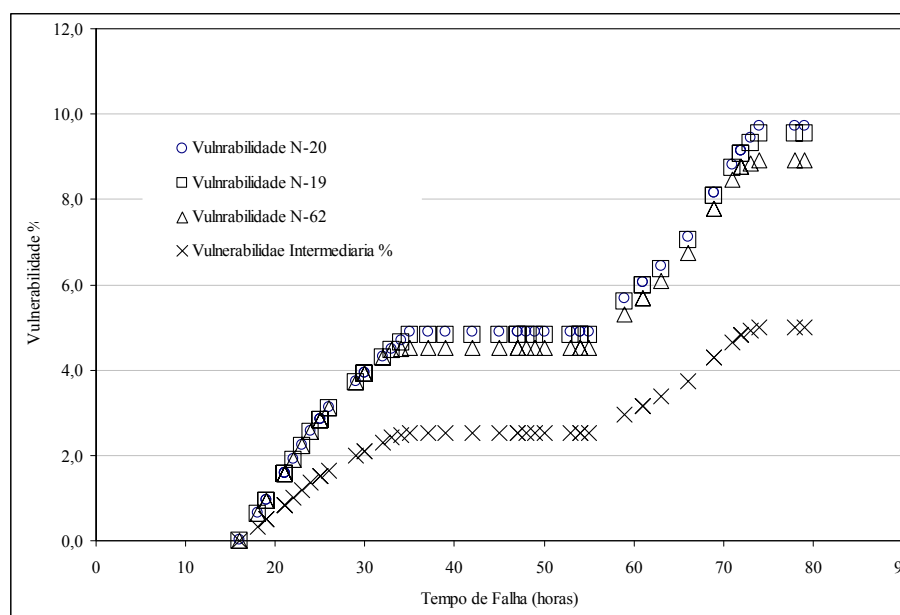


Figura 47 - Comportamento da vulnerabilidade nos nós N-12, N-20 e N-62 e no sistema com a interrupção do trecho L-50

Para fins de abastecer água em casos de emergências, o comportamento descrito anteriormente é importante, pois permite redistribuir as pressões nos diferentes nós, por meio da redução do consumo, para garantir que os nós de interesse recebam serviço.

4.2.2.2 Comportamento do sistema em condições de falhas da ERAT

Como foi estabelecido, a ETA Nibaje-25 e a estação de bombeamento encontram-se na zona de inundação em todos os períodos de retorno, portanto, podem ser afetadas por eventos hidrometeorológicos. As inundações que superem os 5 m de altura normal do rio ou aproximadamente 2 m de altura em relação ao nível da rua, superam a cota de 162,50 m, altura da plataforma da estação de bombeamento e da ETA.

Os elementos mais sensíveis são as bombas, o sistema de controle e os elementos eletromecânicos relacionados. Segundo as entrevistas realizadas, as bombas são os componentes que precisam de maior tempo de reabilitação. Na Tabela 12 foi estabelecido que as bombas requerem um tempo de reabilitação médio de 349 horas (15 dias) e um tempo máximo de 724 horas (30 dias). As ETAs, por sua parte, podem requerer um tempo de reabilitação médio de 186 horas (8 dias) e um máximo de 330 horas (14 dias). A ETA e a estação de bombeamento estão localizadas na mesma zona, por isso é possível considerá-la uma unidade em termos de danos provocados por inundações. Neste sentido, o conjunto conformado por estes dois componentes na seqüência é denominado Estação de Recalque de Água Tratada (ERAT).

Tabela 18 - Cotas de inundação na área da ETA Nibaje para períodos de retorno de 25, 50 e 100 anos e simulações para períodos de retorno de 200 e 500 anos, com característica topográfica similar ao ano 1979 para o perfil longitudinal

Ponto	Cota em Estiagem (m)	Cotas de inundação observadas (m)			Cota em Simulação (m)		
		TR-25	TR-50	TR-100	TR-200	TR-500	
Antes de Coraasan (montante)	P017	149,46	158,66	160,81	162,46	161,86	163,20
Área das ETAs Nibaje	P018	148,94	158,15	160,11	161,80	161,51	162,92
Subestação, depois de Coraasan	P018A	148,76	158,11	160,10	161,82	161,40	162,82
Córrego Nibaje	B (P019)	148,29	157,82	159,82	161,54	161,23	162,65
	Média	148,86	158,19	160,21	161,91	161,50	162,90

Fonte: SOGREAH/SERCITEC (2002)

Quase todos os eventos de inundação que afetaram Nibaje têm provocado falha na ERAT. Além disso, o funcionamento da ETA tende a ser afetado pelo aumento da turbidez produzida por chuvas, o que reduz a quantidade de água fornecida. A Tabela 18 resume as alturas esperadas para diferentes períodos de retornos na área correspondente às instalações da CORAASAN, cujos pontos são indicados na Figura 27. No furacão David as águas do rio Yaque do Norte atingiram a cota esperada para 100 anos de período de retorno e como pode-

se observar em períodos de retorno de 500 anos a altura da plataforma da bomba pode ser superada (SOGREAH/SERCITEC, 2002). No furacão David foram registrados danos importantes na ETA e em equipamentos eletromecânicos localizados na plataforma de bombas. No Anexo A encontram-se os dados das cotas de inundações segundo SOGREAH/SERCITEC (2002).

Na Figura 48, apresentam-se as cotas de inundação esperada na área das ETAs de Nibaje da Tabela 18, comparada com a cota da plataforma de bombas (linha). Ainda que a cota máxima seja atingida no período de retorno de 500 anos, as inundações em qualquer período podem provocar a parada do sistema.

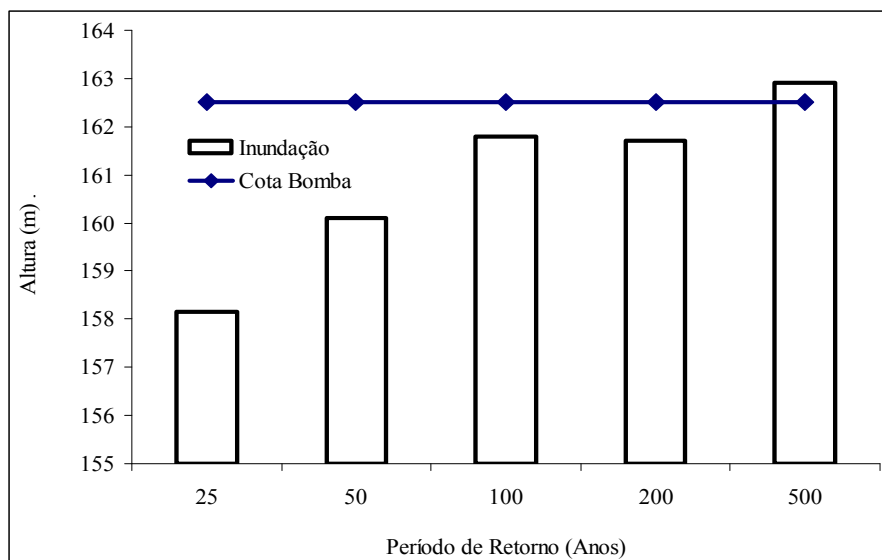


Figura 48 - Altura esperada para inundações em períodos de retorno de 25 a 500 anos no ponto de localização da ETA Nibaje
Fonte: SOGREAH/SERCITEC, 2002

A tormenta Olga, no ano 2007, produziu danos importantes nas instalações localizadas no setor de Nibaje, precisando mais de 60 dias para reabilitar a ETA Nibaje-25. Nesta tormenta, a altura da água na zona da ETA atingiu níveis de até 10 m, com precipitações de 50 anos de período de retorno e provocando mais danos que o furacão David.

Como foi previsto por SOGREAH/SERCITEC (2002), uma das obras que mais influencia na ocorrência de inundações é a ponte para pedestre construída no ano 2002, que em eventos com período de retorno de 25 anos poderia contribuir com uma elevação do rio de 4,3 m a 6,4 m para períodos de retorno de 500 anos, o mesmo estudo estabelece que a influência desta ponte atinge até Nibaje.

A Figura 49 comprova o impacto da ponte pedestre em casos de inundações, segundo as previsões. A altura desta infra-estrutura e o rápido esvaziamento da barragem com uma vazão maior que 500 m³/s foram as razões principais para que o nível da água atingisse alturas superiores às observadas no furacão David, no setor de Nibaje.



Figura 49 - Ponte de pedestres no dia 21 de julho (antes da t. Olga) e no dia 14 de dezembro 2007 (na emergência de inundação de t. Olga)

As falhas ERAT foram simuladas atribuindo velocidade de rotação da bomba de 85% ou 80%. Segundo a Tabela 12, os tempos de reabilitação mínimo e máximo da ETA são 32 e 340 horas, respectivamente, e para a estação de bombeamento são de 31 e 724 horas, respectivamente. As condições de falhas mais críticas foram simuladas com tempo de reabilitação aleatório entre 30 e 700 horas.

A velocidade de rotação de bombas é uma variável relacionada com a sua potência e com a altura da coluna de água que estes equipamentos podem satisfazer. Como se observa na Figura 50, a pressão disponível no sistema, e portanto, a vazão disponível é afetada com a variação da velocidade de rotação. Esta curva corresponde ao sistema La Zurza com duas bombas em funcionamento de maneira constante e duas em reserva. Com as quatro bombas disponíveis, o sistema tem capacidade total de 1.750 L.s^{-1} .

A Figura 50 apresenta o comportamento normal da estação de bombeamento para duas bombas em funcionamento, neste caso a capacidade de bombeamento é de aproximadamente de 875 L.s^{-1} . As simulações de condições críticas de velocidade de rotação para duas bombas indicaram que, com velocidade de rotação menor que 85% (para duas bombas) o sistema não pode satisfazer a demanda em todos os nós.

Nas bombas, do ponto de vista de dano individual, é possível considerar que existe redundância na estação de bombeamento. Mas, em se tratando de dano na estação de um modo geral, não há redundância no sistema. Uma inundação provoca danos nas estações de bombeamento, ou seja, em todas as bombas simultaneamente, além do que pode afetar os equipamentos de controle e sistemas eletromecânicos auxiliares (transformadores, redes elétricas, entre outros).

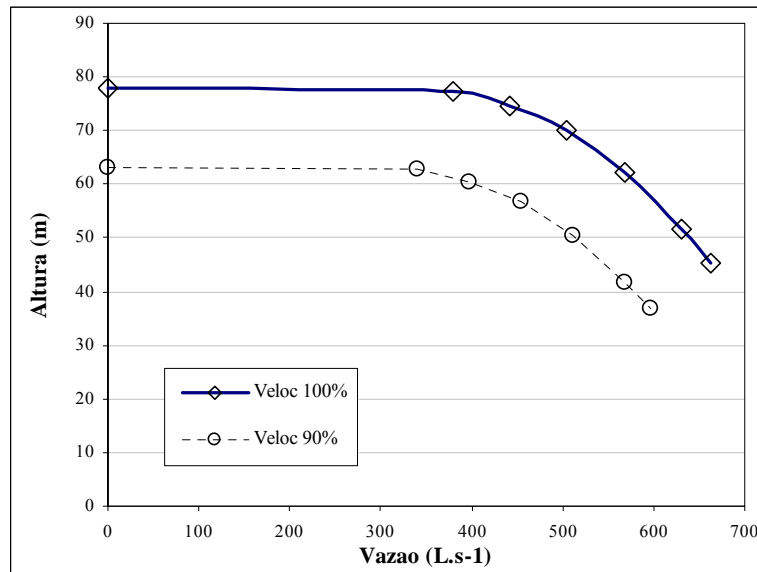


Figura 50 - Curva de comportamento da altura piezométrica com relação à vazão demandada no sistema com diferentes velocidades de rotação de bomba
Fonte: (adaptado de CORAASAN, 2007)

A Tabela 19 é o resultado da média de 50 simulações para estados de falha na bomba de 100 a 65% da capacidade de bombeamento, com impacto iniciando na hora 24 e um tempo de reabilitação aleatório entre 30 e 700 horas. A Tabela 19 mostra a média da vulnerabilidade intermediária e a vulnerabilidade-nó. A vulnerabilidade para o sistema, segundo os resultados apresentados nesta tabela, indica que o sistema encontra-se em emergência menor com velocidades de 85%, quando a vulnerabilidade foi de 5,06% e a vulnerabilidade-nó máxima é no nó N-11, com 14,05%. Uma emergência média ocorre com reduções de velocidade de 80% até aproximadamente 75%. Com uma redução de 75% da capacidade nominal da bomba tem-se uma emergência maior.

Tabela 19 - Vulnerabilidade intermediária (Vul_{Int}) e vulnerabilidade-nó com diferentes velocidades de rotação da ERAT

Veloc. rotação bomba %	Vul int. %	Vulnerabilidade-nó															
		N 7	N 10	N 11	N 13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
95	0,01	0,03	0,04	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90	0,83	2,16	2,22	2,71	1,66	0,33	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33
85	5,06	12,6	12,7	14,0	9,8	3,04	11,6	0,72	0,31	0,07	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,32	8,19
80	16,6	34,6	34,7	36,2	32,8	16,6	32,3	6,2	2,70	1,55	1,24	0,65	1,08	6,10	1,10	2,76	25,2
75	28,4	48,3	48,3	50,3	47,3	33,1	46,4	15,4	12,4	7,68	6,70	3,02	6,16	15,1	6,24	12,5	43,2
70	49,8	71,4	71,4	71,8	71,1	58,2	66,1	37,9	31,2	25,3	24,0	16,0	19,4	37,6	19,5	31,5	60,7
65	53,7	65,6	65,6	65,6	65,6	64,2	65,6	48,9	44,9	36,8	33,8	27,7	33,0	48,5	33,1	44,9	64,7

Na Figura 51, construída a partir dos dados da Tabela 19, observam-se as vulnerabilidades maiores de 10%, quando a capacidade da ERAT é menor que 84% da capacidade nominal. Uma capacidade de 85% garante um abastecimento precário para o sistema, mas todos os nós são servidos.

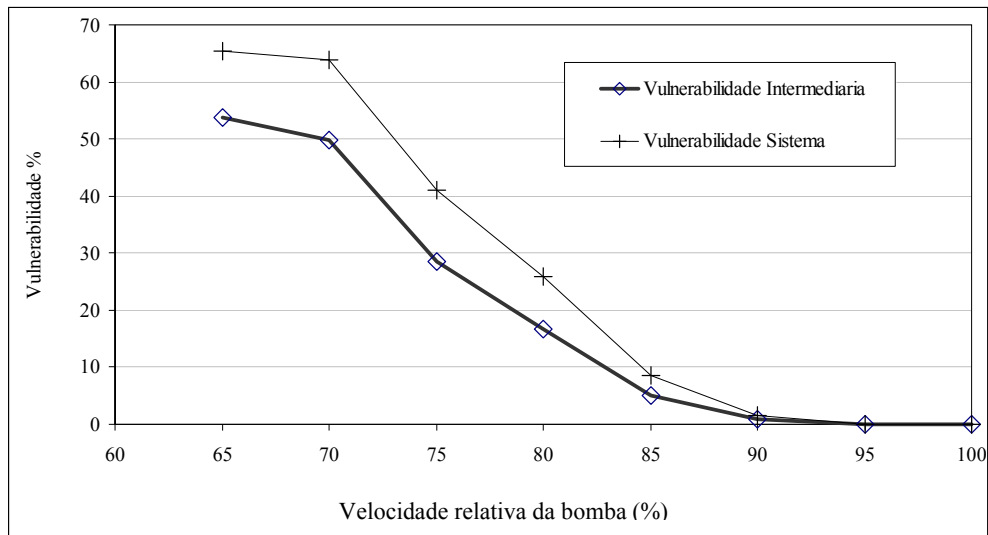


Figura 51 - Comportamento da vulnerabilidade para velocidades de rotação de bomba de 100% a de 65%

Na Figura 52, apresenta-se o comportamento da vulnerabilidade-nó para todos os nós de consumo quando a velocidade de rotação é de 90, 85 e 80%. O impacto no sistema, quando a velocidade é menor que 85%, é evidente em alguns nós sensíveis à redução da capacidade de bombeamento.

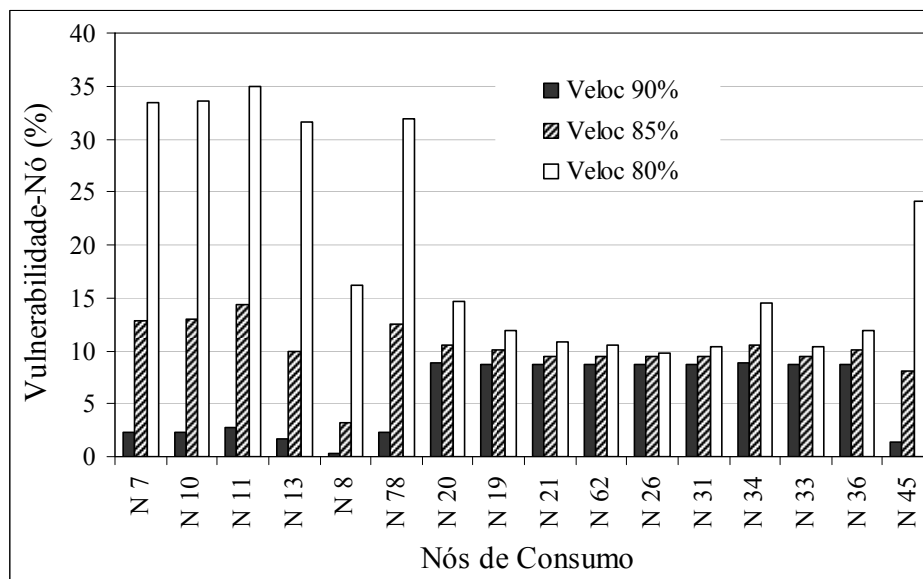


Figura 52 - Comportamento da vulnerabilidade-nó para velocidades de rotação de bomba de 90%, 85% e 80%

Análise de vulnerabilidade no nó N-8 por interrupção de trecho exposto e falha ERAT

Na Figura 53, observa-se o comportamento da vulnerabilidade, quando é variada a velocidade de rotação da bomba e interrupção da linha L-8. Pode-se observar o impacto que tem a redução da capacidade de produção ou bombeamento de água, e quando o sistema opera com velocidade menor que 80% da velocidade nominal, encontra-se em uma emergência média ou maior.

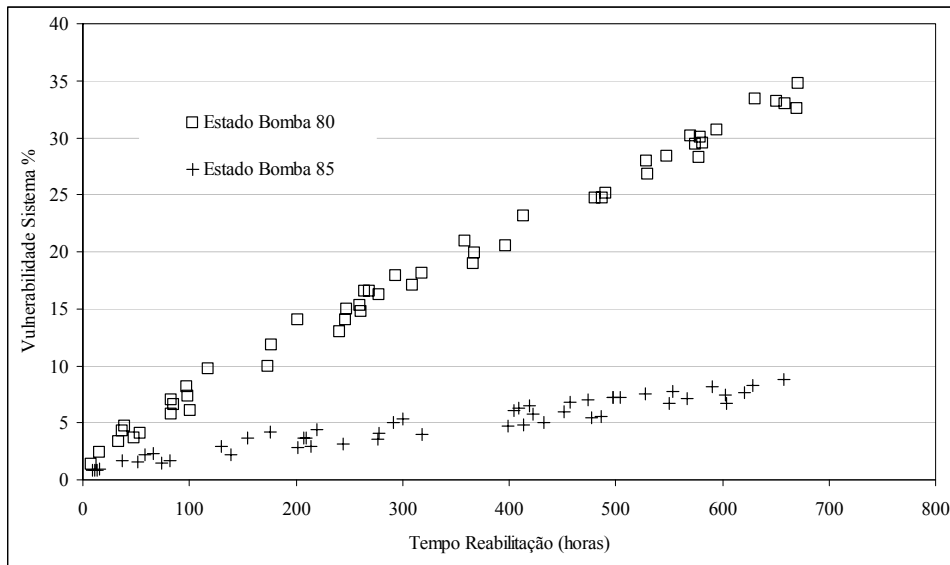


Figura 53 - Vulnerabilidade com o trecho L-8 interrompido e capacidade de bombeamento de 85% e 80%

Evidencia-se que, quando a ERAT está em estado de falha, o desempenho do sistema depende principalmente deste componente. O trecho não demora mais de 80 horas em ser reabilitada, portanto, a vulnerabilidade depende do longo tempo que a ERAT leva para ser consertada. A Figura 54 apresenta o comportamento da vazão e da pressão no nó N-8 em uma simulação, sendo evidente que o sistema entra em operação normal quando a operação da ERAT é normalizada aproximadamente na hora 95.

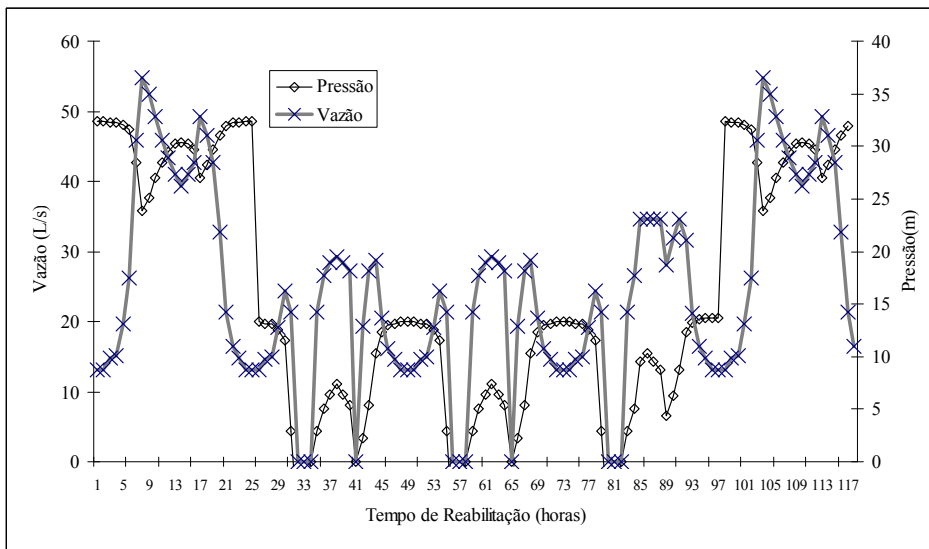


Figura 54 - Vazão e pressão no nó N-8 com interrupção do trecho L-8 por 58 horas e bombeamento a 80% da capacidade por 71 horas

Como foi estabelecido, a maior emergência neste nó ocorre quando o trecho L-13 (ou o L-53) é interrompido juntamente com L-8. A Figura 56 mostra o comportamento da vulnerabilidade com os trechos L-8 e L-13 interrompidos e falha na ERAT de 80% da velocidade nominal. A vulnerabilidade-nó é maior que com um único trecho interrompido, bem como o comportamento da vulnerabilidade é mais variado.

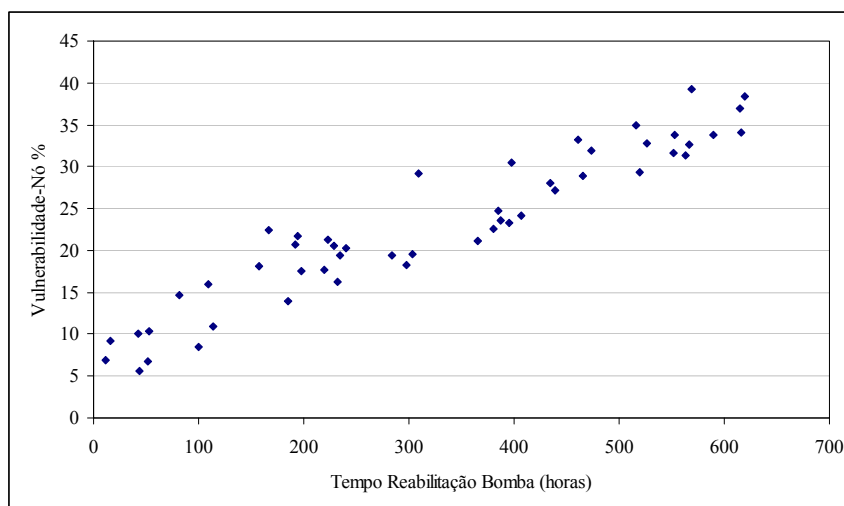


Figura 55 - Vulnerabilidade-nó para o nó N-8 com os trechos L-8 e L-13 interrompidos e capacidade de bombeamento de 80%

A Figura 56 apresenta o comportamento da vazão e da pressão quando as linhas L-8 e L-13 são interrompidas. Observa-se a redução da pressão por aproximadamente 44 horas, tempo que dura a falha na ERAT.

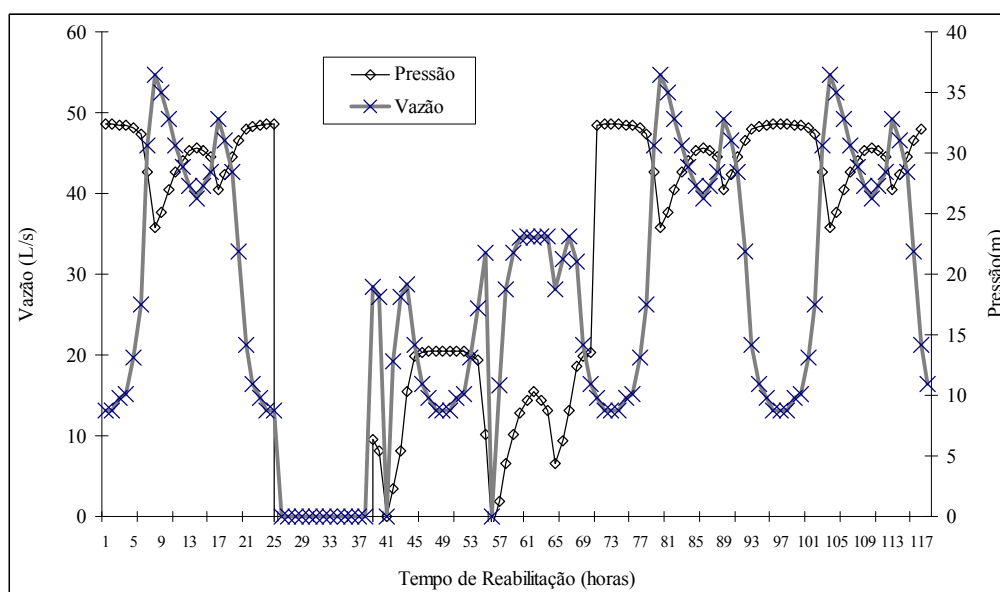


Figura 56 - Vazão e pressão no nó N-8 com interrupção dos trechos L-8 e L-13 por 18 e 12 horas e velocidade na ERAT de 80% por 44 horas

Análise da vulnerabilidade do nó N-62 por interrupção de trechos e falha na ERAT

Na Figura 57, tem-se o comportamento da vulnerabilidade no nó N-62 com o trecho L-24 interrompido e a ERAT a 80% da capacidade nominal. Segundo o resultado, a vulnerabilidade não representa emergência para este nó.

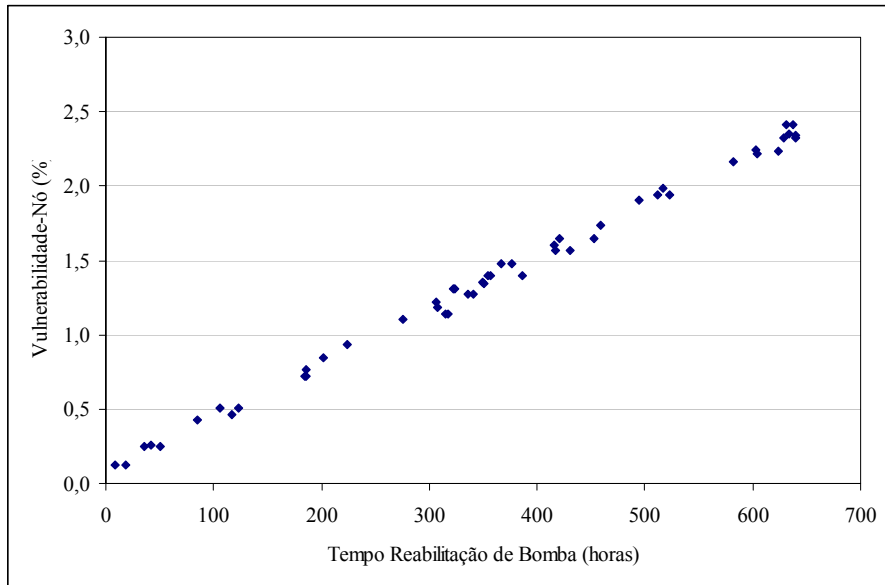


Figura 57 - Vulnerabilidade-nó para N-62 com o trecho L-24 interrompido e velocidade de rotação de bomba de 80%

A Figura 58 apresenta o comportamento de uma simulação para a ERAT funcionando com 80% da capacidade e interrupção da linha L-24. Pode-se observar a redução na vazão disponível, mas não representa uma falta de água para o nó.

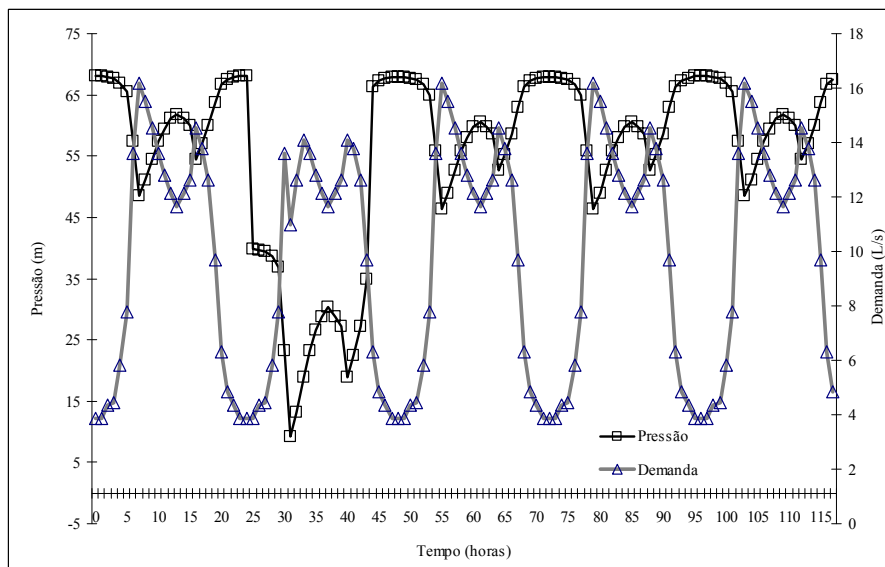


Figura 58 - Vazão e pressão no nó N-62 com interrupção do trecho L-24 por 48 horas e velocidade na ERAT de 80% por 18 horas

O comportamento da vulnerabilidade-nó para N-62 é mais crítico quando são interrompidos os trechos L-24 e L-22 e a ERAT está a 80% da capacidade. Na Figura 59 observa-se a vazão e a pressão no citado cenário. A pressão é afetada em toda a simulação com falha na ERAT até aproximadamente o tempo 65, mas o desabastecimento ocorre até a reabilitação do trecho L-22 na hora 50.

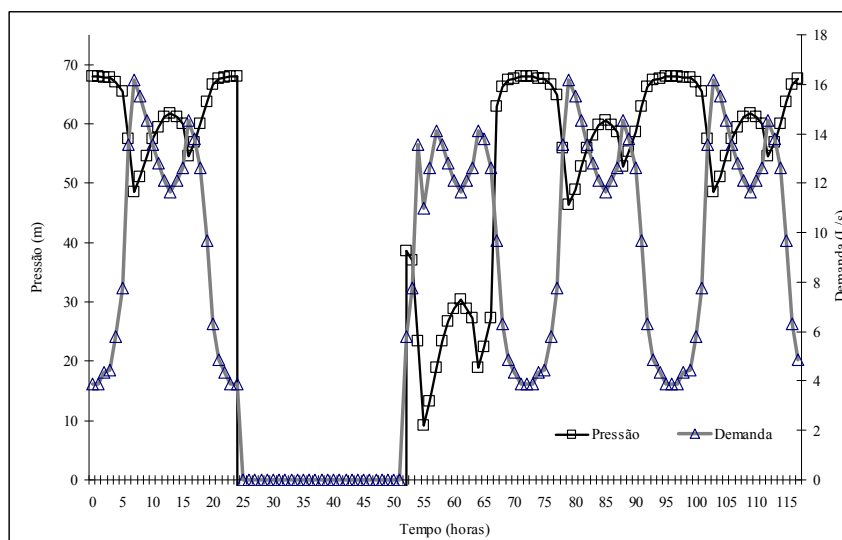


Figura 59 - Vazão e pressão no nó N-62 com interrupção dos trechos L-24 e L-22 por 69 horas e 26 horas, e velocidade na ERAT de 80% por 41 horas

A Figura 60 mostra o comportamento da vulnerabilidade no sistema quando as linhas L-22 e L-24 encontram-se fechadas e a ERAT trabalha a 80% da capacidade nominal, a vulnerabilidade pode atingir 30%, provocando uma emergência média.

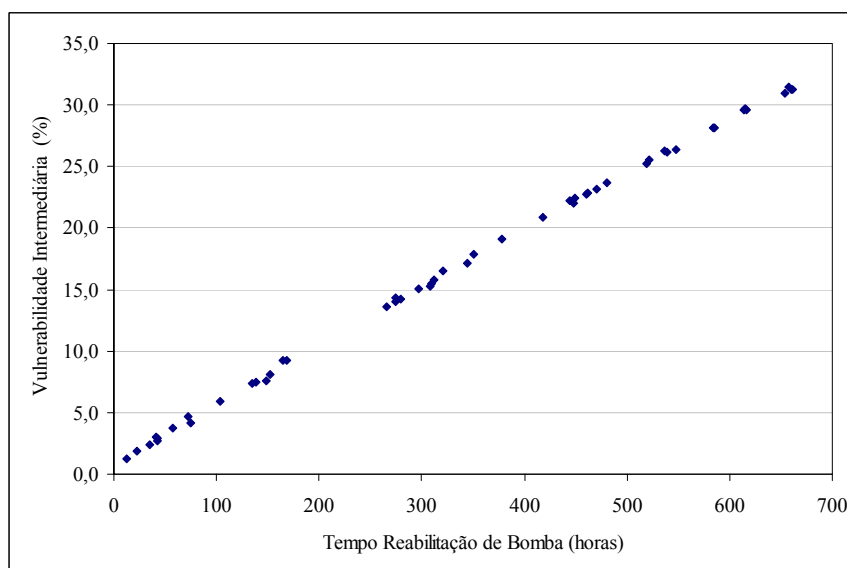


Figura 60 - Vulnerabilidade intermediária com interrupção dos trechos L-24 e L-22 e capacidade de bombeamento de 80%

Na Figura 61 tem-se a vulnerabilidade do nó com relação ao tempo de reabilitação das linhas L-24, L-22 e a ERAT. Constatou-se que a vulnerabilidade é maior com tempo de reabilitação altos para as duas linhas, independentemente do tempo de reabilitação da ERAT.

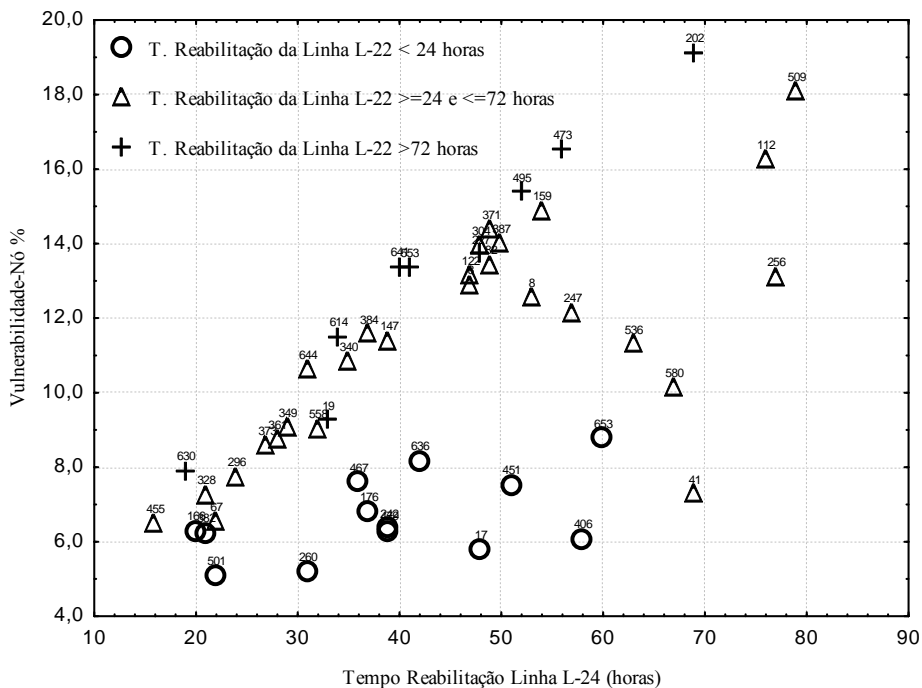


Figura 61 - Vulnerabilidade-nó N-62 com interrupção dos trechos L-24 e L-22 e velocidade na ERAT de 80%, segundo tempo de reabilitação da L-24, L-22 e a ERAT (número sobrescrito)

Análise de vulnerabilidade com o trecho L-50 interrompido e falha na ERAT

A interrupção da linha L-50 e a redução da velocidade da ERAT têm um impacto importante no desempenho do sistema. Alguns nós são mais afetados pela falha na linha, enquanto outros são mais sensíveis à condição na ERAT. A Figura 62 mostra o comportamento da vulnerabilidade no sistema para esta situação.

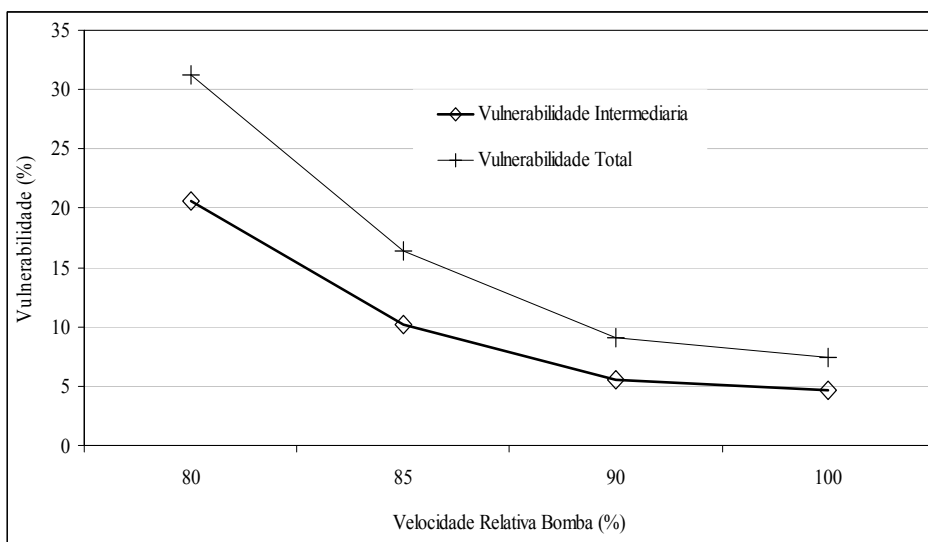


Figura 62 - Vulnerabilidade com o trecho L-50 interrompido em relação à velocidade de rotação da bomba

Quando a ERAT funciona a 100% de sua capacidade, a vulnerabilidade no sistema é de aproximadamente 8%, considerando-se que o sistema está em emergência menor, que depende do reparo na linha. Já a combinação das falhas provoca um aumento na

vulnerabilidade, causando uma emergência média com 85% da capacidade da ERAT ou emergência maior a partir de uma capacidade reduzida a 80% ou menor.

A Figura 63 apresenta o comportamento da vulnerabilidade-nó com falha na linha L-50 e na ERAT, o estado com maior alteração é com uma capacidade de 80%. Os nós importantes mais afetados são: o N-13 com vulnerabilidade maior que 30%, em emergência maior; o N-8 com aproximadamente 16% de vulnerabilidade, em emergência média; e o N-45 com aproximadamente 25% de vulnerabilidade, em emergência média.

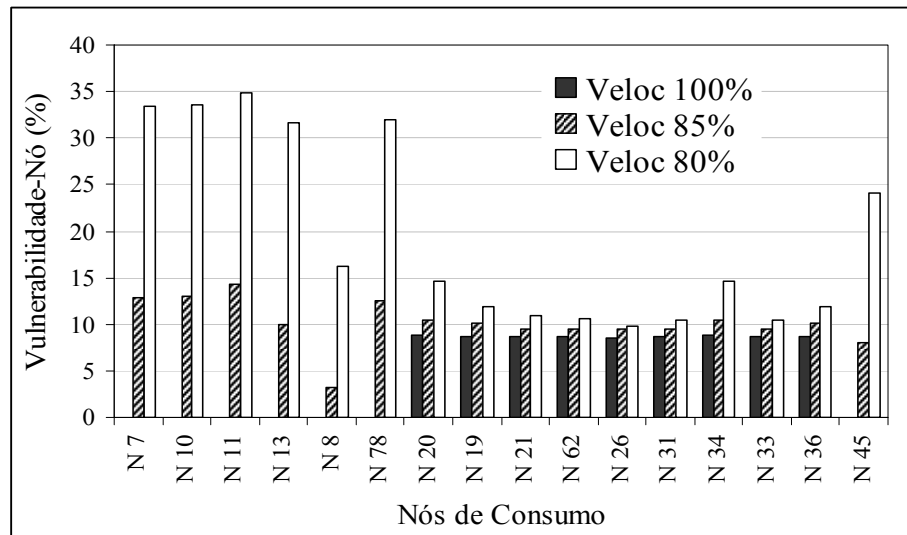


Figura 63 - Vulnerabilidade-nó com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 100, 85 e 80%

Os nós N-19 e N-62 apresentam uma vulnerabilidade de aproximadamente 10%, que corresponde a uma emergência menor. O impacto depende quase exclusivamente da interrupção do trecho. A redução da capacidade de bombeamento tem baixa influência no comportamento da vazão disponível nos nós N-19 e N-62.

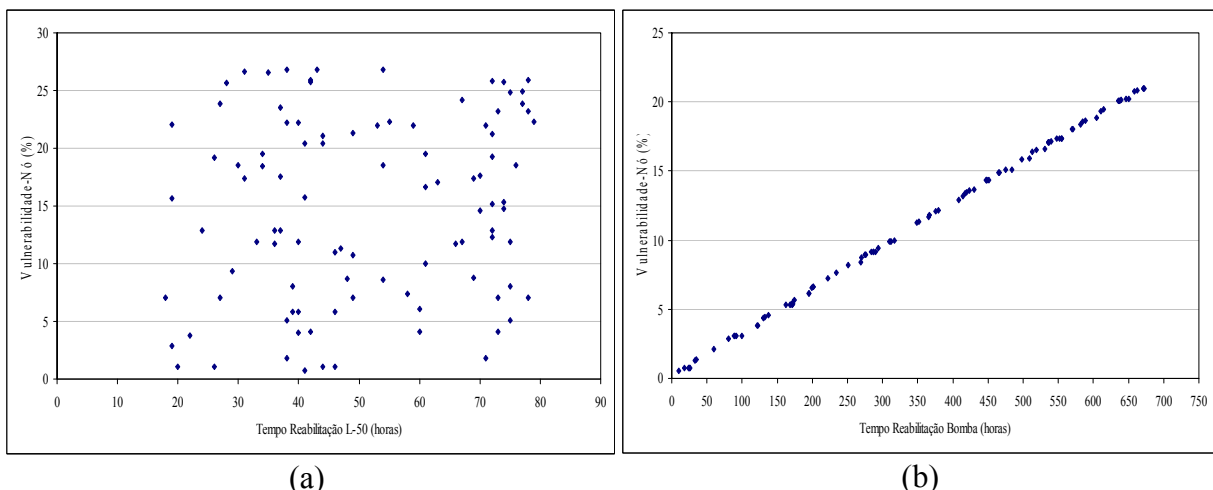


Figura 64 - Vulnerabilidade-nó para N-13 com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 85% para: (a) tempo de reabilitação de L-50 e (b) tempo de reabilitação da ERAT

A Figura 64(a) relaciona a vulnerabilidade e o tempo de reabilitação do trecho L-50 e a Figura 64 (b) compara a vulnerabilidade com o tempo de reabilitação da ERAT para o nó N-13. Na Figura 64(b) evidencia-se a relação direta entre a vulnerabilidade e a falha na ERAT, apresentando um $R^2 = 0,9995$. No entanto, não foi observado uma relação entre o tempo de reabilitação do trecho L-50 e a vulnerabilidade para o nó N-13.

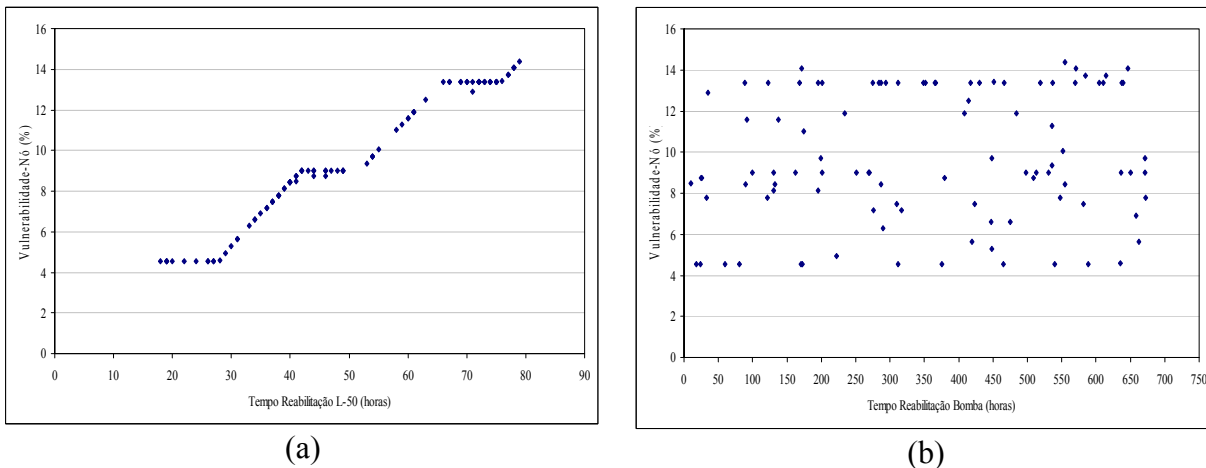


Figura 65 - Vulnerabilidade-nó para N-62 com o trecho L-50 interrompido e a velocidade relativa de rotação da bomba de 85% para: (a) tempo de reabilitação da L-50 e (b) tempo de reabilitação da ERAT

A Figura 65(a) apresenta a relação entre vulnerabilidade-nó e o tempo de reabilitação do trecho L-50 para o nó N-62, observa-se uma relação entre a vulnerabilidade e a falha no trecho L-50, com uma relação de $R^2=0,9765$. Na Figura 65(b), que compara a vulnerabilidade-nó e o tempo de reabilitação da ERAT, não há uma relação direta entre a falha na bomba e na vulnerabilidade no nó N-62.

A diferença entre os nós N-13 e N-62 é que, com relação à fonte, o primeiro nó está antes do trecho L-50 e o N-62 está depois, ou seja, após a falha. Este aspecto é importante já que a L-50 tem um impacto importante no sistema, mas sobre aqueles nós que estão na jusante.

A quantificação da vulnerabilidade é um aspecto fundamental no análise de riscos para sistemas de abastecimento de água. Os trabalhos que propõem o cálculo da vulnerabilidade, pelo gerar, têm um forte componente subjetivo. No trabalho realizado por ALA (2002a), é estabelecida uma metodologia para calcular a vulnerabilidade, mas ela não considera os aspectos dinâmicos de um sistema, e o resultado depende de critérios de especialistas. Os trabalhos apresentados pela Organização Mundial da Saúde, especialmente OMS/OPS (2001), também realizam calculos de vulnerabilidade a partir de considerações de técnicos especialistas.

A determinação quantitativa da vulnerabilidade, utilizando a metodologia proposta neste trabalho, é mais apropriada para gerar diversos cenários sem introduzir erros por considerações subjetivas. Além disso, esta é a forma mais eficiente, desde o ponto de vista computacional, para realizar os cálculos da vulnerabilidade hidráulica.

4.3 Análise de alternativas de abastecimento de água

As análises de alternativas de abastecimento de água têm duas abordagens principais: a) alternativa de fornecimento de água em nós vulneráveis e importantes, alterando o consumo nos nós com o fechamento e abertura de trechos; b) fornecimento de água por fontes alternativas, que pode ser com captação e ETAs existentes ou com fontes emergenciais.

Nos dois casos é preciso ter uma experiência prévia das possibilidades permitidas pelo sistema e pelo entorno, além de conhecer os níveis de consumo e as necessidades de água de locais específicos. Mas, ainda que é possível conhecer a quantidade de água requerida por um nó determinado e a capacidade de fontes de água disponíveis no local, não é possível conhecer o comportamento do sistema quando se alteram as condições da rede para satisfazer a demanda de água. Isso último é mensurável utilizando a confiabilidade ou vulnerabilidade, como indicador de desempenho.

Em Santiago de los Caballeros, o sistema de água completo tem quatro ETAs, duas têm capacidade para fornecer água para todos os setores. Estas ETAs são La Noriega I e II, a primeira tem uma capacidade de aproximadamente $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e a segunda $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pela sua localização as unidades não são afetadas por inundações, como no caso das ETAs de Nibaje, ainda que a produção destas é afetada pela alteração da qualidade da água bruta e este fato reduz a quantidade de água disponível no sistema.

No abastecimento de água, em especial quando existe déficit na quantidade disponível, é comum a realização de racionamento do serviço para permitir o fornecimento de água a diferentes setores de maneira alternada. No caso de falhas em linhas, o sistema de água provavelmente não vai ter um comportamento similar ao conhecido pelos operadores de redes no momento de enviar água de um nó a outro. Por esta razão, é recomendável analisar as condições de funcionamento do sistema de água por meio de simulações deste em casos de falha.

4.3.1 Análise do abastecimento com o trecho L-8 interrompido e ERAT em falha

As simulações são realizadas considerando condições médias de tempo de reabilitação da ERAT e da linha impactada, sendo de aproximadamente 15 e 2 dias, respectivamente. A Figura 66 demonstra o comportamento da vulnerabilidade no sistema com a redução da demanda em nós não-importantes. Uma demanda igual a 100% manteve a condição de maior vulnerabilidade, já uma redução do consumo em 40% a vulnerabilidade do sistema diminuiu. Esse aspecto é útil para redistribuir água aos nós considerados importantes.

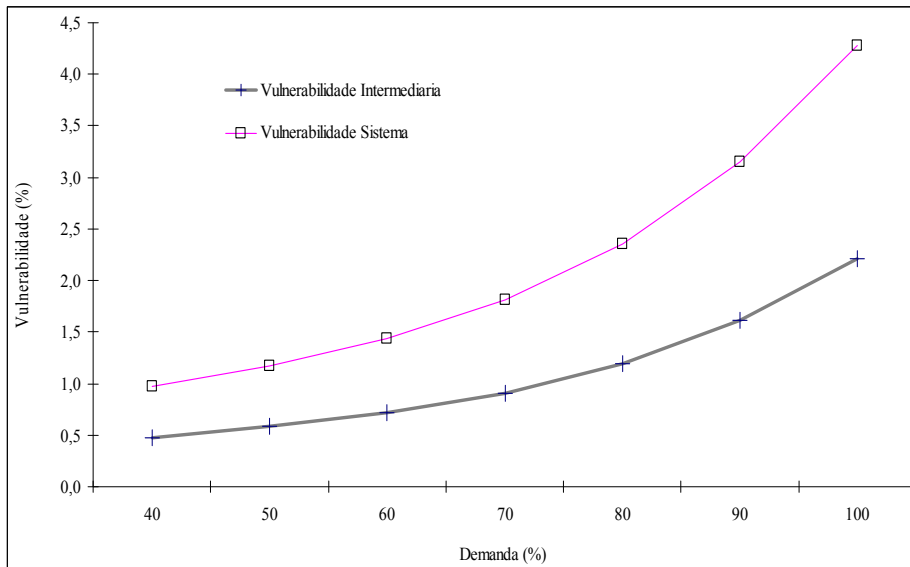


Figura 66 - Vulnerabilidade no sistema com impacto no trecho L-8 e a ERAT a 85% da capacidade, com redução da demanda a nós não-importantes

A Figura 67 mostra o comportamento da vulnerabilidade quando a demanda em nós não-importantes é reduzida até atingir níveis desejados no sistema ou em nós importantes. Observa-se que uma redução da vazão nos nós N-7, N-11, N-78, N-20, N-21, N-26, N-31, N-34, N-33 e N-36, que são os nós não-importantes, provoca a redução da vulnerabilidade no sistema. Neste caso a vulnerabilidade no sistema é baixa, sendo observado um impacto maior em nós específicos, como os nós N-10 e N-13.

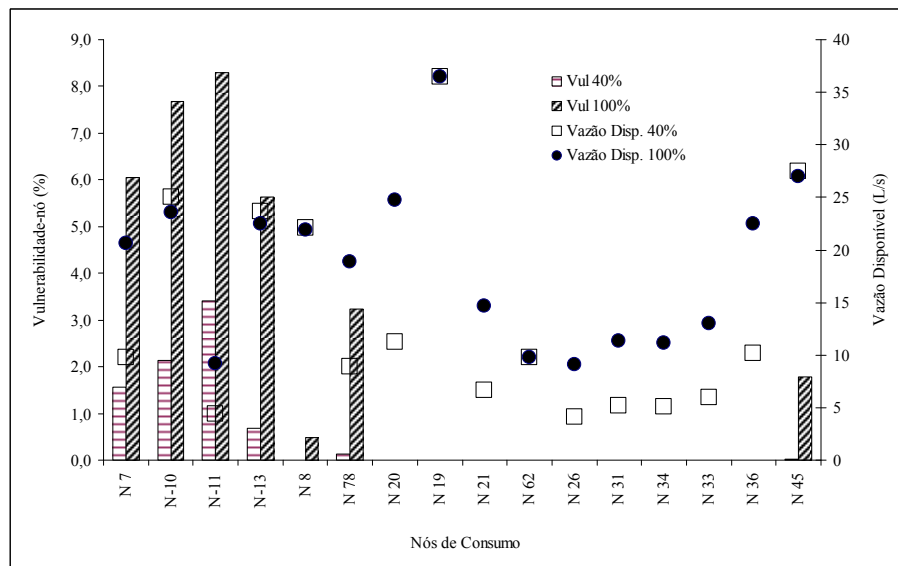


Figura 67 - Vulnerabilidade e vazão em nós de consumo para interrupção de L-8 e a ERAT a 85% da capacidade, redução da demanda em nós não-importantes

Na Figura 68(a), apresenta-se o comportamento da vazão disponível com diferentes reduções da vazão consumida em nós não-importantes e na Figura 68(b) observa-se o comportamento da vulnerabilidade com a redução da vazão. Em casos emergenciais, com 15

dias de impacto na ERAT, a emergência pode ser manejada com vazão relativamente altas em nós não-importantes, dado que a vulnerabilidade é baixa para todo o sistema.

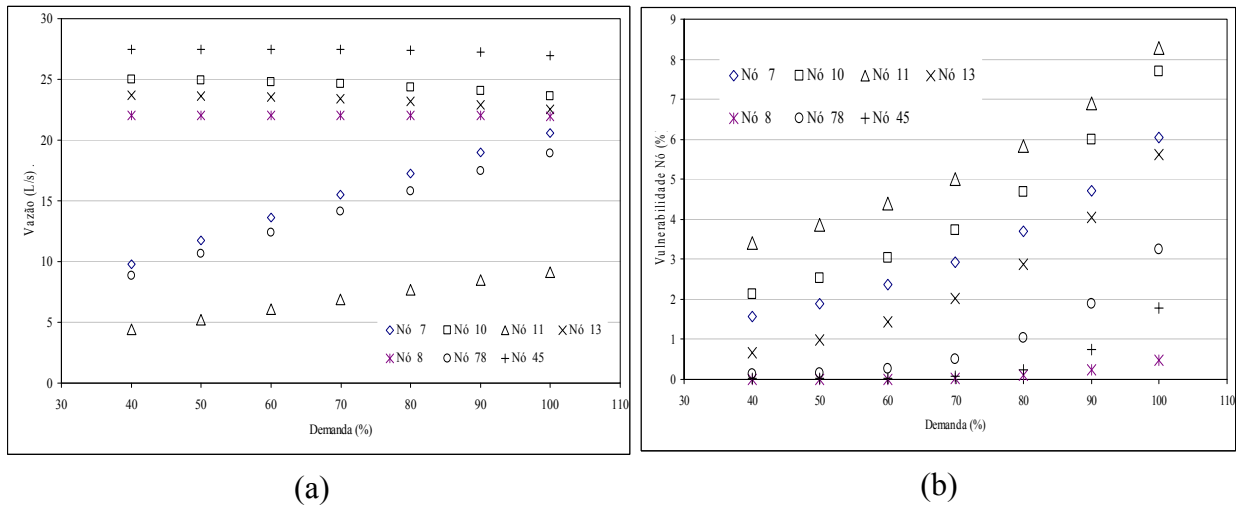


Figura 68 - Comportamento da vazão (a) e a vulnerabilidade (b), cenários com manobra para reduzir a demanda em nós não-importantes

Na Figura 69 tem-se o comportamento da vulnerabilidade no nó N-10, quando a vazão foi reduzida em nós não-importantes. O nó N-10 apresenta maior vulnerabilidade dentre os importantes. Com uma redução de 50% da vazão é possível satisfazer a demanda neste nó, sem gerar uma alta vulnerabilidade no sistema.

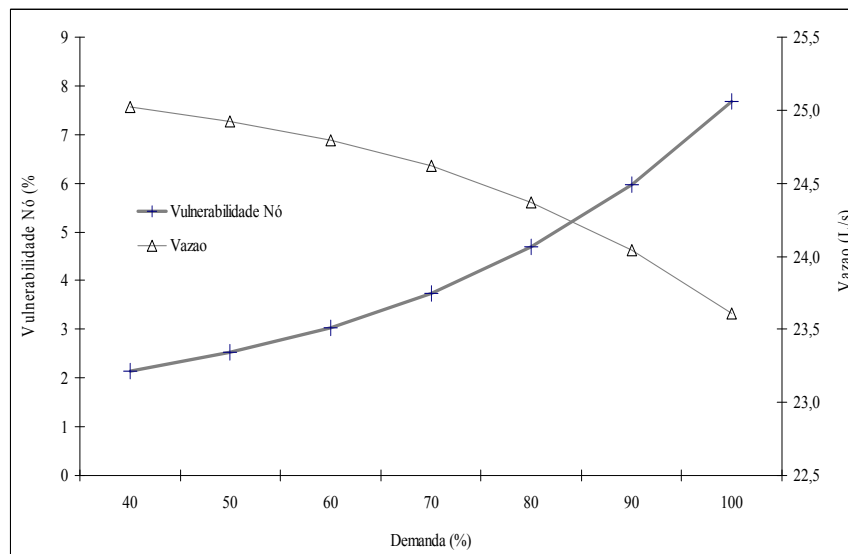


Figura 69 - Comportamento da vulnerabilidade no nó N-10 em casos de manobra para reduzir a demanda em nós não-importantes

Nas Tabelas 20 e 21, observam-se os resultados de simulações de redução da demanda em nós não-importantes. Dado que é recomendado um mínimo de 20 L.hab⁻¹.d⁻¹ e a dotação média para o município é de 200 L.hab⁻¹.d⁻¹, então a demanda não deve ser reduzida a menos de 10% da demanda base.

Tabela 20 - Vulnerabilidade intermediária e de nó para redução da demanda em nós não-importantes, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-8 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas

Demanda nó não importante (%)	Vulint (%)	Vulnerabilidade-nó															
		N 7	N-10	N-11	N-13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
0	0,17	0,64	0,87	0,75	0,06	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
5	0,20	0,71	1,01	1,44	0,08	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
10	0,23	0,81	1,15	1,86	0,11	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
15	0,27	0,92	1,30	2,19	0,16	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
20	0,30	1,03	1,46	2,46	0,22	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
25	0,34	1,15	1,62	2,71	0,30	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
30	0,38	1,28	1,79	2,95	0,40	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
35	0,43	1,42	1,96	3,18	0,53	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
40	0,48	1,57	2,14	3,40	0,67	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
45	0,53	1,72	2,33	3,63	0,83	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
50	0,58	1,90	2,53	3,86	0,99	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
55	0,64	2,12	2,76	4,11	1,19	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
60	0,72	2,36	3,04	4,38	1,43	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
65	0,81	2,63	3,36	4,68	1,70	0,01	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
70	0,91	2,93	3,74	5,01	2,03	0,04	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
75	1,03	3,28	4,17	5,38	2,40	0,06	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
80	1,20	3,69	4,70	5,83	2,87	0,11	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
85	1,38	4,15	5,27	6,30	3,39	0,16	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45
90	1,61	4,71	5,98	6,89	4,04	0,25	1,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
95	1,89	5,35	6,81	7,57	4,80	0,35	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18
100	2,21	6,05	7,69	8,29	5,63	0,48	3,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78

Tabela 21 - Vazão disponível em nós de consumo, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-8 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas

Demanda nó não importante (%)	Vazão disponível															
	N 7	N-10	N-11	N-13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
D. Base	21,9	25,3	10,0	23,6	21,9	19,6	24,8	36,2	14,7	9,70	9,12	11,3	11,2	13,0	22,5	27,2
0	1,98	25,35	0,90	23,84	22,06	1,77	2,25	36,51	1,34	9,79	0,83	1,03	1,01	1,19	2,05	27,44
5	2,97	25,32	1,34	23,84	22,06	2,66	3,38	36,51	2,01	9,79	1,24	1,54	1,52	1,78	3,07	27,44
10	3,96	25,28	1,78	23,83	22,06	3,55	4,51	36,51	2,68	9,79	1,66	2,06	2,03	2,37	4,09	27,44
15	4,94	25,24	2,22	23,82	22,06	4,44	5,63	36,51	3,34	9,79	2,07	2,57	2,53	2,96	5,11	27,44
20	5,92	25,20	2,66	23,81	22,06	5,32	6,76	36,51	4,01	9,79	2,49	3,08	3,04	3,55	6,13	27,44
25	6,90	25,16	3,09	23,78	22,06	6,21	7,88	36,51	4,68	9,79	2,90	3,60	3,55	4,14	7,15	27,44
30	7,87	25,11	3,53	23,76	22,06	7,10	9,01	36,51	5,35	9,79	3,31	4,11	4,05	4,74	8,17	27,44
35	8,84	25,07	3,96	23,73	22,06	7,99	10,14	36,51	6,02	9,79	3,73	4,62	4,56	5,33	9,20	27,44
40	9,81	25,02	4,39	23,70	22,06	8,87	11,26	36,51	6,69	9,79	4,14	5,14	5,07	5,92	10,22	27,44
45	10,77	24,98	4,82	23,66	22,06	9,76	12,39	36,51	7,36	9,79	4,56	5,65	5,57	6,51	11,24	27,44
50	11,73	24,93	5,24	23,62	22,06	10,65	13,51	36,51	8,02	9,79	4,97	6,17	6,08	7,10	12,26	27,44
55	12,68	24,87	5,66	23,57	22,06	11,53	14,64	36,51	8,69	9,79	5,39	6,68	6,58	7,69	13,28	27,44
60	13,62	24,80	6,08	23,52	22,06	12,41	15,77	36,51	9,36	9,79	5,80	7,19	7,09	8,29	14,30	27,44
65	14,56	24,71	6,49	23,45	22,06	13,28	16,89	36,51	10,03	9,79	6,21	7,71	7,60	8,88	15,32	27,44
70	15,48	24,62	6,90	23,37	22,05	14,14	18,02	36,51	10,70	9,79	6,63	8,22	8,10	9,47	16,35	27,43
75	16,39	24,51	7,31	23,28	22,05	14,99	19,14	36,51	11,37	9,79	7,04	8,73	8,61	10,06	17,37	27,42
80	17,28	24,37	7,70	23,17	22,04	15,83	20,27	36,51	12,04	9,79	7,46	9,25	9,12	10,65	18,39	27,38
85	18,15	24,23	8,09	23,05	22,02	16,65	21,39	36,51	12,70	9,79	7,87	9,76	9,62	11,25	19,41	27,33
90	18,99	24,04	8,46	22,89	22,00	17,43	22,52	36,51	13,37	9,79	8,29	10,27	10,13	11,84	20,43	27,24
95	19,81	23,83	8,82	22,71	21,98	18,19	23,65	36,51	14,04	9,79	8,70	10,79	10,64	12,43	21,45	27,13
100	20,60	23,61	9,16	22,51	21,95	18,91	24,77	36,51	14,71	9,79	9,11	11,30	11,14	13,02	22,47	26,96

Neste cenário é possível abastecer água com 70% ou mais da vazão requerida em nós não-importantes, já que a vulnerabilidade esperada no sistema é baixa e a vulnerabilidade em nós importante não atinge 10%.

4.3.2 Análise de abastecimento com os trechos L-24 e L-22 interrompidos

No caso de um nó sofrer desabastecimento pela interrupção de todas os trechos que fornecem água, a solução tem que ser prevista antes da condição de falha. No setor de La Zurza esta condição se apresenta no nó N-62, que pode ser afetado pela interrupção das linhas L-24 e L-22. Simulações para 30 dias, com tempo de reabilitação variável, permitem determinar opções de abastecimento com volume de reserva para disponibilizar água para o nó N-62.

Na Figura 70, observa-se o comportamento da vulnerabilidade quando o nó N-62 é abastecido com água de reservatórios emergenciais. A falha simulada foi gerada pelo fechamento dos trechos L-22 e L-24 por um tempo total de 48 horas ou 96 horas. Os resultados mostram que, com um volume entre 1.000 m³ e 2.000 m³ é possível satisfazer a demanda com níveis de vulnerabilidade menor que 10%, quando qualquer dos trechos é reabilitado em tempo menor que 24 ou 48 horas, respectivamente. Com tempo de reabilitação maior que 72 horas, para manter uma vulnerabilidade menor que 10%, é preciso reservar um volume maior que 1.800 m³.

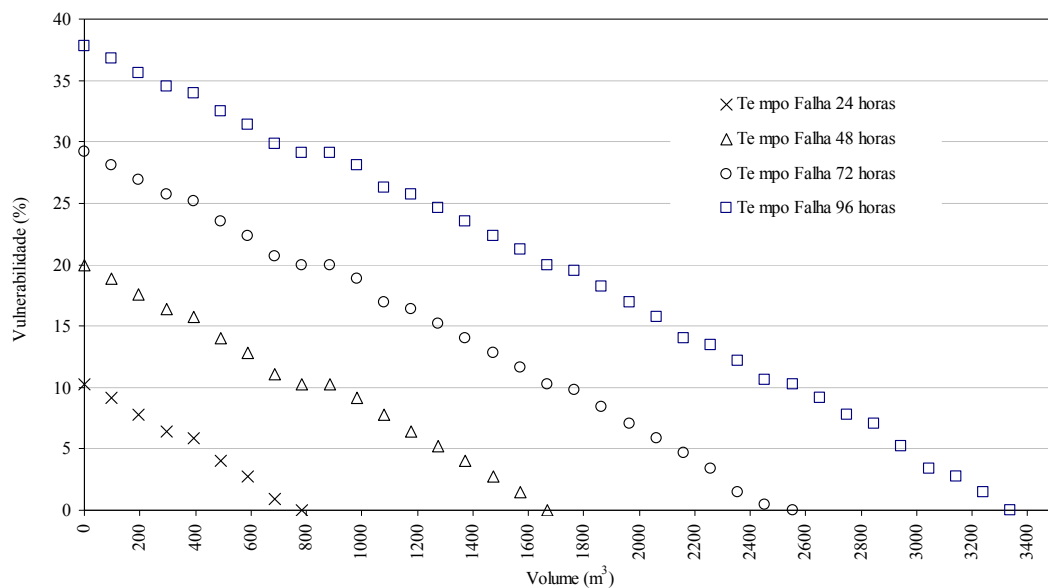


Figura 70 - Vulnerabilidade e volume necessário no nó N-62 com os trechos L-24 e L-22 interrompidos por 24, 48, 72 ou 96 horas

A Tabela 22 mostra a média de 50 simulações para 30 dias de serviço e condições de falha com a interrupção dos trechos L-22 e L-24. A vulnerabilidade-nó média em N-62, quando disponibilizada água de maneira emergencial, tem uma importante redução. Com um volume aproximado de 1.000 m³ a vulnerabilidade-nó em N-62 foi reduzida em 58% e com um volume reservado de 2.000 m³ a redução foi de 87%.

Tabela 22 - Vulnerabilidade média para o sistema e para o nó N-62 com os trechos L-22 e L-24 interrompidos e com volume emergencial de 1.000 m³ e 2.000 m³

Tempo Falha (horas)		Vulnerabilidade (%)								
L-22	L-24	Fator de Nó (Fn)	Fator de Tempo (Ft)	Fator de Volume (Rv)	Sistema	Intermediária	Nó N-62	Vazão Disp. No-62 (L.s ⁻¹)	Pressão Disp. No-62 (m)	Volume Reserva Emergencial (m ³)
62,94	76,27	0,987896	0,988923	0,994326	2,86	1,67	32,19	8,06	50,77	0,00
63,16	76,31	0,995050	0,996078	0,997557	1,13	0,64	13,36	9,04	56,03	1000,00
63,49	75,84	0,998522	0,998795	0,999254	0,34	0,20	4,18	9,56	62,48	2000,00

Na Figura 71 tem-se o comportamento da vulnerabilidade com e sem opção de abastecimento emergencial. Considerando as condições hidráulicas para os tempos de reabilitação dos dois trechos, o comportamento da vulnerabilidade é o esperado, segundo o volume disponível. Com um volume de reserva de 1.000 m³ ou com um de 2.000 m³ é possível satisfazer a demanda. Se o tempo de reabilitação de um trecho não ultrapassa as 48 horas é possível ter um volume de reserva de apenas 1.000 m³.

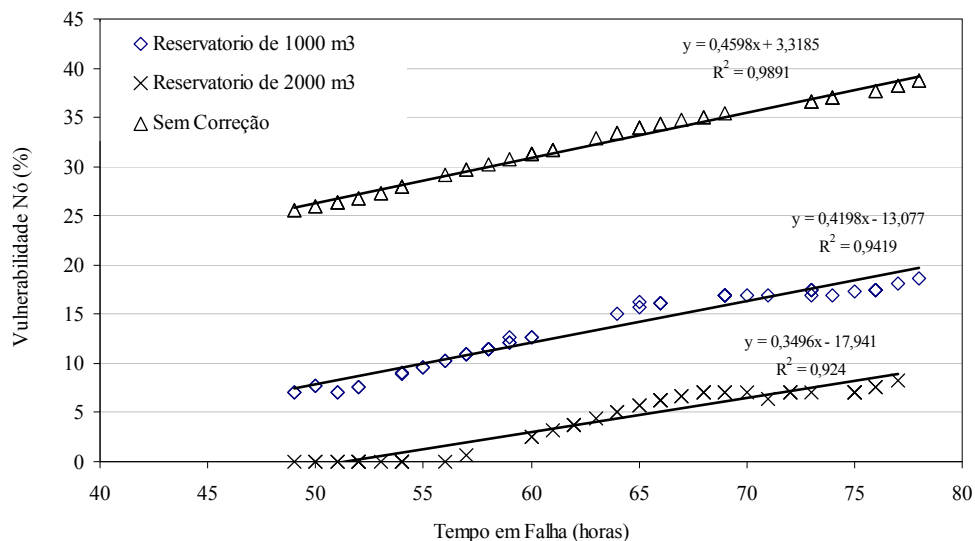


Figura 71 - Vulnerabilidade com e sem abastecimento de água por reservatório emergencial para o nó N-62, em casos de interrupção dos trechos L-22 e L-24 em tempo variável, volume disponível de 1.000 m³ e 2.000 m³

Este tipo de solução é de difícil aplicação na fase de pós-impacto de um fenômeno, portanto, é preciso uma análise prévia para localizar e projetar reservatórios. Neste sentido é preciso que os prestadores de serviço avaliem a necessidade de reservatórios segundo a importância do consumidor e o tempo médio que a falha poderia afetar o nó. Por outro lado, a reserva de água tem maior aplicabilidade em emergências provocadas por fenômenos previsíveis, como o caso de algumas inundações.

Hoshiya, Yamamoto e Ohno (2004) utilizam o índice de redundância para determinar o desempenho do sistema em caso de falhas provocadas por sismos. Nesse caso foi proposto

um trecho alternativo, com o qual se abastece o maior número de nó de consumo em caso de falha. Apesar da aplicabilidade do índice de redundância para determinar a possibilidade de desabastecimento em um nó, este não pode ser aplicado para propor soluções no caso de o nó ser totalmente isolado. Com a determinação do desempenho do sistema, através da vulnerabilidade, é possível estabelecer medidas de contingência. E com isso reduzir o nível da emergência por desabastecimento em um nó avaliado.

4.3.3 Análise do abastecimento com o trecho L-50 interrompido e ERAT em falha

Como foi estabelecido, o trecho L-50 é o que apresentou maior impacto no comportamento da rede, ainda que não é afetada por inundação. A simulação com o trecho interrompido por dois dias e com a ERAT trabalhando a 85% apresentou o pior cenário do sistema La Zurza. A Figura 72 apresenta o comportamento da vulnerabilidade do sistema e a vulnerabilidade intermediária, sendo esta última maior que 10% quando a demanda em nós não-importantes é superior a 80%.

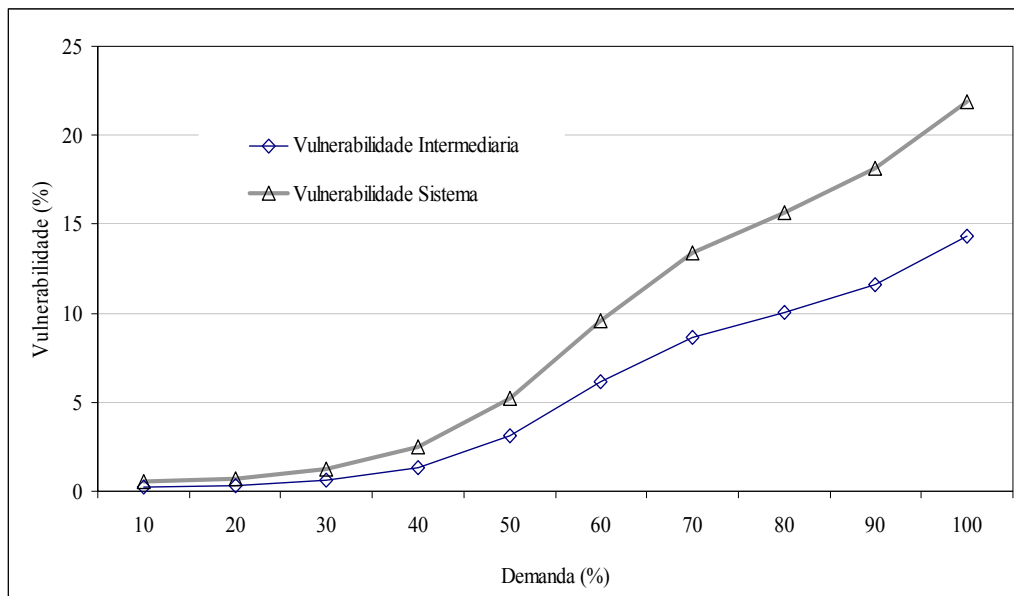


Figura 72 - Comportamento da vulnerabilidade do sistema e intermediária quando o trecho L-50 é interrompido e a vazão é reduzida em nós não-importantes

Na Figura 73, apresenta-se o comportamento da vulnerabilidade-nó quando a demanda é reduzida em nós não-importantes. Neste caso, é possível observar que, disponibilizando 50% ou menos da vazão requerida por nós não-importantes, a vulnerabilidade é menor que 10% em nós importantes. Observa-se também que os nós mais afetados são o N-19 e o N-62, dos importantes, e o nó N-34, dos não-importante.

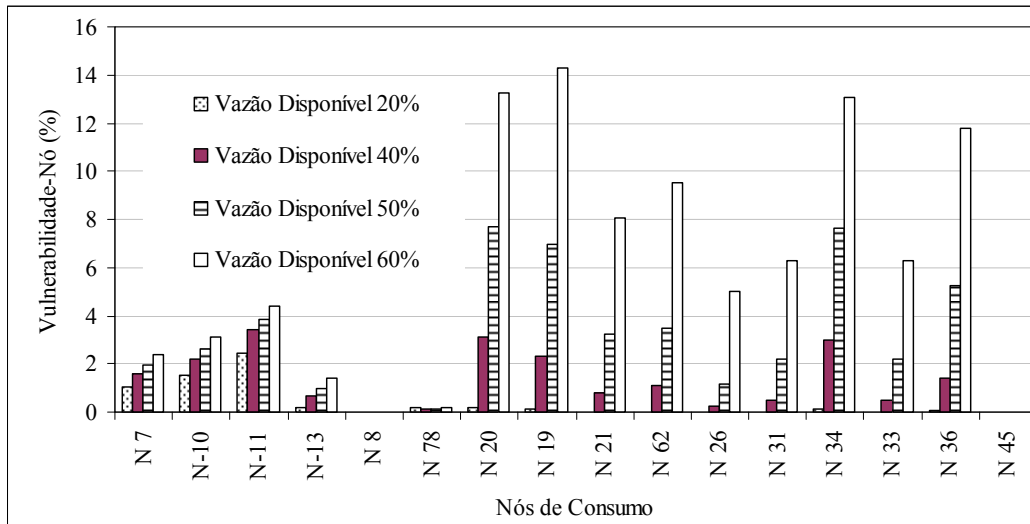


Figura 73 - Comportamento da vulnerabilidade com manobras de redução de demanda em nós não-importantes, com o trecho L-50 interrompido e a ERAT a 85% da capacidade nominal

Na Figura 74 compara-se o comportamento da vulnerabilidade e da vazão destes três nós. Neste caso é possível detectar que a vazão disponível nos nós importantes tem uma variação baixa, mas a vulnerabilidade é afetada de maneira importante. Em todos os nós é observado que, quando a demanda é menor que 60% da requerida em nós não-importantes, a vulnerabilidade-nó é menor que 10%.

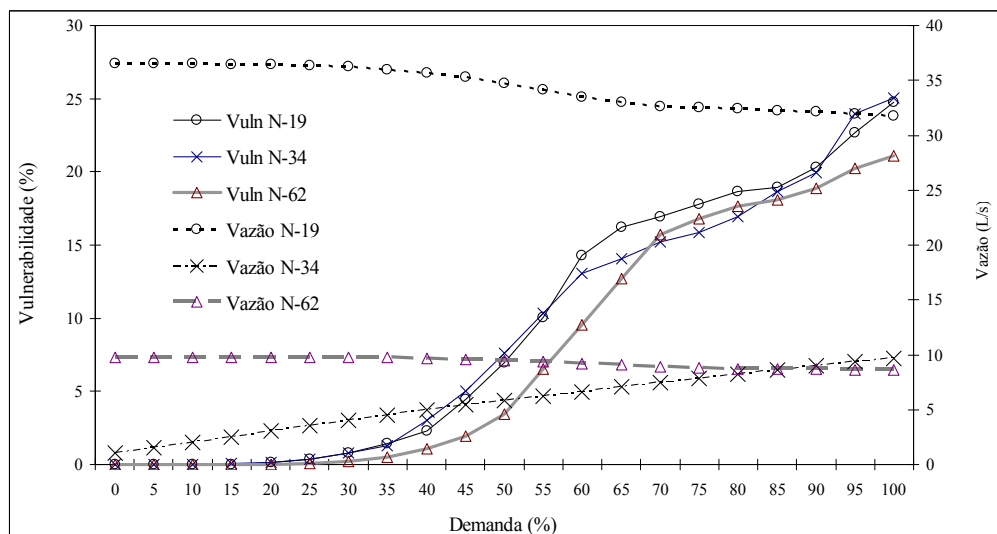


Figura 74 - Vulnerabilidade e vazão para os nós N-19, N-62 e N-34 com redução da demanda

Na Tabela 23, são apresentados os resultados da vulnerabilidade e, na Tabela 24 os resultados da vazão disponível para simulações de interrupção da linha L-50 por um período de 48 horas e bombeamento a 85% da capacidade nominal. Quando a vazão de nós não-importantes é reduzida a 10% da demanda base a vulnerabilidade no sistema é baixa (0,24%), mas a vazão disponível em nós não-importantes é muito pequena.

Tabela 23 - Vulnerabilidade intermediária e vulnerabilidade-nó para redução da vazão disponível em nós não-importantes, estado de falha de 48 horas de interrupção do trecho L-50 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas

Demanda nó não importante %	Vulint %	Vulnerabilidade-nó															
		N 7	N-10	N-11	N-13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
0	0,18	0,64	0,91	0,75	0,06	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
5	0,21	0,72	1,05	1,44	0,08	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
10	0,24	0,82	1,20	1,87	0,11	0,00	0,25	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
15	0,28	0,92	1,36	2,19	0,15	0,00	0,20	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,03
20	0,34	1,04	1,52	2,47	0,21	0,00	0,16	0,17	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,06	0,03
25	0,45	1,16	1,68	2,72	0,30	0,00	0,14	0,41	0,35	0,05	0,05	0,00	0,01	0,37	0,01	0,17	0,03
30	0,62	1,30	1,86	2,96	0,39	0,00	0,12	0,82	0,78	0,16	0,20	0,02	0,07	0,76	0,07	0,42	0,03
35	0,87	1,44	2,04	3,19	0,52	0,00	0,11	1,35	1,46	0,40	0,53	0,09	0,21	1,28	0,21	0,84	0,03
40	1,33	1,58	2,22	3,42	0,66	0,00	0,10	3,11	2,32	0,82	1,07	0,27	0,49	3,02	0,51	1,40	0,03
45	2,03	1,75	2,41	3,65	0,82	0,00	0,10	5,11	4,46	1,42	1,90	0,60	0,98	5,02	1,00	3,20	0,03
50	3,09	1,93	2,61	3,88	0,98	0,00	0,10	7,72	6,97	3,25	3,47	1,15	2,17	7,61	2,20	5,25	0,03
55	4,46	2,14	2,85	4,13	1,17	0,00	0,12	11,54	10,02	5,33	6,51	2,41	3,58	10,35	3,62	7,91	0,03
60	6,16	2,39	3,14	4,41	1,41	0,00	0,18	13,23	14,27	8,05	9,53	5,03	6,27	13,07	6,30	11,80	0,03
65	7,57	2,66	3,47	4,70	1,68	0,00	0,30	14,18	16,21	12,00	12,70	7,69	9,04	14,09	10,13	13,51	0,03
70	8,68	2,97	3,85	5,04	2,01	0,00	0,44	15,25	16,96	13,60	15,70	10,52	12,84	15,19	12,88	14,27	0,03
75	9,35	3,32	4,29	5,41	2,38	0,00	0,66	16,43	17,76	14,31	16,78	13,29	13,98	15,87	13,99	15,33	0,05
80	10,02	3,74	4,83	5,86	2,85	0,00	0,96	17,01	18,67	15,36	17,62	14,18	14,98	16,94	15,00	16,51	0,12
85	10,69	4,19	5,40	6,34	3,36	0,00	1,33	18,74	18,98	16,55	18,06	15,16	15,60	18,68	15,63	17,13	0,26
90	11,57	4,76	6,12	6,93	4,01	0,00	1,83	20,55	20,34	17,19	18,85	15,86	16,76	19,95	16,78	18,87	0,49
95	13,08	5,41	6,96	7,61	4,78	0,00	2,47	24,06	22,69	18,94	20,23	16,98	18,03	23,98	18,05	21,69	0,82
100	14,30	6,11	7,85	8,34	5,60	0,01	3,19	25,13	24,75	21,79	21,11	18,75	19,25	25,05	19,28	24,26	1,32

Tabela 24 - Vazão disponível em nós de consumo com 48 horas de interrupção do trecho L-50 e bombeamento a 85% da capacidade nominal por 320 horas

Demanda nó não importante %	Vazão disponível															
	N 7	N-10	N-11	N-13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
D. Base	21,9	25,3	10,0	23,6	21,9	19,6	24,8	36,2	14,7	9,70	9,12	11,3	11,2	13,0	22,5	27,2
0	1,98	25,34	0,90	23,84	22,06	1,77	2,25	36,51	1,34	9,79	0,83	1,03	1,01	1,19	2,05	27,44
5	2,97	25,30	1,34	23,84	22,06	2,66	3,38	36,51	2,01	9,79	1,24	1,54	1,52	1,78	3,07	27,44
10	3,96	25,26	1,78	23,83	22,06	3,55	4,51	36,51	2,68	9,79	1,66	2,06	2,03	2,37	4,09	27,44
15	4,94	25,22	2,22	23,82	22,06	4,44	5,63	36,50	3,34	9,79	2,07	2,57	2,53	2,96	5,11	27,44
20	5,92	25,18	2,66	23,81	22,06	5,32	6,75	36,47	4,01	9,79	2,49	3,08	3,04	3,55	6,13	27,44
25	6,90	25,14	3,09	23,79	22,06	6,21	7,85	36,38	4,68	9,78	2,90	3,60	3,53	4,14	7,14	27,44
30	7,87	25,10	3,53	23,76	22,06	7,10	8,94	36,23	5,34	9,77	3,31	4,11	4,02	4,73	8,14	27,44
35	8,84	25,05	3,96	23,73	22,06	7,99	10,00	35,98	5,99	9,74	3,73	4,61	4,50	5,32	9,12	27,44
40	9,81	25,00	4,39	23,70	22,06	8,88	11,03	35,66	6,63	9,68	4,13	5,11	4,97	5,89	10,07	27,44
45	10,77	24,96	4,81	23,66	22,06	9,76	12,02	35,27	7,25	9,60	4,53	5,60	5,41	6,45	11,00	27,44
50	11,73	24,90	5,24	23,62	22,06	10,65	12,97	34,74	7,85	9,50	4,91	6,06	5,84	6,99	11,88	27,44
55	12,68	24,84	5,66	23,58	22,06	11,54	13,87	34,18	8,42	9,36	5,28	6,51	6,25	7,50	12,73	27,44
60	13,62	24,77	6,08	23,52	22,06	12,42	14,74	33,54	8,96	9,21	5,63	6,93	6,64	7,99	13,52	27,44
65	14,55	24,69	6,49	23,46	22,06	13,29	15,62	32,97	9,46	9,05	5,97	7,34	7,04	8,45	14,29	27,44
70	15,47	24,59	6,90	23,38	22,06	14,15	16,56	32,68	9,96	8,89	6,28	7,72	7,45	8,89	15,10	27,44
75	16,38	24,48	7,30	23,29	22,06	15,00	17,45	32,56	10,50	8,78	6,58	8,10	7,85	9,33	15,94	27,44
80	17,27	24,34	7,70	23,18	22,06	15,84	18,35	32,40	11,05	8,74	6,90	8,53	8,26	9,82	16,75	27,42
85	18,14	24,19	8,08	23,05	22,06	16,66	19,20	32,27	11,57	8,70	7,24	8,93	8,64	10,29	17,55	27,38
90	18,98	24,01	8,46	22,90	22,06	17,44	20,00	32,12	12,08	8,67	7,56	9,33	9,01	10,75	18,30	27,32
95	19,80	23,79	8,81	22,72	22,06	18,20	20,79	31,96	12,57	8,62	7,88	9,71	9,36	11,18	19,02	27,22
100	20,58	23,56	9,16	22,52	22,06	18,92	21,47	31,80	13,02	8,58	8,18	10,08	9,67	11,61	19,70	27,09

Com 50% da vazão requerida, no entanto, todos os nós têm vulnerabilidades baixas, sendo para o sistema de aproximadamente 3%. Já uma demanda em 55% da demanda base provoca uma vulnerabilidade maior que 10% em dois nós não-importantes, e com 65% da demanda base a vulnerabilidade no nó N-62 é superior a 10%. Ou seja, a demanda base de nós não-importantes deve ser deduzida entre 50% e 65%.

A hipótese 3 propõe que *existem alternativas de gestão do sistema que permitem satisfazer a demanda mínima em casos de interrupções do serviço de água*. Aplicando a metodologia para calcular a vulnerabilidade do sistemas de água, foi avaliado o comportamento do sistema e redução da vulnerabilidade quando se consideram alternativas de abastecimento, utilizando a capacidade remanescente do sistema. De uma forma quantitativa foi estabelecido quais alternativas são mais adequadas para reduzir a vulnerabilidade em nós específicos

Na abordagem das emergências provocadas por perigos ambientais em sistemas de abastecimento de água, pelo geral, avalia-se de maneira separada a vulnerabilidade e as possibilidades de fornecimento de água. Diversos autores (REED; PREUSS; PARK, 2006; USEPA, 2004; JACOBSON, 2004a; 2004b; 2003; ALA, 2002a; 2002b; 2001a; 2001b; TORO, 2002; TORRES-VERA; CANAS, 2003; OMS/OPS, 1998; 1997) concentram a atenção na avaliação de vulnerabilidade, sem considerar que a incapacidade de satisfazer a demanda do serviço em uma emergência, tem uma influencia direta na vulnerabilidade. Outros autores (ECHO, 2005; ESFERA, 2004; INAA, 2004; SANTOS, 1999; SENS; RICHTER, FERRARI, 1996; SENS, 1991) objetivam o tratamento e distribuição de água após um impacto qualquer, mas sem estabelecer previamente a vulnerabilidade do sistema frente aos perigos a que está exposto. A solução ótima para garantir o serviço, pelo menos emergencial, deve considerar a avaliação de vulnerabilidade e o estudo das alternativas de abastecimento.

Na hipótese 4 foi afirmado que *a aplicação da metodologia de análises de vulnerabilidade permite um avanço na gestão de sistemas de abastecimento de água em casos de emergências*. Na pesquisa foi comprovado que é possível programar ações para atender às emergências que podem ser provocadas por perigos ambientais. Isto é aplicável em sistemas de abastecimento de água de grandes cidades. Desta forma, tem-se um avanço científico na gestão de sistemas de abastecimento de água em localidades com perigos ambientais históricos ou evidentes. Neste ponto é importante esclarecer que o programa proposto pode ser aplicado em qualquer sistema de abastecimento de água simulado em EPANET 2.0, gerando apenas o arquivo INP do sistema, e relacioná-lo com os trechos expostos que possam ser interrompidos.

5 CONCLUSÕES

O abastecimento de água é considerado um serviço vital em uma cidade, e tende a ser o mais prioritário em situações de emergência. Devido ao grande consumo de água em zonas urbanas, não é recomendável que o seu abastecimento dependa de ajuda externa, sendo responsabilidade das autoridades locais e nacionais que a população receba a quantidade de água suficiente e com qualidade adequada. Atualmente, com o aumento do número de pessoas afetadas por desastres naturais e tecnológicos em centros urbanos, a comunidade deve contar com alternativas emergenciais de abastecimento de água.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que o objetivo geral foi atingido, sendo possível avaliar a vulnerabilidade hidráulica em sistemas de abastecimento de água, considerando os danos que podem ser provocados por inundações em uma zona específica. As discussões dos objetivos específicos estão apresentadas na seqüência.

O primeiro objetivo específico *determinou prováveis danos provocados por inundações em componentes do sistema de abastecimento de água*. A avaliação do histórico de danos provocados por inundações e a avaliação das simulações de inundações no local de estudo permitiram determinar os componentes que podem ser afetados por estes desastres naturais. A metodologia de sobreposição de cotas de inundação com relação ao sistema de água avaliado mostrou que componentes importantes (como a adutora, a estação de bombeamento e a estação de tratamento de água) podem ser afetados por inundações de até 25 anos de período de retorno.

Em um período de retorno de 25 anos identificou-se 16 linhas afetadas por inundações, sendo 8 afetadas de forma total (totalmente submersa). Para um período de retorno de 100 anos o total de trechos afetados são 24, sendo 14 totalmetne submersos. No período de retorno de 500 anos, 28 linhas são afetadas e destas 17 ficaram submersas. Os trechos L-1, L-8, L-13, L-22 e L-62 estavam situados em pontes com possibilidade de serem afetados de forma transversal pela correnteza.

O segundo objetivo específico *determinou a importância dos trechos da rede, segundo a vulnerabilidade provocada no sistema*. Neste caso foram determinados os trechos mais importantes, segundo a vulnerabilidade hidráulica que a ausência destes componentes provocou no sistema. Os trechos com 100% de importância para o sistema analisado foram a adutora de água tratada (L-1 e L-2) e as linhas de distribuição do reservatório (L-54 e L-76). Pela configuração do sistema, este resultado era esperado, porque para estes trechos não existe redundância e estão em série com todo o sistema.

Dentro do circuito com redundância, os trechos que apresentam maior importância foram: L-50 com 58% de importância; L-12 e L-48 com aproximadamente 29% de importância; L-7, L-6 e L-52 que se encontram em série com a L-78 e apresentavam importância similar de 8%.

Os nós considerados importantes por abastecer centros de interesse social ou por abastecer uma grande população foram: N-8, N-13, N-45 e o N-62. Estes nós foram afetados pela interrupção dos trechos: L-1, L-50, L-8, L-13, L-53, L-22 e L-24.

Com o terceiro objetivo específico *avaliou-se a vulnerabilidade hidráulica considerando danos nos trechos expostos e nos trechos importantes*. As linhas importantes por seu impacto em nós importantes e expostas a inundações ou que atravessaram córregos foram: as linhas L-8 e L-13 e as linhas L-22 e L-24. A importância das linhas L-8 e L-13 quando falharam simultaneamente foi de 13% e afetaram principalmente o nó N-8, considerado importante. Simulações com os correspondentes tempos de reabilitação dos trechos indicaram uma baixa vulnerabilidade do sistema, menor que 5%, e para o nó N-8, foi de até 20%, podendo provocar falta de água por 72 horas, ou seja, uma emergência média no nível de nó.

A importância das linhas L-22 e L-24, quando falharam simultaneamente foi de 9% e provocou falta de água no nó N-62. Este nó foi considerado importante por abastecer centros de interesse social. Neste caso, a vulnerabilidade intermediária no sistema também foi baixa. Entretanto, a vulnerabilidade-nó foi de até 21%, e o tempo de reabilitação foi de até 72 horas, ou seja, uma emergência média para o nó.

O sistema também foi avaliado com a alteração do desempenho conjunto da ETA e da estação de bombeamento (estação de recalque de água tratada, ERAT) e falha em linhas importantes ou expostas. Simulações com capacidade de bombeamento (ou vazão produzida) reduzida mostraram que o sistema é instável para recalque menor que 85% da capacidade nominal.

Uma interrupção conjunta dos trechos L-8 e L-13 e a capacidade de bombeamento reduzida em 80% tornaram a vulnerabilidade do sistema elevada, podendo chegar até 35% e de até 40% para o nó N-8. Neste caso a vulnerabilidade depende principalmente da condição de bombeamento.

Na avaliação da vulnerabilidade para o nó N-62 com interrupção simultânea dos trechos L-22 e L-24 e com capacidade de recalque reduzida a 80% da nominal, observou-se que a vulnerabilidade no sistema dependeu do tempo de reabilitação de capacidade de recalque. No entanto, a vulnerabilidade no nó dependeu principalmente da reabilitação dos trechos. Neste cenário, a emergência pode ser média, com vulnerabilidade de até 30% no sistema e 20% para o nó.

No quarto e último objetivo específico *avaliou-se a influência de manobras ou administração da demanda para reduzir a vulnerabilidade em nós importantes*. Para fins de análise, foram estudados os casos do abastecimento dos cenários onde L-8 ou L-50 estão interrompidos e a ERAT trabalhando a 85% da capacidade. O trecho L-50 foi utilizado como referência, apesar de não se ter registro de ser afetado por inundações.

No cenário da linha L-8 interrompida e a capacidade de recalque em 85%, os nós importantes afetados foram: N-8, N-10, N-13 e N-45. As análises mostraram uma baixa

vulnerabilidade, que pode ser manejada mantendo uma demanda dos nós não-importantes com menos de 70% da vazão requerida.

No caso de interrupção no trecho L-50, a melhor medida foi reduzir a disponibilidade de água em nós não-importantes abaixo de 50%. Esta ação permitiu uma redução da vulnerabilidade em nós importantes, mas não conseguiu satisfazer a demanda em todos estes nós.

Finalmente, a aplicação da metodologia de determinação da vulnerabilidade, considerando os trechos e componentes que podem ser afetados pelo impacto de um fenômeno natural como as inundações, permitiu prever o comportamento do sistema em uma situação de emergência, e em na emergência, possibilitou procurar alternativas para satisfazer a demanda em pontos específicos.

Este instrumento é fundamental principalmente para programar ações de contingência ante perigos, conhecendo os componentes que podem ser afetados ou que são mais vulneráveis a falhas. Desta forma, é possível integrar ao sistema componentes que reduzem a vulnerabilidade na rede e que não estejam expostos aos mesmos perigos que os componentes que eles complementam. A avaliação de vulnerabilidade marca o ponto de partida para analisar as medidas mitigadoras, que permitam manter o abastecimento de água em uma situação de emergência.

6 RECOMENDAÇÕES

A avaliação de cenários de emergências em sistema de água, a partir da vulnerabilidade hidráulica, é uma ferramenta que pode ser aplicada na gestão de desastres. Nestes trabalho foi observado que é possível determinar prováveis cenários de emergências e posteriormente calcular a vulnerabilidade hidráulica no sistema, conhecendo os danos em trechos.

As particularidades dos sistemas de abastecimento de água, especialmente considerando os perigos a que estão expostos, levam a que a avaliação de vulnerabilidade destas infraestruturas deva ser realizada para cada caso. De fato, em um único sistema, diferentes perigos podem provocar condições de emergências distintas, bem como um cenário de desastres por inundação não é igual a um por sismo.

Apesar das diferenças entre sistemas e cenários de perigos, a metodologia de avaliação de vulnerabilidade tem uma aplicabilidade universal. Esta pesquisa foi desenvolvida para um local específico e em um sistema de água com características particulares, mas a proposta metodológica pode ser aplicada a qualquer sistema de abastecimento de água. Neste sentido, recomenda-se avaliar outros sistemas e perigos ambientais e explorar outras ferramentas disponíveis em EPANET 2.0.

Entre os recursos a explorar no EPANET 2.0 está a simulação da qualidade da água disponível nos nós de consumo e em trechos. Este instrumento permite determinar diversos parâmetros de qualidade, desta forma considerando os prováveis danos provocados pelos perigos existentes na zona de estudo, é possível calcular a vulnerabilidade baseada na qualidade.

Nesta pesquisa o sistema estudado foi simplificado, utilizando uma quantidade reduzida de componentes, ainda que o modelo hidráulica é adequado, não é completo e não tem a versatilidade real do subsistema. Para considerar todas as características de gestão do sistema, deve-se incluir componentes de controle, especialmente as válvulas, bem como aumentar o nível de detalhe da rede, para incluir trechos com diâmetros menores de 100 mm.

Considerando os perigos ambientais existentes e os esperados no futuro, principalmente pelas mudanças climáticas, é preciso que novos projetos de abastecimento de água realizem análises de riscos, avaliando a vulnerabilidade hidráulica. A partir dos resultados do análise é necessário estabelecer planos para atender as diferentes emergências que geram os perigos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724:**

Informação e documentação: trabalhos acadêmicos - apresentação. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

AGARDY, Franklin J; RAY, Arlis D. **Emergency planning for water utility management** (M 19). 3º Ed. American Water Works Association. Denver, 2001.

ALA - AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. **Development of Guidelines to Define Natural Hazards Performance Objectives for Water Systems**. v. 1, Federal Emergency Management Agency (FEMA) e American Society of Civil Engineers (ASCE). 2002a. Disponível em: www.americanlifelinesalliance.org. Acesso em: jun. 2006.

ALA - AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. **Development of Guidelines to Define Natural Hazards Performance Objectives for Water Systems**. v. 2, Federal Emergency Management Agency (FEMA) e American Society of Civil Engineers (ASCE). 2002b. Disponível em: www.americanlifelinesalliance.org. Acesso em: jun. 2006.

ALA - AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. **Guideline for assessing the performance of oil and natural gas pipeline systems in natural hazard and human threat events**. Federal Emergency Management Agency/Department of Homeland Security/National Institute of Building Sciences. 2005. Disponível em: www.americanlifelinesalliance.org. Acesso em: jun. 2006.

ALA - AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. **Seismic Fragility Formulations for Water Systems (part 1)**. Ed. Federal Emergency Management Agency (FEMA) e American Society of Civil Engineers (ASCE). 2001a. Disponível em: www.americanlifelinesalliance.org. Acesso em: jun. 2006.

ALA - AMERICAN LIFELINES ALLIANCE. **Seismic Fragility Formulations for Water Systems (part 2)**. Ed. Federal Emergency Management Agency (FEMA) e American Society of Civil Engineers (ASCE). 2001b. Disponível em: www.americanlifelinesalliance.org. Acesso em: jun. 2006.

ALCÁNTARA-AYALA, Irasema. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. In: **Geomorphology**, v. 47, 2002, p. 107-124.

ARACIL, Javier. Capítulo III: *Análisis sistémico*. In: NOVO, Maria e LARA, Ramón. **La interpretación de la problemática ambiental: Enfoques básicos I**. 1º Ed., Fundación Universidad-Empresa, Madrid, 1997, p. 101-148.

AWUMAN, Kofi; GOULTER, Ian; BHATT, Suresh K.. Entropy-Based redundancy measures in water distribution networks. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 117 (5), 1991, p. 595-614.

BAO, Yixing; MAYS, Larry. Model for water-distribution system reliability. In: **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 116 (9), 1990, p. 1119-1137.

BOUCHART, F; e GOULTER, I.C.. Implications of Pipe Failure on the Hydraulic Performance of Looped Water Distribution Networks. In: **Proceedings of the First Caribbean Conference on Fluid Dynamics**. St. Augustine, Trinidad, 1989, p. 291–297.

BRASIL. **Portaria nº 518/2004**: Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde, Brasília, 2004.

BURNS, Nicholas L.; COOPER, Christine A.; DOBBINS, David A.; EDWARDS, Jessica C.; LAMPE, Les K.. Capítulo 20: Security analysis and response for water utilities. In: MAYS, Larry W.(Ed.), **Urban Water Supply Handbook**. McGraw-Hill. New York. 2002. Disponível em: www.digitalengineeringlibrary.com. Acesso em: maio 2006.

CÁNEPA, Lúcia de Vargas. **Manual del curso sobre abastecimiento de agua potable en situaciones de desastre**. CEPIS. Lima. 1982.

CASTRO, Antônio L.C. de; CALHEIROS, Lelio; CUNHA, Maria Inêz; e BRINGEL, Maria Luiza. **Manual de Desastres: Desastres Naturais**, v. 1. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2003. Disponível em: www.defesacivil.gov.br. Acesso em: ago. 2005.

CEPAL - COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. **República Dominicana, evaluación de los daños ocasionados por las inundaciones en las cuencas Yaqué del Norte y Yuna de 2003**. CEPAL, 2004.

CEPAL/BM – COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE/BANCO MUNDIAL. Tomo II: Capítulo II Agua potable y saneamiento. In: **Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres**. Comisión Económica para América Latina y el Caribe/Banco Mundial. 2003.

CHEUNG, P. B. ; VAN ZYL, J. E. ; REIS, L. F. R.. Extension Epanet for Pressure Driven Demand Modeling in Water Distribution System. In: **Walters, G.; Savic, D.. (Org.). Computing and Control for the Water Industry**. Exeter, UK: Center for Water Systems, University of Exeter, 2005, v. 1, p. 311-316.

CMEOE/DEP - COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS EXECUTIVE OFFICE OF ENVIRONMENTAL AFFAIRS/DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Handbook for Water Supply Emergencies**. 2ª Impresão (1ª Impresão 1990), Boston. 2001. Disponível em: <http://www.mass.gov/dep/water/laws/emerhdbk.pdf>. Acesso em: mar. 2006

CODIA - COLEGIO DE INGENIEROS ARQUITECTOS y AGRIMENSORES. **Evaluación post-sismo en la República Dominicana, el 22 de septiembre del 2003**: lecciones aprendidas. Santiago, 2003.

CORAASAN - CORPORACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO. **Esquema geral acueducto Cibao Central (croquis). Gerencia de Operación y Mantenimiento, Departamento de Redes**. Santiago de los Caballeros, 2002.

CORAASAN - CORPORACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO. **Informe de Simulación de Sectores de distribución de agua**. Oficina de Proyectos Especiales, 2007.

CORAASAN - CORPORACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO. **Programa de atención de emergencias y desastres en las empresas de abastecimiento de agua potable y saneamiento de la República Dominicana INAPA, CAASD y CORAASAN**: Plan de acción. Santiago de los Caballeros, 1990.

CORDERO, Valentín. (consultor). **Breve diagnóstico de las áreas geográficas mas expuestas a fenómenos naturales y sus características**: Informe Final. Republica Dominicana, Secretariado Técnico de la Presidencia. Santo Domingo, 2000.

CULLINANE, M. John; LANSEY, Kevin; MAYS, Larry. Optimization-Availability-Based design of water-distribution Networks. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 118 (3), 1992, p. 420-441.

DIAMOND, Jared. **Colapso**. Tradução de Alexandre Raposo. 2º Ed., Rio de Janeiro, Record, 2005.

DOMINICANA. **Ley nº 147/2002**: Política Nacional de Gestión de Riesgos, Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Respuesta ante Desastres de la República Dominicana. Santo Domingo, 2002.

DOMINICANA. **Ley nº 64/2000**: Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARENA. Santo Domingo. 2000.

DUAN, Ning; MAYS, Larry. Reliability Analysis of Pumping Systems. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 116 (2), 1990, p. 230-248.

ECHO - EUROPEAN COMMISSION FOR HUMANITARIAN AID. **Model Guidelines: For Mainstreaming Water and Sanitation in emergencies, Protracted Crises, LRRD and Disaster Preparedness Operations**. A review of water and sanitation issues relating to the funding of humanitarian operations under the EC humanitarian regulation. Aguaconsult. 2005. Disponível: www.europa.eu.int/comm/echo/index_en.htm. Acesso em: jan. 2006.

ESFERA-Proyecto. **Carta Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre**. 2º Ed., tradução espanhol: Prof. Francisco Ariza. Oxfam Internacional. Aosta, 2004. Disponível em: www.sphereproject.org. Acesso em: jan. 2006.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PELA AGRICULTURA E A ALIMENTAÇÃO. **Perfiles Hídricos por País**. Disponível em: <http://www.fao.org/regional/Lamerica/paises/h2o/repdom.htm>. Acesso em maio de 2008.

FARIA, Alessandra; SRDJEVIC, Bojan; MEDEIROS, Yvonilde D. P.; SCHAER-BARBOSA, Martha. Modelo de redes de fluxo e análise multi-criterial – uma aplicação à gestão de recursos hídricos na bacia do rio paraguaçu. In: **VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste** - 03 a 06 de dezembro de 2002 - Maceió – Alagoas – Brasil. 2002. Disponível em: http://polj.ns.ac.yu/english/people/download/86_MACEIO2002.pdf. Acesso em: abr. 2008.

FNUAP- FONDO DE POBLACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. **El Estado de la Población Mundial 2001**: Huellas e hitos, población y cambio del medio ambiente. FNUAP, 2001. Disponível em: <http://www.unfpa.org/swp/2001/espanol>. Acesso em maio de 2006.

FOWLER, H. J.; KILSBY, C. G.; O'CONNELL, P. E.. Modeling the impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience, and vulnerability of a water resource system. **Water Resources Research**, v. 39 (8), 2003, p. 10-1/10-11.

FRANCO, Orlando B.; PEÑA, Luis. **Recopilación - Evaluación de los Datos Geotécnicos-Geológicos y Reconocimiento Geológicos Superficial de la Zona Urbana y Peri-urbana Norte de Santiago de los Caballeros, para la Preparación de Mapas de Amenazas Geológicas Sísmicas**. Ayuntamiento Municipal de la Ciudad de Santiago de los Caballeros. 2003. p 52. Disponível em www.ig.utexas.edu/outreach/dr/earthquake. Acesso em: jan. 2005.

GARES, Paul; SHERMAN, Douglas; NORDSTROM, Karl. Geomorphology and natural hazards. In: **Geomorphology**, v. 10, 1994, p. 1-18.

GOULTER, Ian; BOUCHART, François. Reliability-constrained pipe network model. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. v. 116 (2), 1999, p. 211-229.

GOULTER, Ian; WALSKI, Thomas M.; MAYS, Larry W.; ALTAN, A.Burcu S.; BOUCHART, Francious; TUNG, Y.K. Reliability Analysis For Design. In: Larry W.Mays, (ed.), **Water distribution systems handbook**. McGraw-Hill. Nova Iorque. 2000. Cap. 18, p. 18.1:18.52. Disponível em: www.digitalengineeringlibrary.com. Acesso em: jun. 2006.

GUPTA, Rajesh; BHAVE, Pramod. Reliability-based of water-distribution systems. In: **Journal of Environmental Engineering**, v. 122 (1), 1996. p. 51-54.

HASHIMOTO, Tsuyoshi. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. In: **Water Resources Research**, v. 18 (1), 1982, p. 14-20.

HOSHIYA, Masaru; YAMAMOTO, Kinya; OHNO, Haruo. **Redundancy index of lifelines for mitigation measures against seismic risk**. Probabilistic Engineering Mechanics v. 19, 2004, p. 205–210.

HOUSE, S.J. e REED, R.A. **Emergency Water Sources: guidelines for selection and treatment**. 3ª Ed., WEDC, Loughborough. 2004.

HOWARD, Guy e BARTRAM, Jamie. **Domestic Water Quantity Service Level and Health**. World Health Organization. 2003.

IDPH - ILLINOIS DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH. **Environmental Health, Fact Sheet: Emergency hauling, storing and disinfecting of water supplies**. 2000. Disponível em: <http://www.idph.state.il.us/envhealth>. Acesso em: mar. 2006.

INAA - INSTITUTO NICARAGUENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS. **Guía Técnica para la reducción de la vulnerabilidad en los sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario**. INAA, 2004. Disponível em: <http://www.inaa.gob.ni/>. Acesso em: mar. 2008.

INAPA - INSTITUTO NACIONAL DE ÁGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO/Sub-Dirección de Operaciones. **Relación de Sistemas Puestos en Operación Después del Huracán Georges**. Santo Domingo, 1998b. (Base de dados não publicada)

INAPA - INSTITUTO NACIONAL DE ÁGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. **Acueductos Afectados por el paso sobre la República Dominicana del Huracán Georges: Situación y Acciones.** Santo Domingo, out. 1998a.

INAPA - INSTITUTO NACIONAL DE ÁGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. Experiencias de la República Dominicana en el Manejo de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable en las condiciones creadas por el paso del Huracán David y la Tormenta Federico por una parte de su Territorio. In: **XVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.** La Paz. 1980.

INAPA - INSTITUTO NACIONAL DE ÁGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO/Sub-Dirección de Operaciones. **Relación de Daños y Costos de Reparación en Sistemas Afectados por el Huracán Jeanne.** Santo Domingo, 2004. (Base de datos não publicada)

INDRHI –INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICO. **Atlas de Inundaciones Rio Yaque del Norte.** Departamento de Geomática/INDRHI. Santo Domingo, 2005.

INDRHI –INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICO. **Características de Presas em la República Dominicana.** Disponível em: http://www.indrhi.gov.do/segupresa/fichas_tec.htm. Acesso em: ago. 2006.

ITALCONSULT. **Ampliación y Rehabilitación del Acueducto de la Ciudad de Santiago de los Caballeros.** ITALCONSULT, Roma. 1972.

JACOBSON, Anita. A Methodology to Assess Seismic Performance of Water Supply Systems. In: **Student Research Accomplishments 2003-2004.** Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research University at Buffalo, State University of New York. Editado por Amanda Bonneau, 2004a. p. 7-13. Disponível em: <http://mceer.buffalo.edu>. Acesso em: set. 2006.

JACOBSON, Anita. **Fragility analysis of water supply systems.** Master of Science Thesis. Cornell University. 2004b. Disponível em: <http://mceer.buffalo.edu>. Acesso em: set. 2006.

JACOBSON, Anita. Fragility Analysis of Water Supply System. In: **Student Research Accomplishments 2002-2003.** Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research University at Buffalo, State University of New York, Editado por Ramiro Vargas e Benedikt Halldorsson, 2003. pp 107-112,. Disponível em: <http://mceer.buffalo.edu>. Acesso em: jul. 2006.

JICA/CORAASAN – AGENCIA DE COPERAÇÃO DO JAPÃO/COORPORACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCALTARILLADO DE SANTIAGO. **Estudio sobre el Mejoramiento de los Sistemas de Alcantarillado y Medio Ambiente en la Ciudad de Santiago.** JICA/CORAASAN. Santiago de los Caballeros. 2001

JOHNSON, Steven. **Emergencia: a vida integrada de formigas, cerebros, cidades e softwares.** Rio de Janeiro. Editor Jorge Zahar, 2003.

KALUNGI, Paul; e. TANYIMBOH, Tiku T. Redundancy model for water distribution systems. In: **Reliability Engineering and System Safety.** v. 82, 2003, p. 275–286.

KOLLURU, Rao. Evaluación y Administración de Riesgos: Un enfoque unificado. In: KOLLURU, Rao; BARTELL, Steven; PITBLADO, Robin; e SCOUT, R.. **Manual de Evaluación y Administración de Riesgos**: para profesionales en cuestiones ambientales, de la salud y la seguridad. Tradução ORTIZ, M.S. McGraw-Hill, 1ª Ed. México. 1998, Cap.1.

LANSEY, Kevin; MAYS, Larry W.; TUNG, Y. K.. Reliability and Availability analysis Of water distribution systems. In: MAYS, Larry W.(Ed.). In: **Urban Water Supply HandBook**. McGraw-Hill. New York. 2002, Capítulo 10. Disponível em: www.digitalengineeringlibrary.com. Acesso em: maio 2006.

LAVELL, Allan. **An Approach to Concept and Definition in Risk management Terminology and Practice**. (Final Draft). ERD-UNDP. Geneva. 2000b. Disponível em: www.desenredando.org. Acesso em: jan. 2006.

LAVELL, Allan. Desastres durante una Década: Lecciones y avances conceptuales y prácticos en América Latina (1990-1999). In: **Anuario Política y Social de América Latina**. Num. 3, FLACSO/LA RED. 2000a. Disponível em: www.desenredando.org. Acesso em: jan. 2006.

MANN, Paul.; CALAIS, E. ; HUERFANO, V. Earthquake Shakes “Big Bend” Region of North America-Caribbean Boundary Zone. In: **EOS Transactions, American Geophysical Union**. v. 85 (8), 2004, p. 77–88.

MANSILLA, Elizabeth. **Riesgo y Ciudad**. Universidad Nacional Autonoma de México/División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Arquitectura. México, 2000. Disponível em: www.desenredando.org. Acesso em: jan. 2006.

MAYS, Larry W. Vulnerability assessment, emergency response planning: summary of what’s available. In: MAYS, Larry W. (Ed.). **Water Supply Systems Security**. McGraw-Hill, New York, NY. 2004, Cap. 3: Disponível em: www.digitalengineeringlibrary.com. Acesso em: jun. 2006.

MIN/SDC - MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL/SECRETARIA DE DEFESA CIVIL-. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília, 2000.

MISIRDALI, Metin. **A methodology for calculating hydraulic system reliability of water distribution networks**. Teses School Of Natural And Applied Sciences da The Middle East Technical University. 2003, p 106.

MUELLER, C. S.; FRANKEL, A. D.; PETERSEN, M. D.; LEYENDECKER, E. V. Seismic Hazard Maps for Puerto Rico and the US Virgin Islands. In: **Documentation for Puerto Rico and the U. S. Virgin Islands, 2003**. USGS, Golden, CO. 2003. Disponível em: http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/products_data/Puerto-Rico-VI/prvi2003doc.php. Acesso em: set. 2006.

NOJI, Eric. Naturaleza de los desastres: sus características generales y sus efectos en la salud pública. In: NOJI, Eric. (editor). **Impacto de los Desastres en la Salud Pública. Organización Panamericana de la Salud**. Bogotá, 2000. Tradução de: The public health consequences of disasters. Oxford University Press, 1997

OEA/OFDA- ORGANIZATION OF AMERICAN STATES/OFFICE OF FOREIGN DISASTER ASSISTANCE. **A Probable Maximum Loss Study of Critical Infrastructure in Three Caribbean Island States.** OEA/OFDA. Caribbean Disaster Mitigation Project. 1999. Disponível em: <http://www.oas.org/CDMP>. Acesso em: maio 2005.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Drinking-water Quality:** Guidelines for Drinking-Water Quality. v. 1, 3ª Ed. Genova, 2004.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **WHO Technical Notes for Emergencies.** WHO, 2005. Disponíveis em: http://wedc.lboro.ac.uk/WHO_Technical_Notes_for_Emergencies. Acesso em: maio 2006.

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **El agua en situaciones de emergencia.** Washington, D.C., OMS/OPS. 1999.

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Emergencias y Desastres en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento:** Guia para una Respuesta Eficaz. AIDIS/OPS. Washington, D.C. 2001.

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Administración de Emergencias en Salud Ambiental y Provisión de Agua.** OPS, Washington, D.C. 1988. (Cuaderno Técnico nº 17)

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Impacto del fenómeno El Niño en la infraestructura de agua y alcantarillado:** la experiencia del Ecuador em 1997-1998. OPS, 2003a, 83p. (Serie Salud Ambiental y Desastres N° 3)

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Mitigación de desastres naturales en sistemas de Agua Potable y Alcantarillado.** Washington, D.C., OMS/OPS., 1998.

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Estudio de caso:** Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos. Editores Grase, J; Contreras, I.; e Grases, G./OPS/CEPIS. Washington, D.C., 1997.

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE. **Reducción del daño sísmico:** guia para las empresas de água. Organização Pan-Americana da Saúde/American Water Works Association. Washington D.C. 2003b. 105 p. (Serie Salud Ambiental y Desastres nº 2, tradução e adaptação do livro: BALLANTYNE, Donald B. “Minimizing earthquake damage: a guide for public utilities”, AWWA. Denver. 1994).

OMS/OPS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE/ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. **Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado.** Washington, D.C. OPS, 1993. - (Cuaderno Técnico nº 37)

ONAMET – OFICINA NACIONAL DE METEOROLOGIA. Base **Dados Meteorológicos da República Dominicana de 1966-2000.** Adquirido em na fonte: mar. 2006.

ONAMET – OFICINA NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Informe Meteorológico diário 2007**. Disponível em: <http://www.onamet.gov.do/>. Acesso em: dez. 2007.

ONE – OFICINA NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Censo Nacional de Población y Vivienda 2002, República Dominicana**. 2005. Disponível em: www.one.gov.do. Acesso em: dez. 2007.

OPS – ORGANIZAÇÃO PANA-AMERICANA DA SAÚDE. **Estudio de la normativa técnica del diseño, construcción, operación y mantenimiento de agua y saneamiento em matéria de desastres**. OPS, Guatemala, 2002.

OPS/UNICEF – ORGANIZAÇÃO PANA-AMERICANA DA SAÚDE/FONDO DA NAÇÕES UNIDAS PARA INFANCIA. **El desafío del sector de agua y saneamiento en la reducción de desastres: Mejorar la calidad de vida reduciendo vulnerabilidades**. OPS/UNICEF, 2006.

ORDAZ, Mario G.; YAMÍN, Luis E.. **Eventos Máximos Considerados (EMC) y estimación de pérdidas probables para el cálculo del Índice de Déficit por desastre (IDD) en doce países de las américas**. Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos. IADB/CEPAL/IDEA. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Manizales, Colômbia. 2004.

ORDAZ, Mario; SANTA-CRUZ, Sandra. **Computation of physical damage to property due to natural hazard events**. Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos. IADB/CEPAL/IDEA. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Manizales, Colômbia. 2003.

OSTFELD, Avi. Reliability analysis of regional water distribution systems. In: **Urban Water**, v. 3 (2001), p. 253–260.

OSTFELD, Avi; KOGAN, Dimitri; SHAMIR, Uri. Reliability simulation of water distribution systems – single and multiquality. In: **Urban Water**, v. 4 (2002), p. 53–61.

PHILIPPI, Manoel. Abastecimento de água potável em casos de inundações: experiência vivida no sul do Brasil, Santa Catarina. In **Simpósio Internacional Sobre Desastres Naturais, Epidemiologia e Saúde Ambiental**. Havana. 1985.

REED, Dorothy ; PREUSS, Jane; PARK, Jaewook. The influence of context on lifeline behavior: Local policies under wind storm and earthquake scenarios. In: **Natural Hazards**, v. 39, 2006, p. 289–307.

RIFKIN, Jeremy. **La economía del hidrogeno: La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la tierra**. Barcelona: Editorial Paidós, 2002.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2.0 Users manual**. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio, 2000.

SANTOS, Márcia P.. **O Saneamento frente às Situações de Emergência Motivadas pelas Enchentes - Caso do Município do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado Engenharia Sanitária e Saúde Pública) Escola Nacional de Saúde Pública-Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 1999.

SELÇUK, A. Sevtap; YÜCEMEN, M. Semih. Reliability of Lifeline Networks with Multiple Sources under Seismic Hazard. In: **Natural Hazards**, v. 21, 2000, p. 1-18.

SELÇUK, A. Sevtap; YÜCEMEN, M. Semih. Reliability of lifeline networks under seismic hazard. In: **Reliability Engineering and System Safety**, v. 65, 1999, p. 213–227.

SENS, M. L. ; RICHTER, C. A. ; FERRARI, H. V. . Tratamento de água em situações de emergência - Construção de uma ETA durante a emergência. In: **III Congresso da Água / VII SILUBESA**, 1996, Lisboa - Portugal. Técnicas convencionais de tratamento de água, v. 5, 1996, p. 385-393.

SENS, M. L. **Filiere de potabilisation d'eau cas d'une station compacte et mobile**. Tese (Doutorado) U.F.R. Ecole Nationale Superieure De Chimie - Universite de Rennes - França, 1991.

SOARES, Clarissa. **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. Dissertação (Mestrado Eng. Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2004.

SOGREAH/SERCITE. **Estudo de Control de Inundaciones en la cuenca del rio Yaque del Norte. Tomo 6: Modelación Matemática y Estudio Hidráulico**. Projeto do Instituto de Recursos Hidráulicos –INDRHI-, realiado por SOGREAH/SERCITEC. Santo Domingo, 2002.

SRDJEVIC, Bojan; MEDEIROS, Yvonilde D. P; LA LAINA, Rubem p. Data envelopment analysis of reservoir system performance. In: **Computers & Operations Research**, v. 32, 2005, p. 3209–3226.

STP/BID- SECRETARIADO TÉCNICO DE LA PRESIDENCIA/BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. **Los Desastres Ocurridos en la República Dominicana 1966-2000**. Unidad Ejecutora Sectorial del Subprograma de Prevención de Desastres, coordinada por Omar Darío Cardona. Santo Domingo, 2001b.

STP/BID-SECRETARIADO TÉCNICO DE LA PRESIDENCIA/BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. **Diseño del sistema nacional de prevención, mitigación y respuesta-PMR (Gestión de Riesgos)**. Unidad Ejecutora Sectorial del Subprograma de Prevención de Desastres, coordinada por Omar Darío Cardona. Santo Domingo, 2001a.

STP/CEPAL - SECRETARIADO TÉCNICO DE LA PRESIDENCIA/COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. **República Dominicana: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Georges**, 1998. Santo Domingo, Alfa e Omega 1999.

STRICOFF, Scott R.. Análisis de riesgos de seguridad y la administración del proceso de seguridad: principios y prácticas In: KOLLURU, Rao; BARTELL, Steven; PITBLADO, Robin; e SCOUT, R.. **Manual de Evaluación y Administración de Riesgos**: para profesionales en cuestiones ambientales, de la salud y la seguridad. Tradução de ORTIZ, M.S. McGraw-Hill, 1ª Ed., México, 1998.

SURENDRAN, S.; TANYIMBOH, T.T.; e TABESH, M.. Peaking demand factor-based reliability analysis of water distribution systems. In: **Advances in Engineering Software**, v. 36, 2005. p. 789-796.

SYSMIN-UASD -República Dominicana-União Europeia-, Programa de Desarrollo Geológico-Minero (SYSMIN). **Proyecto D: Prevención de Riesgos Geológicos (Riesgo Sísmico)**. v. 1: Presentación del Proyecto y Resultados. SYSMIN –RD/UE, 1999.

TANYIMBOH, T.T.; TEMPLEMAN, A.B. Calculating the reliability of single-source networks by the source head method. In: **Advances in engineering Software**, v. 29 (7-9), 1998, p. 499-505.

TORO, Dumar M.. Metodología para el Análisis de Vulnerabilidad de Sistema de Agua Potable y Saneamiento. In: **III Curso Internacional Microzonificación y Su Aplicación En La Mitigación De Desastres**. Empresa Pública de Medellín ESP/ Unidad Estratégica de Negocios Aguas/Coordinación Riesgos UEN Aguas. Lima-Peru. 2002.

TORRES-VERA, Marco A.; CANAS, José Antonio. A lifeline vulnerability study in Barcelona, Spain. In: **Reliability Engineering and System Safety**. v. 80, 2003, p. 205–210.

TUNG, Y.K.; CULLINANE, M.J; MAYS, L.W. Reliability analysis of systems. In: TUNG, Y.K.; CULLINANE, M.J; MAYS, L.W. **Reliability Analysis of Water Distribution Systems**, Congress cataloging-in-publication data. American Society of Civil Engineers. 1989, Cáp. 9, p. 260-298.

UITTO, Juha I. The geography of disaster vulnerability in megacities: a theoretical framework. In: **Applied Geography**. v. 18 (1), 1998, pp 7-16.

UN/ISDR - NAÇÕES UNIDAS/INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives**. ISDR, 2002.

UN/PNUD –NAÇÕES UNIDAS/PROGRAMA DE LAS NAÇÕES UNIDAS PELO DESENVOLVIMENTO. **La Reducción de Riesgos de Desastres: un desafío Para el desarrollo**. Dirección de Prevención de Crisis y de Recuperación. New York , 2004.

UNHCR - UNITED NATIONS HIGH COMMISSIONER FOR REFUGEES. **Handbook for Emergencies**. 2º Ed. USA, 2000. Disponível em: www.unhcr.org. Acesso em: jan. 2004.

USA – United States of America. **Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act of 2002**. Lei PL107-188/2002. United States of America (PUUSA). 2002. Disponível em: www.fda.gov/oc/bioterrorism/PL107-188.html#title4. Acesso em: jun. 2008.

USEPA- UNITED STATES-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Emergency Response Plan Guidance for Small and Medium Community Water Systems: to Comply with the Public Health Security and Bioterrorism Preparedness and Response Act of 2002**. USEPA/Office of Water, 2004. disponível em: www.epa.gov/safewater/security. Acesso em: jun. 2006.

USEPA- UNITED STATES-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Module 1: Water Utilities Planning Guide. In: **Response Protocol Toolbox: Planning for and Responding to Drinking Water Contamination Threats and Incidents**. USEPA, Washington, 2003. Disponível em: www.epa.gov/safewater/security. Acesso em: jun. 2006.

VARGAS, Ervin. **El terremoto del 22 de septiembre del 2003**. Revista CODIA-Regional Norte, Revista Conmemorativa de la gestión 2003-2004. Colegio Dominicano de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores-Regional Norte. Santo Domingo, 2005.

VILLALÓN, Madelin S. **Guía para la Elaboración de inventários de Elementos en Riesgo en Áreas Vulnerables a Inundaciones y Sismos en Costa Rica**. IFA Report submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in partial fulfilment of the requirements for the degree of Professional Master in Natural hazard Studies. Enschede. 2003.

WAGNER, Janet; SHAMIR, Uri; e MARKS, David. Water Distribution Reliability: Simulation Methods. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 114 (3), 1988, p. 276-294.

WALSKI, Thomas; WEILER, Justin; CULVER, Teresa. Using criticality analysis to identify impact of valve location. In: **8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium**. Cincinnati, 2006, p. 1-9.

WISNER, Ben e ADAMS, John. **Environmental health in emergencies and disasters: a practical guide**. WHO. Geneva, 2002.

WISNER, Ben. Vulnerability in Disaster Theory and Practice: From Soup to Taxonomy, then to Analysis and finally Tool. In: **International Work-Conference Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre**. 2001.

WU, Z. Y. e WALSKI, T. M.. Pressure Dependent Hydraulic Modelling for Water Distribution Systems under Abnormal Conditions. In: **IWA World Water Congress**, Sept.10-14, Beijing, 2006, p. 1-11.

WU, Z.; Wang, R.; WALSKI, T.; YANG, S.; BOWDLER, D.; BAGGETT, C. Efficient pressure dependent demand model for large water distribution system analysis. In: **8th Annual International Symposium on Water distribution system Analysis**. Cincinnati. 2006, p. 1-14.

XU, Chengchao; GOULTER, Ian. Reliability-Based optimal design of water distribution networks. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 125 (6),1999, p. 352-362.

8 APÊNDICES

Apêndice A - Nós do subsistema La Zurza	125
Apêndice B - Linhas ou trechos do subsistema La Zurza	126
Apêndice C - Curvas de modulação da estação de bombeamento do subsistema La Zurza	127
Apêndice D - Curvas de modulação de consumo no setor La Zurza	128
Apêndice E - Entrevistas a técnicos chave na gestão de emergências em CORAASAN	129
Apêndice F - Tempo de manutenção de tubulações segundo o diâmetro no período janeiro 2006-agosto 2007, Departamento de Manutenção de Redes, CORAASAN	140
Apêndice G - Sintaxe genérica para programar o aplicativo Vul_Perigo em Visual Basic 6.0 para determinar a vulnerabilidade hidráulica em EPANET 2.0 versão 12	141
Apêndice H - Importância de trechos, segundo a vulnerabilidade do sistema, para a condição de pressão mínima igual à pressão requerida em casos normais	144
Apêndice I - Experiências e propostas para abastecimento de água em situações de emergências	145

Apêndice A - Nós do subsistema La Zurza

ID de Nó	Cota (m)	Demanda (L.s ⁻¹)				
2	146,15	0				
7	181,92	21,94				
3	168,00	0				
10	181,71	25,34				
11	182,82	10,00				
13	181,09	23,64				
14	183,33	0				
67	189,26	0				
5	192,30	0				
6	192,30	0				
8	175,00	21,86				
41	181,25	0				
78	178,47	19,56				
80	175,00	0				
42	173,33	0				
37	171,32	0				
38	172,50	0				
20	161,85	24,79				
19	159,20	36,18				
21	156,23	14,72				
65	154,51	0				
62	155,00	9,70				
24	153,52	0				
22	156,05	0				
26	151,84	9,12				
29	152,95	0				
30	153,85	0				
23	158,37	0				
31	154,06	11,31				
32	156,47	0				
34	161,49	11,15				
33	154,18	13,03				
35	164,20	0				
36	159,17	22,49				
45	176,33	27,20				
57	163,03	0				
66	194,46	0				
69	191,72	0				
68	190,00	0				
19	159,20	0				
72	151,21	0				
39	170,00	0				
47	172,77	0				
46	173,15	0				
49	173,15	0				
48	172,70	0				
100	489,20	0				
77	175,00	0				
74	175,00	0				
63	160,00	0				
85	166,00	0				
82	172,50	0				
84	175,00	0				
71	155,00	0				
70	154,51	0				
Nibaje-25	146,15					

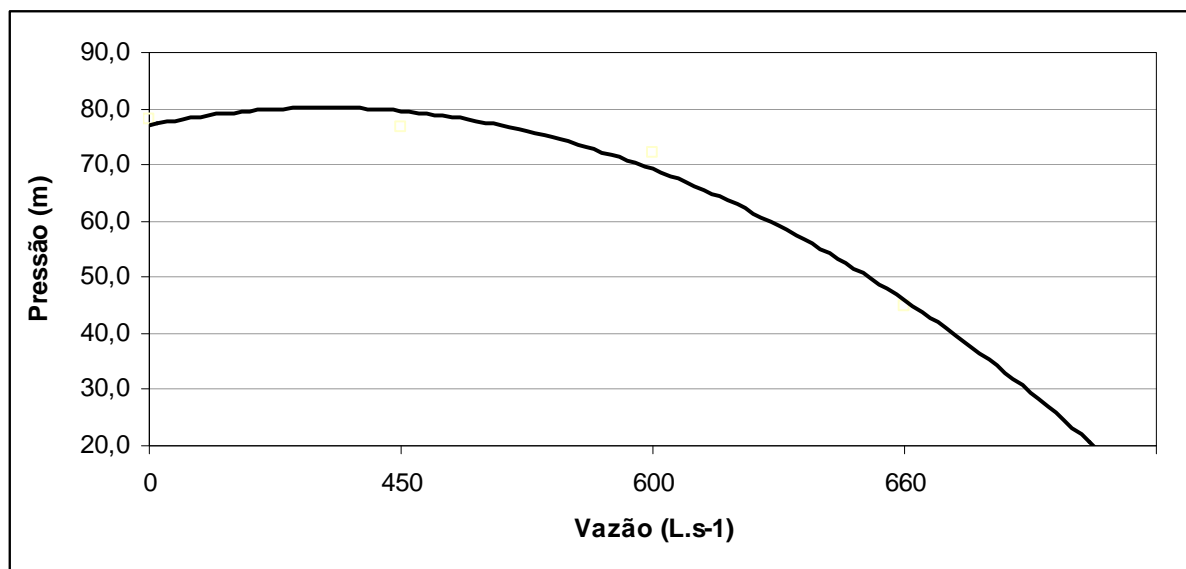
ID nó	Cota (m)	Nível inicial (m)	Nível mín (m)	Nível máx (m)	Diâmetro (mm)	Vol mín (m ³)
1-Res	203.200	8	3.5	10.5	45.35	0

Apêndice B - Linhas ou trechos do subsistema La Zurza

ID Trecho	Nó inicial	Nó final	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade D-W	Estado
1	3	6	1162,98	750	0,012	Aberta
2	1-Res	6	259,18	750	0,012	Aberta
3	7	11	143,61	450	0,012	Aberta
4	7	10	217,30	450	0,012	Aberta
5	11	13	435,76	450	0,012	Aberta
6	14	67	457,34	750	0,012	Aberta
7	67	68	388,21	750	0,012	Aberta
8	10	8	216,98	450	0,012	Aberta
10	41	11	127,11	250	0,012	Aberta
11	41	78	268,24	200	0,012	Aberta
12	13	42	346,37	400	0,012	Aberta
13	80	78	648,54	300	0,012	Aberta
14	78	45	401,77	300	0,012	Aberta
19	20	18	124,43	750	0,012	Aberta
20	18	21	133,50	750	0,012	Aberta
22	21	65	1193,08	200	0,012	Aberta
23	65	62	250,07	200	0,012	Aberta
24	62	24	782,30	400	0,012	Aberta
25	24	21	453,11	400	0,012	Aberta
26	24	26	671,04	300	0,012	Aberta
27	22	21	38,44	400	0,012	Aberta
28	26	29	233,28	300	0,012	Aberta
30	29	30	125,68	200	0,012	Aberta
31	30	23	260,33	200	0,012	Aberta
32	23	22	209,10	400	0,012	Aberta
33	29	31	292,00	300	0,012	Aberta
34	31	32	115,67	200	0,012	Aberta
35	32	34	256,79	200	0,012	Aberta
36	23	34	301,60	400	0,012	Aberta
37	34	35	267,96	400	0,012	Aberta
38	31	33	277,58	300	0,012	Aberta
39	33	36	399,49	300	0,012	Aberta
40	33	35	316,56	200	0,012	Aberta
41	35	37	145,85	200	0,012	Aberta
43	36	38	226,62	300	0,012	Aberta
44	38	37	178,14	750	0,012	Aberta
45	37	57	500,41	750	0,012	Aberta
46	37	78	525,72	200	0,012	Aberta
47	35	36	159,65	400	0,012	Aberta
48	45	42	40,00	300	0,012	Aberta
49	57	20	98,85	750	0,012	Aberta
50	45	57	550,24	400	0,012	Aberta
52	13	14	77,95	400	0,012	Aberta
53	8	80	2,00	450	0,012	Aberta
54	1-Res	66	259,18	750	0,012	Aberta
76	66	69	142,92	400	0,012	Aberta
78	69	68	70,14	400	0,012	Aberta
79	69	7	335,52	400	0,012	Aberta
80	68	5	131,92	750	0,012	Fechada
21	18	19	650,00	450	0,012	Aberta
42	36	72	173,48	400	0,012	Aberta
71	38	39	750,00	200	0,012	Aberta
16	42	46	240,00	200	0,012	Aberta
18	46	47	85,00	200	0,012	Aberta
64	47	48	650,00	200	0,012	Aberta
63	46	49	650,00	200	0,012	Aberta
9	11	100	189,00	200	0,012	Aberta
59	80	77	30,00	200	0,012	Aberta
58	8	74	30,00	200	0,012	Aberta
55	74	63	300,00	450	0,012	Aberta
73	63	85	194,00	450	0,012	Aberta
75	85	82	165,80	300	0,012	Aberta
74	82	84	234,33	300	0,012	Aberta
68	62	71	1,00	400	0,012	Aberta
72	65	70	1,00	200	0,012	Aberta
17-Bomba 29-V	Nibaje-25 2	2 3	-	750	TCV	Aberta

Apêndice C - Curvas de modulação da estação de bombeamento do subsistema La Zurza

Bomba	Vazão (L.s ⁻¹)	Pressão (m)
1	0	78
2	450	75
3	660	45

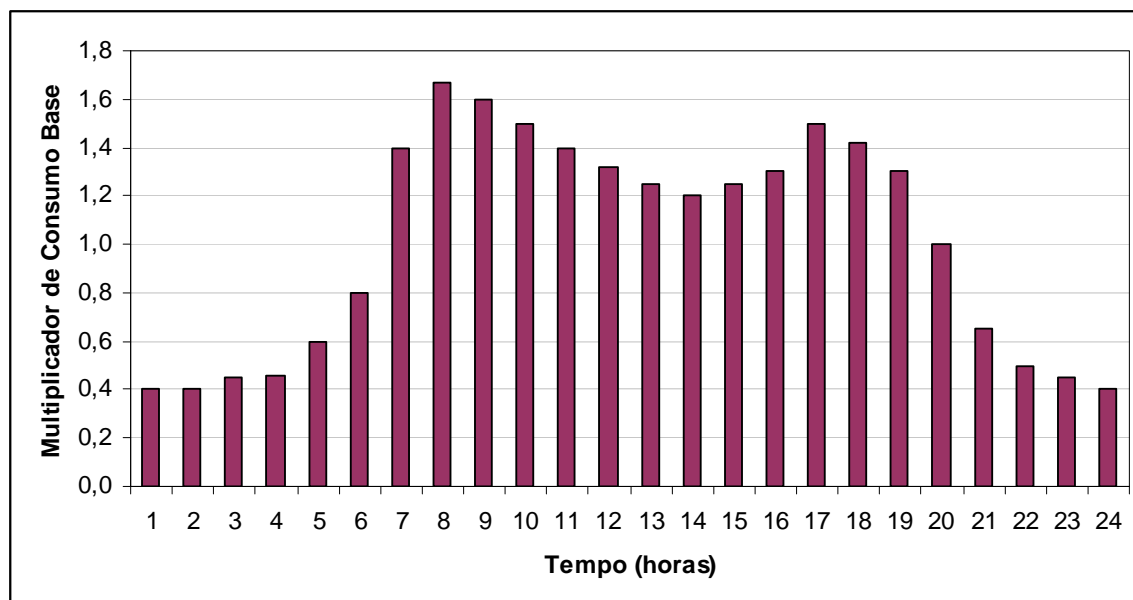


Curva de Vazão-pressão para a estação de bombeamento

Apêndice D - Curvas de modulação de consumo no setor La Zurza

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Multiplicador	0,4	0,4	0,45	0,46	0,6	0,8	1,4	1,67	1,6	1,5	1,4	1,32

Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Multiplicador	1,25	1,2	1,25	1,3	1,5	1,42	1,3	1,0	0,65	0,5	0,45	0,4



Hora	Mult	N 7	N 10	N 11	N 13	N 8	N 78	N 20	N 19	N 21	N 62	N 26	N 31	N 34	N 33	N 36	N 45
1	0,40	8,78	10,1	4,00	9,46	8,74	7,82	9,92	14,5	5,89	3,88	3,65	4,52	4,46	5,21	9,00	10,9
2	0,40	8,78	10,1	4,00	9,46	8,74	7,82	9,92	14,5	5,89	3,88	3,65	4,52	4,46	5,21	9,00	10,9
3	0,45	9,87	11,4	4,50	10,6	9,84	8,80	11,2	16,3	6,62	4,37	4,10	5,09	5,02	5,86	10,1	12,2
4	0,46	10,1	11,7	4,60	10,9	10,1	9,00	11,4	16,6	6,77	4,46	4,20	5,20	5,13	5,99	10,3	12,5
5	0,60	13,2	15,2	6,00	14,2	13,1	11,7	14,9	21,7	8,83	5,82	5,47	6,79	6,69	7,82	13,5	16,3
6	0,80	17,6	20,3	8,00	18,9	17,5	15,6	19,8	28,9	11,8	7,76	7,30	9,05	8,92	10,4	18,0	21,8
7	1,40	30,7	35,5	14,0	33,1	30,6	27,4	34,7	50,7	20,6	13,6	12,8	15,8	15,6	18,2	31,5	38,1
8	1,67	36,6	42,3	16,7	39,5	36,5	32,7	41,4	60,4	24,6	16,2	15,2	18,9	18,6	21,8	37,6	45,4
9	1,60	35,1	40,5	16,0	37,8	35,0	31,3	39,7	57,9	23,6	15,5	14,6	18,1	17,8	20,8	36,0	43,5
10	1,50	32,9	38,0	15,0	35,5	32,8	29,3	37,2	54,3	22,1	14,6	13,7	17,0	16,7	19,5	33,7	40,8
11	1,40	30,7	35,5	14,0	33,1	30,6	27,4	34,7	50,7	20,6	13,6	12,8	15,8	15,6	18,2	31,5	38,1
12	1,32	29,0	33,4	13,2	31,2	28,9	25,8	32,7	47,8	19,4	12,8	12,0	14,9	14,7	17,2	29,7	35,9
13	1,25	27,4	31,7	12,5	29,6	27,3	24,5	31,0	45,2	18,4	12,1	11,4	14,1	13,9	16,3	28,1	34,0
14	1,20	26,3	30,4	12,0	28,4	26,2	23,5	29,7	43,4	17,7	11,6	10,9	13,6	13,4	15,6	27,0	32,6
15	1,25	27,4	31,7	12,5	29,6	27,3	24,5	31,0	45,2	18,4	12,1	11,4	14,1	13,9	16,3	28,1	34,0
16	1,30	28,5	32,9	13,0	30,7	28,4	25,4	32,2	47,0	19,1	12,6	11,9	14,7	14,5	16,9	29,2	35,4
17	1,50	32,9	38,0	15,0	35,5	32,8	29,3	37,2	54,3	22,1	14,6	13,7	17,0	16,7	19,5	33,7	40,8
18	1,42	31,2	36,0	14,2	33,6	31,0	27,8	35,2	51,4	20,9	13,8	13,0	16,1	15,8	18,5	31,9	38,6
19	1,30	28,5	32,9	13,0	30,7	28,4	25,4	32,2	47,0	19,1	12,6	11,9	14,7	14,5	16,9	29,2	35,4
20	1,00	21,9	25,3	10,0	23,6	21,9	19,6	24,8	36,2	14,7	9,70	9,12	11,3	11,2	13,0	22,5	27,2
21	0,65	14,3	16,5	6,50	15,4	14,2	12,7	16,1	23,5	9,57	6,31	5,93	7,35	7,25	8,47	14,6	17,7
22	0,50	11,0	12,7	5,00	11,8	10,9	9,78	12,4	18,1	7,36	4,85	4,56	5,66	5,58	6,52	11,2	13,6
23	0,45	9,87	11,4	4,50	10,6	9,84	8,80	11,2	16,3	6,62	4,37	4,10	5,09	5,02	5,86	10,1	12,2
24	0,40	8,78	10,1	4,00	9,46	8,74	7,82	9,92	14,5	5,89	3,88	3,65	4,52	4,46	5,21	9,00	10,9
D. Base		21,9	25,3	10,0	23,6	21,9	19,6	24,8	36,2	14,7	9,70	9,12	11,3	11,2	13,0	22,5	27,2

Apêndice E - Entrevistas a técnicos chave na gestão de emergências em CORAASAN

1. Fecha de la entrevista	20 / julio / 2007
2. Nombre del entrevistado	E, Rodríguez, MsC Ing. Ambiental
3. Cargo	Encargado de Operaciones de Redes de Agua Potable
4. Año de inicio de labor en CORASAAN - en la empresa (años)	Desde 1992, 15 años
5. ¿Situaciones de emergencias y desastres que han afectado a Santiago de los Caballeros en el periodo en que ha trabajado en la CORAASAN?	<p>a. Avería en tubería de 42 pulg en acueducto principal, la av, Estrella Sadalha, rota por contratistas en la construcción del elevado (1997, no recuerda la fecha exacta)</p> <p>b. Desplazamientos de tubería de 36 pulg y 18 pulg en el puente de la lotería en mayo del 2006</p> <p>c. Huracán georges en 1998, problema de turbiedad</p>
6. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por peligros o fenómenos naturales en el sistema de abastecimiento de agua?	<p>En los problemas mencionados en la pregunta 5 los danos fueron los siguientes:</p> <p>a. falta suministro de agua potable en el 80% de la ciudad</p> <p>b. en este caso falta suministro en la parte alta de la ciudad (El Embrujó, Los Álamos, la fortaleza del Ejército Nacional)</p> <p>c. en este caso la producción se redujo por causa de la turbiedad, en la zona central la cobertura se limitó al 70%, en la zona media la cobertura fue de 50% y en la zona alta la cobertura fue de 20%</p>
7. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por accidentes, errores humanos o sabotaje?	<p>El principal problema se presenta con el servicio eléctrico, la falta de electricidad provoca la salida de bombas, Por ejemplo, en la semana del 9 al 13 de julio de 2007 el sector de Cerros de Gurabo quedó sin agua por falta de energía,</p>
8. Otras emergencias que han afectado el sistema y no están relacionadas a fenómenos naturales ni tecnológicos?	<p>No se recuerda de emergencia de este tipo</p>
9. ¿Cuales medidas son aplicadas para abastecer agua a la población en casos de emergencias y desastres?	<p>a. El equipo de atención a emergencias se encuentra conformado</p> <p>b. hay un inventario de equipos</p> <p>c. 80% de la población tiene tinaco, lo que es una ventaja para almacenar agua</p> <p>d. 30 % de la población tiene cisterna, lo que permite almacenar agua</p>
10. ¿Cuales son los puntos críticos en el sistema de abastecimiento de agua?	<p>a. el elevado de la av, Estrella Sadalha</p> <p>b. la rotonda de la Fuente, donde hay dos válvulas y pasan las líneas de 42 pulg y 36 pulg que derivan el agua a la ciudad, Hay dos válvulas importantes y el nivel freático es superficial, lo que la está afectando,</p> <p>c. Línea de conducción de agua del túnel de aducción</p> <p>d. Planta la Noriega</p> <p>e. Tanque de hormigón de tamboril</p>

11. para solucionar averías en el sistema de agua considerando situaciones de emergencias?

* Diámetros no observados en el esquema de Acueducto 1972,

Componente o elemento	Tiempo de identificación de avería (horas)	Tiempo de Acceso al área (horas)	Tiempo de adquisición de partes (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de espera de la reparación (horas)	Tiempo de puesta en operación (horas)
Captación						
Bao	1	1	6	3		2
Pastor	2	1	48	6		1
Aducción						
Bao-Noriega I	2	1	48	48		3
Bao-Noriega II	2	1	48	48		3
Pastor-Nibaje	2	1	48	18		1
E, de bombas						
	1	1	24	240	48	2
P, Tratamiento						
Noriega I						
Noriega II						
Nibaje						
Tanques						
Acero	1	1	48	48		6
Hormigón	1	1	24	24		6
Tuberías (mm)						
800	1	1	48	24		1
700	1	1	48	24		1
600	1	1	48	24		1
550	1	1	30	10		1
500	1	1	30	10		1
450	1	1	1	8		1
400	1	1	1	8		1
350	1	1	1	8		1
300	1	1	1	8		1
250	1	1	1	8		1
200	1	1	1	8		1
150	1	1	1	8		1
100						

12. Fecha de la entrevista	23 / julio/ 2007
13. Nombre del entrevistado	H, Jaquez, MsC Ing, Ambiental
14. Cargo	Gerente de Operaciones y Mantenimiento
15. Año de inicio de labor en CORASAAN - Tiempo en la empresa (años)	1977, 30 años
16. ¿Situaciones de emergencias y desastres que han afectado a Santiago de los Caballeros en el periodo en que ha trabajado en la CORAASAN?	<p>a. Huracán David e Tormenta Federico en 1979</p> <p>b. Huracán Georges en 1998</p> <p>c. Vandalismo, robo de cableado, baterías e bombas</p>
17. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por peligros o fenómenos naturales en el sistema de abastecimiento de agua?	<p>Los dos huracanes han afectado mayormente las obras de captación, En 1979, David dañó la obra de captación de Pastor y de Nibaje, Las estructuras y los equipos electromecánicos fueron arrastrados o cubiertos por la inundación, La altura del agua alcanzó aproximadamente 2 m (o 3m) y el caudal del río llegó a los 3,000m³/s en la descarga de presa de Taveras, siendo el caudal normal de 30 a 50 m³/s, En David fue arrastrada una tubería de 36" que pasaba por debajo del lecho de río Yaque del Norte y que iba desde Nibaje hacia el sector de Bella Vista,</p> <p>La recuperación de la captación de Pastor para ponerla a punto de operación se tomó 10 días, La captación en Nibaje se dejó en desuso,</p> <p>En el caso del huracán Georges (1998) la captación en pastor fue afectada por la inundación, Sin embargo, el tiempo de recuperación fue de 1 día (24 horas), Los daños principales se produjeron en el canal que direcciona el agua hacia las bombas, el cual quedó lleno de sedimentos, La razón para que los daños no fueran mayores es que a raíz de David, se realizaron adecuaciones en las infraestructuras, elevando todos los equipos a un nivel superior al alcanzado en el huracán David, Ya en 1980 las bombas, transformadores y equipos de control se encontraban a una altura superior a los 2 metros,</p>
18. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por accidentes, errores humanos o sabotaje?	<p>Son comunes los choques a hidrantes, no se tarda más de 1 hora en atender esta emergencia,</p> <p>También se presentan daños por excavaciones privadas y de construcciones públicas en áreas con tuberías de agua potable,</p>
19. Otras emergencias que han afectado el sistema y no están relacionadas a fenómenos naturales ni tecnológicos?	No fue mencionada ninguna emergencia de este tipo

<p>20. ¿Cuales medidas son aplicadas para abastecer agua a la población en casos de emergencias y desastres?</p>
<p>Actualmente existe un llevadero para camión cisterna, esta área puede servir agua a 10 camiones simultáneamente, El agua puede ser abastecida desde la planta de Nibaje, la planta La Noriega o desde el tanque de la Zurza, el cambio de fuente se realiza por medio de válvulas,</p> <p>Los equipos de bombeo cuentan con planta eléctricas de emergencia, a excepción de la bombas de Nibaje,</p> <p>El agua que se distribuye por La Noriega es por gravedad,</p> <p>Se ha diseñado un sistema de distribución flexible, que permite la interconexión con las diferentes plantas de tratamiento y tanques,</p> <p>La empresa tiene funcionando un Comité de Emergencia y se han establecido procedimientos para actuar en caso de desastres o de aviso de emergencia,</p> <p>Actualmente la capacidad de almacenamiento es de 25 millones de galones, volumen que en aviso de emergencia es reservado para la etapa después del desastre,</p>

<p>21. ¿Cuales son los puntos críticos en el sistema de abastecimiento de agua?</p>
<p>Los puntos críticos para el sistema de agua son:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. El túnel de aducción entre la Noriega y la captación de Bao b. El elevado del av, E, Sadalha, donde la tubería va debajo de las columnas del elevado, afectar esta tubería conlleva que el 50% del servicio sea afectado c. Los tanque antiguos del sistema de agua, los construidos con el cibao central tienen estructura antisísmica d. El tanque de tamboril se encuentra sobre la falla geológica Septentrional

22. Tiempo para solucionar averías en el sistema de agua considerando situaciones de emergencias?

* Diámetros no observados en el esquema de Acueducto 1972,

Componente o elemento	Tiempo de identificación de avería (horas)	Tiempo de Acceso al área (horas)	Tiempo de adquisición de partes (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de espera de la reparación (horas)	Tiempo de puesta en operación (horas)
Captación						
Bao	0	1	360 (15días)	336 (14días)		
Pastor	0	0,30	168 (7días)	336 (14días)		
Aducción						
Bao-Noriega I	0	0	168 (7días)	336 (14días)		
Bao-Noriega II	0	0	168 (7días)	336 (14días)		
Pastor-Nibaje	0	0	168 (7días)	336 (14días)		
E, de bombas	0	0	168 (7días)	504 (21días)		
P, Tratamiento						
Noriega I	1	1	168 (7días)	168 (7días)		
Noriega II	1	1	168 (7días)	168 (7días)		
Nibaje	1	0,30	168 (7días)	168 (7días)		
Tanques						
Acero	24	6	48	48		
Hormigón	24	6	48	48		
Tuberías (mm)						
800	1	6	168 (7días)	24		
750	1	6	168 (7días)	24		
700	1	6	168 (7días)	24		
600	1	6	168 (7días)	24		
550	1	12	24	24		
500	1	12	24	12		
450	2	12	24	12		
400	2	12	24	12		
350	6	24	24	12		
300	6	24	24	12		
250	24	24	24	6		
200	24	24	1	6		
150	48	24	1	4		
100	48	24	1	2		

23. Fecha de la entrevista	24/ julio / 2007
24. Nombre del entrevistado	A, Castellanos, Ingeniero
25. Cargo	Encargando Depto, Operaciones y Mantenimiento de Zonas Periféricas
26. Tiempo en la empresa (años)	12 anos
27. ¿Situaciones de emergencias y desastres que han afectado a Santiago de los Caballeros en el periodo en que ha trabajado en la CORAASAN?	
<ul style="list-style-type: none"> - 1994, para hacer las instalaciones del acueducto Cibao Central con el sistema existente fue necesario descontinuar la distribución de agua, - Septiembre 1998, la tuberbiedad hizo que se racionar el servicio por sectores, en una semana ya habia normalizado el servicio, - Mayo 2007, la tubería de 12" hacia el sector de Puñal fue arrastrada por una inundación rápida del arroyo Puñal, 	
28. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por peligros o fenómenos naturales en el sistema de abastecimiento de agua?	
<ul style="list-style-type: none"> - En el 2003 con el terremoto se produjeron agrietamientos menores en el tanque de Tamboril, La grita no impidió la operación del tanque, la fuga fue corregida el menos de 24 horas, el tanque entro en servicio en 48 horas, - En el 1998 con el huracán Georges la toma de pastor se inundó, paralizó el servicio de Nibaje, en dos semanas los daños fueron corregidos, 	
29. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por accidentes, errores humanos o sabotaje?	
<ul style="list-style-type: none"> - los accidentes más frecuentes son provocados por contratistas constructores de de carreteras y urbanizaciones, - Apertura no autorizadas de hidrantes - Cierre no autorizado de válvulas, principalmente en barrios periféricos 	
30. Otras emergencias que han afectado el sistema y no están relacionadas a fenómenos naturales ni tecnológicos?	
<ul style="list-style-type: none"> - Falta de energía eléctrica, en especial en el área de pozos 	
31. ¿Cuales medidas son aplicadas para abastecer agua a la población en casos de emergencias y desastres?	
<ul style="list-style-type: none"> - Sectorización del abastecimiento por medio de válvulas, provocando el racionamiento de agua, - Reservar agua en tanques en desastres anunciados (caso de huracanes y altas precipitaciones) - Hay 2 camiones cisternas para suplir agua en casos de falta de servicio, - En Puñal se abasteció con camiones cisternas por 2 semanas, 	
32. ¿Cuales son los puntos críticos en el sistema de abastecimiento de agua?	
<ul style="list-style-type: none"> - Toma de Pastor y Bao - Elevado de la Av, Estrella Sadalha con pilares localizados sobre la tubería de 48" (casi frente a CODETEL), - Tanques en casos de sismos, especialmente los tanques de hormigón - En el área de pozos hay problemas con la energía eléctrica, 	

33. Tiempo para solucionar averías en el sistema de agua considerando situaciones de emergencias?

* Diámetros no observados en el esquema de Acueducto 1972,

Componente o elemento	Tiempo de identificación de avería (horas)	Tiempo de Acceso al área (horas)	Tiempo de adquisición de partes (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de espera de la reparación (horas)	Tiempo de puesta en operación (horas)
Captación						
Bao	1	1	24	2	1	1
Pastor	1	1	24	2	1	1
Aducción						
Bao-Noriega I	2	2	24	8	1	1
Bao-Noriega II	2	2	24	8	1	1
Pastor-Nibaje	1	1	24	4	1	1
E, de bombas	1	1	24	5	1	1
P, Tratamiento						
Noriega I	1	1	24	5	1	1
Noriega II	1	1	24	5	1	1
Nibaje	1	1	24	5	1	1
Tanques						
Acero	1	1	24	5	1	1
Hormigón	1	1	24	3	48	
Tuberías (mm)						
800	1	1	48	6	1	1
750	1	1	24	6	1	1
700	1	1	24	6	1	1
600	1	1	24	6	1	1
550	1	1	24	6	1	1
500	1	1	24	6	1	1
450	1	1	24	4	1	1
400	1	1	24	4	1	1
350	1	1	24	4	1	1
300	1	1	24	2	1	1
250	1	1	1	2	1	1
200	1	1	1	2	1	1
150	1	1	1	2	1	1
100	1	1	1	1	1	1

34. Fecha de la entrevista	23/ JULIO /2007
35. Nombre del entrevistado	J, Fabian
36. Cargo	Técnico Plomero, Depto, De Operaciones de Redes
37. Tiempo en la empresa (años)	18 anos

38. ¿Situaciones de emergencias y desastres que han afectado a Santiago de los Caballeros en el periodo en que ha trabajado em la CORAASAN?
<ul style="list-style-type: none"> - Huracán Georges en 1998 - Avería en el puente de la Lotería 2005

39. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por peligros o fenómenos naturales en el sistema de abastecimiento de agua?
<ul style="list-style-type: none"> - Avería en el puente de la Lotería

40. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por accidentes, errores humanos o sabotaje?
<ul style="list-style-type: none"> - Contratistas de la empresa de teléfono o de construcción de calles y residenciales, -

41. Otras emergencias que han afectado el sistema y no están relacionadas a fenómenos naturales ni tecnológicos?

42. ¿Cuales medidas son aplicadas para abastecer agua a la población en casos de emergencias y desastres?
<ul style="list-style-type: none"> - Solucionar el problema en menos de 24 horas,

43. ¿Cuales son los puntos críticos en el sistema de abastecimiento de agua?
<ul style="list-style-type: none"> - Estación de válvulas de la línea de la Noriega, en la Fuente,

44. Tiempo para solucionar averías en el sistema de agua considerando situaciones de emergencias?

* Diámetros no observados en el esquema de Acueducto 1972,

Componente o elemento	Tiempo de identificación de avería (horas)	Tiempo de Acceso al área (horas)	Tiempo de adquisición de partes (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de espera de la reparación (horas)	Tiempo de puesta en operación (horas)
Captación						
Bao						
Pastor						
Aducción						
Bao-Noriega I						
Bao-Noriega II						
Pastor-Nibaje						
E, de bombas						
P, Tratamiento						
Noriega I						
Noriega II						
Nibaje						
Tanques						
Acero						
Hormigón						
Tuberías (mm)						
800	1	1	24	2		
750	1	1	24	2		
700	1	1	24	2		
650*	1	1	24	2		
600	1	1	24	2		
550*	1	1	24	2		
500	1	1	24	2		
450	1	1	24	2		
400	1	1	24	2		
350	1	1	24	2		
300	1	1	24	2		
250	1	1	3	2		
200	1	1	3	2		
150*	1	1	3	2		
100	1	1	3	2		

45. Fecha de la entrevista	23 / julio / 2007
----------------------------	-------------------

46. Nombre del entrevistado	C, Rivas
47. Cargo	Asistente Departamento de Mantenimiento
48. Tiempo en la empresa (años)	3 años

49. ¿Situaciones de emergencias y desastres que han afectado a Santiago de los Caballeros en el periodo en que ha trabajado en la CORAASAN?
2006 – Inundaciones en el Municipio de Punal que arrastran tuberías principales de 12 pulgadas
2007 – la tubería principal de 12 pulgadas que alimenta Punal fue arrastrada por la creciente del río Punal,

50. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por peligros o fenómenos naturales en el sistema de abastecimiento de agua?
Principalmente arrastre de tuberías

51. Tipos de daños, averías e interrupciones provocadas por accidentes, errores humanos o sabotaje?
Las excavaciones realizadas por contratistas de obras del estado, de telecomunicaciones y de urbanizaciones provocan aproximadamente el 50% de las rupturas de tubos,

52. Otras emergencias que han afectado el sistema y no están relacionadas a fenómenos naturales ni tecnológicos?
-

53. ¿Cuales medidas son aplicadas para abastecer agua a la población en casos de emergencias y desastres?
Reserva de agua en tanques para ser distribuidas en la etapa de pos-impacto.

54. ¿Cuales son los puntos críticos en el sistema de abastecimiento de agua?
-la tubería que esta por debajo del puente del a av, Estrella Sadalha
- puente de la lotería, por que cruza la tubería principal de 60 pulgadas

55. Tiempo para solucionar averías en el sistema de agua considerando situaciones de emergencias?

* Diámetros no observados en el esquema de Acueducto 1972,

Componente o elemento	Tiempo de identificación de avería (horas)	Tiempo de Acceso al área (horas)	Tiempo de adquisición de partes (horas)	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de espera de la reparación (horas)	Tiempo de puesta en operación (horas)
Captación						
Bao						
Pastor						
Aducción						
Bao-Noriega I						
Bao-Noriega II						
Pastor-Nibaje						
E, de bombas						
P, Tratamiento						
Noriega I						
Noriega II						
Nibaje						
Tanques						
Acero						
Hormigón						
Tuberías (mm)						
800	1	<1	<1	<4		
750	1	<1	<1	<4		
700	1	<1	<1	<4		
600	1	<1	<1	<4		
550	1	<1	<1	<4		
500	1	<1	<1	<4		
450	1	<1	<1	<4		
400	1	<1	<1	<4		
350	1	<1	<1	<4		
300	3	<1	<1	<4		
250	3	<1	<1	<4		
200	3	<1	<1	<4		
150	3	<1	<1	<4		
100	3	<1	<1	<4		

Apêndice F - Tempo de manutenção de tubulações segundo o diâmetro no período janeiro 2006-agosto 2007, Departamento de Manutenção de Redes, CORAASAN

Nº de Reparações	Diâmetro de Tubulação (mm)	Tempo de manutenção (horas)
1	100	2
2	100	1
3	100	5
4	100	2
5	100	4
6	100	1
7	200	9
8	200	5
9	200	4
10	200	3
11	200	4
12	200	3
13	200	4
14	200	1
15	200	1
16	300	5
17	300	7
18	400	10
19	400	8
20	600	4
21	600	4
22	600	7
23	750	7
24	750	18
25	750	5

Apêndice G - Sintaxe genérica para programar o aplicativo *Vul_Perigo* em Visual Basic 6.0 para determinar a vulnerabilidade hidráulica em EPANET 2.0 versão 12

(modelo não funcional, só para fins ilustrativos)

Declaração de Variáveis
(não foi considerado acentos nas variáveis)

TotalDiaSimulacao=30
TempoImpacto = 24
Pressao Mínima = 20
Estado Bomba

For Simulacao = 1 To TotalSimulacao

CÁLCULO DA DEMANDA REQUERIDA

ENopen " CORAASAN.INP ", "RelatorioCalculos.txt",
ENsettimeparam EN_DURATION, Ttotal
ENgetcount EN_NODECOUNT, TotalNo
ENgetcount EN_LINKCOUNT, NumLinhas

ENopenH

For No = 1 To TotalNo

ENinitH 0

ENgetnodevalue No, EN_BASEDEMAND, BaseD

ENgetnodevalue No, EN_BASEDEMAND, DemandaNoNormal

For tNo = 0 To Ttotal / 3600

ENrunH t / 3600

ENgetnodevalue No, EN_DEMAND, DemandaNormal

ENgetnodevalue No, EN_PRESSURE, PressaoNormal

ENnextH tStep

Next tNo

Next No

ENcloseH

ENclose

CÁLCULO DA DEMANDA DISPONÍVEL

ENopen " CORAASAN.INP", "RelatorioCalculos2.txt"

ENsettimeparam EN_DURATION, Ttotal
ENgetcount EN_NODECOUNT, TotalNo
ENgetcount EN_LINKCOUNT, NumLinhas

ENopenH

ENgetlinkindex IDLinhaEstudo, IndexLinha
ENgetlinkvalue IndexLinha, EN_DIAMETER, Diametro

Gerar tempos de reabilitação

Velocidade Relativa de Bomba ou vazão produzida

For No = 1 To TotalNo

ENinitH 0

ENgetnodevalue No, EN_BASEDEMAND, BaseD

For tNo = 0 To Ttotal / 3600

ENrunH t / 3600

If (tNo >= Tempo Impacto And tNo <= Tempo Reabilitação) Then
ENsetlinkvalue IndexLinha, EN_STATUS, 0
Else
ENsetlinkvalue IndexLinha, EN_STATUS, 1
End If

If (tNo >= Tempo Impacto And tNo <= Tempo Reabilitação Bomba) Then
ENsetlinkvalue Nó da Bomba, EN_SETTING, Velocidade Relativa
Else
ENsetlinkvalue Nó da Bomba, EN_SETTING, 1
End If

ENgetnodevalue No, EN_PRESSURE, P
PressaoDisp(tNo, No) = P
PressaoDispNo = P
PressaoDes = PressaoTempReq(tNo, No)
DemandaReqNo = DemandaTempReq(tNo, No)

If (PressaoDispNo <= 0) Then
DemandaDisp = 0
ElseIf (PressaoDispNo > 0) And (PressaoDispNo < PressaoMin) Then
DemandaDisp = DemandaReqNo * ((PressaoDispNo / PressaoMin) ^ (0.5))
ElseIf PressaoDispNo >= PressaoMin Then
DemandaDisp = DemandaReqNo
End If

ENnextH tStep

Next tNo

End If

Next No

CÁLCULO DA VULNERABILIDADE

For No = 1 To TotalNo

ENgetnodevalue No, EN_BASEDEMAND, BaseD
 BaseDemanda(No) = BaseD

If BaseDemanda(No) > 0 Then

For tNo = 1 To Ttotal / 3600

DemandaReqNo = DemandaTempReq(tNo, No)
 DemandaDispNo = DemandaTempDisp(tNo, No)

DemandaNoReq(No) = DemandaTempReq(tNo, No)
 DemandaNoDisp(No) = DemandaTempDisp(tNo, No)

Rnn_Ft(tNo, No) = DemandaDispNo / DemandaReqNo

If Rnn_Ft(tNo, No) >= 0.5 Then

Ant(tNo, No) = 1

Else

Ant(tNo, No) = 0

End If

FatorAnt = Ant(tNo, No)

Next tNo

Ft_No(No) = SomaFt_No(No) / (Ttotal / 3600)
 Ft_Sistema = Ft_Sistema + Ft_No(No)
 Fn_No(No) = MultFn_No(No)
 Fn_Sistema = Fn_Sistema * Fn_No(No)
 Rn_No(No) = MultFn_No(No)
 Rnw_No(No) = Ft_No(No) * Rn_No(No)

Vul_No1 = (1 - Rnw_No(No)) * 100

If PressaoMediaNo < 0 Then

PressaoMediaNo = 0

Else

PressaoMediaNo = PressaoMediaNo

End If

End If

Next No

Rv = SomaDemandaDisp_Sistema / SomaDemandaReq_Sistema
 Fn = Fn_Sistema ^ (1 / TotalNoDemanda)
 Ft = (Ft_Sistema) / (TotalNoDemanda)
 Rnw = Rv * Ft * Fn
 Rnw_No1 = Rv * Ft
 Limp_v = (1 - Rnw_No1) * 100

ENcloseH

ENclose

Next Simulacao

End Sub

Apêndice H - Importância de trechos, segundo a vulnerabilidade do sistema, para a condição de pressão mínima igual à pressão requerida em casos normais

Número de trechos	Vazao No Sistema	Fn	Ft	Rv	Rnw	Limp-V%
L-1	2,60	0,00875	0,01250	0,00874	0,00000	99,989
L-2	2,60	0,00875	0,01250	0,00874	0,00000	99,989
L-3	296,57	0,99822	1,00000	0,99832	0,99654	0,168
L-4	282,89	0,95616	1,00000	0,95226	0,91051	4,774
L-5	296,74	0,99892	1,00000	0,99890	0,99782	0,110
L-6	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,023
L-7	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,023
L-8	290,97	0,98004	1,00000	0,97949	0,95993	2,051
L-10	295,17	0,99365	1,00000	0,99362	0,98731	0,638
L-11	295,17	0,99365	1,00000	0,99362	0,98731	0,638
L-12	228,93	0,75761	0,92361	0,77064	0,53925	28,823
L-13	294,39	0,99099	1,00000	0,99099	0,98207	0,901
L-14	296,13	0,99690	1,00000	0,99684	0,99375	0,316
L-19	294,32	0,98932	1,00000	0,99077	0,98019	0,923
L-20	296,19	0,99570	1,00000	0,99707	0,99278	0,293
L-22	297,06	0,99999	1,00000	0,99999	0,99998	0,001
L-23	297,06	0,99999	1,00000	0,99999	0,99998	0,001
L-24	296,95	0,99926	1,00000	0,99962	0,99889	0,038
L-25	296,97	0,99943	1,00000	0,99967	0,99910	0,033
L-26	297,02	0,99976	1,00000	0,99986	0,99962	0,014
L-27	296,95	0,99943	1,00000	0,99959	0,99903	0,041
L-28	297,07	0,99999	1,00000	1,00000	0,99998	0,000
L-30	297,06	0,99994	1,00000	0,99997	0,99992	0,003
L-31	297,06	0,99994	1,00000	0,99997	0,99992	0,003
L-32	296,95	0,99943	1,00000	0,99959	0,99903	0,041
L-33	297,05	0,99991	1,00000	0,99995	0,99986	0,005
L-34	297,06	0,99996	1,00000	0,99998	0,99994	0,002
L-35	297,06	0,99996	1,00000	0,99998	0,99994	0,002
L-36	296,99	0,99963	1,00000	0,99973	0,99937	0,027
L-37	297,06	0,99996	1,00000	0,99998	0,99994	0,002
L-38	297,06	0,99998	1,00000	0,99999	0,99997	0,001
L-39	297,04	0,99984	1,00000	0,99990	0,99974	0,010
L-40	297,06	0,99996	1,00000	0,99998	0,99994	0,002
L-41	297,04	0,99988	1,00000	0,99992	0,99980	0,008
L-43	296,97	0,99957	1,00000	0,99968	0,99925	0,032
L-44	296,97	0,99957	1,00000	0,99968	0,99925	0,032
L-45	297,04	0,99990	1,00000	0,99992	0,99982	0,008
L-46	295,35	0,99386	1,00000	0,99422	0,98812	0,578
L-47	297,04	0,99992	1,00000	0,99992	0,99984	0,008
L-48	228,93	0,75761	0,92361	0,77064	0,53925	28,823
L-49	292,03	0,98169	1,00000	0,98305	0,96505	1,695
L-50	177,23	0,41490	0,69609	0,59660	0,17230	58,471
L-52	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,023
L-53	294,39	0,99099	1,00000	0,99099	0,98207	0,901
L-54	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	100,000
L-76	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	100,000
L-78	273,23	0,92205	1,00000	0,91977	0,84807	8,023
L-79	286,01	0,96388	1,00000	0,96278	0,92801	3,722
L-80	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-21	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-42	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-71	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-16	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-18	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-64	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-63	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-9	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-59	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-58	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-55	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-73	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-75	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-74	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-68	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000
L-72	297,07	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,000

Apêndice I - Experiências e propostas para abastecimento de água em situações de emergências

Recomendação	Autor/ Instituição	Ano*	Observação
Estocar substâncias químicas suficientes, considerando as prováveis características da água pós-impacto; reservar água tratada em reservatórios de regulação e distribuição; estocar equipamentos diesel, para substituir equipamentos elétricos; equipamento mínimo de construção; geradores elétricos; estações de potabilização portáteis.	INAPA, 1980	1979	Experiências no furacão David e na tormenta Federico em 1979
Desenvolvimento de uma estação de tratamento de água com recursos locais (tambores metálicos). Abastecimento de água para beber.	SENS, RICHTER e FERRARI, 1996	1984	Estação experimental fabricável em 2 dias
Uso de mananciais alternativos; poços profundos e rasos; pequenas fontes, córregos de encostas, água da enchente, água tratada em piscinas particulares; estações compactas pré-fabricadas em aço; conjunto moto-bomba a diesel e gasolina (e outras energias), bombas submersas e submersíveis; sistema provisórios de cloração; adaptação provisórias para operar ETAs segundo necessidades locais; construção de novos sistemas (provisórios); distribuição de água tratadas (sacos plásticos, garrafa); carros-pipas; desinfecção na rede; distribuição de cloro (hipoclorito); ferver água.	PHILIPPI, 1985	1983-1984	Enchentes 1983 e 1984 em Santa Catarina
Descentralizar as fontes de água, operações, armazéns, equipamento de emergência e repostos, em especial para zonas vulneráveis. Os sistemas grandes devem ter vários recursos e sub-unidades interconectadas. Na captação é melhor usar poços profundos (mais de 3 m de profundidade). Nos países não industrializados, a chuva pode ser uma fonte de água. Fazer acordos com fontes particulares (centrais elétricas, fábricas de cerveja, hotéis, e outras fonte usadas para beber), também para uso de tanques de armazenamento de água ou bebidas alimentícias. Não é recomendável solicitar equipamentos transportáveis como parte da ajuda de socorro.	OMS/OPS, 1999		Sugestões gerais para casos de emergências em sistemas de abastecimento de água
Elevar a pressão na tubulação de água e a concentração de cloro, para evitar contaminação da água; água de poços escavados em zona de nível freático alto (bombas manuais); Unidades de Tratamento Portáteis; improvisar depósitos para armazenar água (lona, nylon e plástico revestido de polietileno, com capacidades de até 10 m ³); distribuição de água em caminhões cisternas; tubulações provisórias (ferro galvanizado, PVC) e fontes públicas; utilização direta de águas superficiais (instruir a população para a potabilização de água superficial); extração, tratamento e armazenamento em sistemas privados (poços, fonte superficial, piscinas, reservatórios privados)	SANTOS, 1999	1999	Estudo de casos inundações em Rio de Janeiro.
Se não se tem serviço municipal de água é possível obtê-la em indústria de alimentos (como leite e bebidas). Água de caminhão cisterna destinado para transporte de água potável ou líquido alimentar como leite ou bebidas.	IDPH, 2000	-	Plano de emergência de Illinois

Apêndice I - Experiências e propostas para abastecimento de água em situações de emergências

Recomendação	Autor/ Instituição	Ano*	Observação
Se prioriza a quantidade, respeitando a qualidade; evitar a necessidade de tratar água (melhor usar fonte que não necessite tratamento); calcular o requisito de água e avaliar as disponibilidades de água; inventário de fontes de água e determinar todas as fontes em termos da qualidade e produção da água; identificar fontes de reserva, evitar desperdício e esperar aumento da população; as ETAs devem funcionar sempre e ser mantidas corretamente; em campos com grandes concentrações de pessoas a desinfecção da água é absolutamente necessária, considerar tratamento segundo as características da água bruta; considerar as variações sazonais em quantidade e qualidade da água; proteger as fontes de água existentes contra contaminação; garantir análises da qualidade de água; instalar a infra-estrutura de operação e manutenção do sistema; manter e atualizar a informação sobre os recursos de água obtidos na avaliação de disponibilidade.	UNHCR, 2000	-	Alto Comissionado das Nações Unidas para Refugiados
Determinar fontes alternativas antes da emergência (reservatórios, estações contra fogo, fontes independentes); estimar as necessidades de caminhões cisternas; identificar necessidades de reservatórios e ETA; estimar usuários especiais; manter relação com proprietários de sistemas particulares.	BURNS et al., 2002	-	-
Abertura e equipamento de poços, instalação de pequenas ETA e abastecimento de água em caminhão cisterna.	OMS/OPS, 2003a	1997 1998	Atuação emergencial por efeito de El Niño no Equador 1997-98
Estimar a quantidade de água necessária para emergências de curto prazo (horas ou dias) e de longo prazo (semanas ou meses); Identificar abastecimentos alternativos disponíveis para tipos de interrupção; Identificar equipamentos e produtos químicos estocados, manter inventário atualizado de equipamentos, peças de reabilitação, fornecedores de produto químico; acordos com empresas que têm equipamentos e pessoal capacitados; acordos com proprietários de sistemas particulares.	USEPA, 2004	-	Plano para resposta em emergência
Uma resposta rápida pode precisar a construção de estações temporais, tipicamente em dias ou semanas. A desinfecção e o tratamento da água podem ser feitos no ponto de consumo ou na ETA. As tecnologias apropriadas são mais adequadas, pelo custo e por ter requisitos mais baixos na operação e manutenção.	ECHO, 2005	-	Atuação em emergências agudas e crônicas
Avaliação de vulnerabilidade frente a perigos existentes e históricos; localização de fontes alternativas emergenciais; uso de sistemas de água particulares; coordenação interinstitucional; capacitação técnica para gestão de emergências e desastres; armazenamento de água em caso de perigos previsíveis.	CORAASAN, 1990	1990	Plano gerar de atenção a emergências

* Ano de aplicação da proposta

9 ANEXOS

Anexo A - Perfil de alturas do rio Yaque do Norte para tempo de retorno de 25 a 500 anos segundo o modelo simulação de SOGREAH/SERCITEC (2002)

Margem izquierda	Margem derecha	Nível estiagem (m)	Altura sobre o mar no furacão David (m)			Simulação	
			T25	T50	T100	T200	T500
Zona Sur		153,55	160,02	162,02	163,65	162,96	164,26
		153,01	159,89	161,94	163,61	162,71	164,20
		152,69	159,84	161,9	163,58	162,65	163,98
		152,02	159,71	161,81	163,5	162,53	163,86
		151,77	159,63	161,76	163,47	162,50	163,82
		150,96	159,43	161,62	163,36	162,32	163,67
		150,09	159,09	161,24	162,91	162,17	163,53
	Nibaje	149,46	158,66	160,81	162,46	161,86	163,20
	Edificio CORAASAN	148,94	158,15	160,11	161,80	161,51	162,92
		148,76	158,11	160,10	161,82	161,40	162,82
		148,29	157,82	159,82	161,54	161,23	162,65
Bella Vista		147,71	157,75	159,79	161,54	160,97	162,37
		147,12	157,68	159,71	161,46	160,88	162,28
		148,90	157,62	159,65	161,39	160,83	162,22
		146,72	157,46	159,48	161,22	160,77	162,17
		146,47	157,39	159,40	161,15	160,67	162,06
		146,25	157,38	159,39	161,13	160,66	162,05
Ponte Hermanos Patiño		140,20	157,32	159,30	160,99	160,65	162,04
		146,15	157,31	159,29	160,98	160,65	162,04
Ponte Peatonal	La Joya	146,02	157,14	159,10	160,80	160,62	162,01
		145,72	156,80	158,77	160,44	160,52	161,90
		145,58	156,53	158,48	160,12	160,46	161,85
		145,55	156,23	158,24	159,92	160,33	161,73
		145,55	153,26	154,17	155,01	154,48	155,24
		145,53	152,59	153,43	154,14	153,91	154,63
		145,53	150,77	152,14	153,31	153,18	154,10
		145,53	150,28	151,85	153,14	152,55	153,55
		145,53	150,28	151,85	153,14	152,55	153,54
		145,53	149,99	151,47	152,71	152,55	153,54
Ponte La Otra Banda		145,53	150,07	151,59	152,85	152,54	153,54
		145,53	150,02	151,55	152,82	152,51	153,51
		145,51	149,86	151,30	152,54	152,44	153,44
		142,94	148,18	149,21	150,11	150,11	150,08
		142,84	147,48	148,16	148,74	149,72	150,32
		142,75	146,82	147,46	148,19	149,33	149,98
		142,68	146,07	146,88	147,87	148,92	149,65
		142,50	145,88	146,71	147,75	148,18	149,17
		141,66	144,87	145,91	147,32	147,38	148,84
		141,50	144,82	145,88	147,30	147,28	148,82
Rio Gurabo		141,34	144,76	145,84	147,29	147,20	148,80
		140,70	144,68	145,79	147,26	146,89	148,75
		140,64	144,61	145,75	147,25	146,82	148,73
		140,57	144,20	145,51	147,14	146,74	148,70
		140,52	143,98	145,42	147,11	146,67	148,68
		140,32	143,88	145,38	147,09	146,56	148,65
		139,04	142,79	144,80	146,83	146,11	148,48
		137,69	142,71	144,76	146,80	146,04	148,45
		136,39	142,68	144,74	146,79	146,05	148,42
		134,25	141,94	144,10	146,28	145,77	148,25
		133,83	141,72	143,93	146,14	145,63	148,16
		133,10	140,33	142,43	144,78	145,04	147,69
		132,39	140,06	142,36	144,90	144,46	147,22
	Ponte Canal Espaillat		132,39	140,03	142,34	144,88	144,44
		132,18	140,01	142,33	144,87	144,43	147,20

Fonte: SOGREAH/SERCITEC (2002).