UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E GESTÃO AMBIENTAL

RAPHAELA SOBREIRA GOTO

METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA CASO DE ROMPIMENTO DA UHE-TUCURUÍ

TUCURUÍ – PA
2019

RAPHAELA SOBREIRA GOTO

METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA CASO DE ROMPIMENTO DA UHE-TUCURUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.
Orientador: Prof.º Dr. Marcelo Rassy Teixeira

TUCURUÍ – PA
2019

iii

RAPHAELA SOBREIRA GOTO

METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA CASO DE ROMPIMENTO DA UHE-TUCURUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.
Orientador: Profº. Dr. Marcelo Rassy Teixeira

Tucuruí, 30 de janeiro de 2019

Aprovado por:

Prof.º Dr. Marcelo Rassy Teixeira (PEBGA – UFPA)

Prof.º Dr. Junior Hiroyuki Ishihara (PEBGA – UFPA)
Examinador Interno

Prof.º Dr. Wassim Raja El Banna (NDAE - UFPA)
Examinador Externo

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S677m SOBREIRA GOTO, RAPHAELA
METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA CASO DE ROMPIMENTO DA UHE-TUCURUÍ / RAPHAELA SOBREIRA GOTO. — 2019.
128 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rassy Teixeira
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus Universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2019.

1. Plano de Ações Emergenciais. 2. Plano de evacuação. 3. Barragem. 4. Otimização de rotas. I. Título.

CDD 620.86

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por ter permitido que eu passasse por este processo engrandecedor e por ter me dado coragem e perseverança para superar todos os “contratempos” encontrados durante esta caminhada.

À minha família que sempre esteve ao meu lado.

Ao meu marido Hugo Goto e minha filha Alícia Akemi, pelo amor e paciência, durante todas as horas de estudos.

Aos meus professores Aarão, Fernanda e Júnior Ishihara pelo apoio e pelas sugestões.

Aos meus colegas e amigos de curso Marlon e Davi pelo companheirismo e sempre a posto para me ajudarem.

Ao meu professor e orientador Marcelo Rassy, pelos seus conselhos acadêmicos que foram primordiais para que esse projeto se tornasse realidade.

RESUMO

As Barragens desempenham um papel importante no desenvolvimento social e econômico brasileiro. Embora mesmo quando considerados de baixo risco, incidentes envolvendo barragens podem causar danos significativos, apesar dos diversos custos potenciais resultantes de danos materiais, a perda de vidas humanas é na escala dos danos o mais significativo. A evacuação em caso de rompimento é um processo complexo que é o resultado agregado de muitos fatores, como modos de evacuação e características das rotas de evacuação. Neste contexto o presente trabalho visa determinar uma metodologia de seleção de rotas de evacuação de emergência para área urbana do município de Tucuruí localizado a jusante da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE-Tucuruí), sob a condição de ruptura do. A metodologia adotada é a baseada na otimização de rotas evacuação a partir da minimizando e/ou excluindo de interseções no percurso, para isso a proposta segue uma adaptação do método de seleção de rotas desenvolvido por Zhang et al. (2016). A metodologia foi aplicada em quatro etapas, sendo a primeira a divisão do município em zonas gerenciáveis de acordo com as características socioeconômicas e distribuição viária, a segunda a criação das tabela de interseções (adjacência) entre as vias, a terceira é a determinação da vias de saída segura responsáveis pelo deslocamento da população para outros município e a quarta etapa é o desenvolvimento do método de seleção de rotas que tem como produto final uma tabela de rotas considerando todos os percursos possíveis de evacuação que encaminhem para saída da área de risco. O método estabelece a melhor escolha de rota aquela que apresente o menor número de interseções no caminho de evacuação. Como resultado a metodologia se mostrou eficaz quando aplicada em Tucuruí, gerando possíveis rotas dentro de todo o perímetro urbano do município, proporcionando baixo custo já que não utiliza *softwares* que carecem de licença e elevado custo de aplicação, se mostrando um método de fácil aceitação e comunicação entre a população a ser evacuada, proporcionando a redução no tempo de viagem, maior segurança de evacuação e balanceamento de cargas de tráfego entre as diferentes saídas.

Palavras chaves: Barragem. Plano de Ações Emergenciais. Evacuação. Otimização de rotas

ABSTRACT

Dams play an important role in Brazilian social and economic development. Although even when considered low risk, incidents involving dams can cause significant damage, and despite several potential costs resulting from material damages, the loss of a human life is the most meaningful in damage scale. Evacuation in case of disruption is a complex process that is the aggregated result of many factors, such as evacuation mode and characteristics of evacuation routes. In this context, the present work aims to determine a methodology for selecting emergency evacuation routes for the urban area of Tucuruí municipality located downstream of Tucuruí Hydroelectric Power Plant (UHE-Tucuruí), regarding the condition of a dam failure only. The methodology adopted is based on the optimization of evacuation routes, minimizing and/or excluding intersections along the way, this proposal follows an adaptation of route selection method developed by Zhang et al. (2016). The methodology was applied in four stages, the first was the division of the municipality into manageable zones according to the socioeconomic characteristics and road distribution, the second was the creation of the intersection table (adjacency) between the roads, the third was the determination of the exit routes, responsible for the displacement of the population to another municipalities and the fourth was the development of route selection method that has as a final product, a table of evacuation routes considering all possible exits of high risk area. The method establishes as the best route choice the one with the fewest intersections in the evacuation path. As a result, the methodology proved to be effective when applied in Tucuruí, generating possible evacuation routes within the entire urban perimeter of the municipality, providing affordability since it does not use software that requires a license and high application cost, being showed as a method of easy acceptability and communication among the population to be evacuated, providing time travel reduction, safer evacuation and traffic load balance between different exits.

Keywords: Dam. Emergency Action Plan. Evacuation. Route Optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de rompimento de barragens....1
Figura 2 – Ciclo de gerenciamento de risco e emergência....7
Figura 3 – Vista aérea da Barragem de Oroville, California-USA....11
Figura 4 – Divisão de área de estudo em zonas gerenciáveis....25
Figura 5 - Fluxograma de pesquisa para o estudo sobre a estimativa do tempo de liberação de evacuação com base na simulação de barragem da barragem de Huaxi no sudoeste da China26
Figura 6 - Tipos básicos de movimentos....30
Figura 7 - Possibilidades de movimentos em Interseções....31
Figura 8 - Tipos de conflitos nas interseções....32
Figura 9 - Pontos de conflito de tráfego em interseção de 4 ramos....33
Figura 10 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação originais....36
Figura 11 - Exemplos do uso conjunto de reversão de faixa e eliminação de cruzamento....38
Figura 12 - Fluxograma da metodologia de seleção de rotas.....40
Figura 13 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação....44
Figura 14 - Exemplo de possíveis interseções em vias de bairros....45
Figura 15 – Fluxograma das etapas da aplicação da metodologia da pesquisa.....47
Figura 16 - Vista Aérea da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.....48
Fonte: Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. 48
Figura 17 - Localização da UHE Tucuruí. 49
Figura 18 – Localização do Município de Tucuruí-PA....52
Figura 19 - Evolução Urbana de Tucuruí de 1970 a 2000....54
Figura 20 - Imagem Parcial do Mapa de Tucuruí nomenclatura das vias e divisão de bairros 57
Figura 21- Imagem Parcial do Mapa de Tucuruí com vias limitadoras de bairro....57
Figura 22- Mapa do Residencial Jardim América....60
Figura 23- Mapa do bairro Alto Alegre....61
Figura 24- Mapa do bairro Supam....64
Figura 25- Mapa do bairro Beira Rio 65
Figura 26- Mapa do bairro Getat....67
Figura 27- Mapa do bairro Nova Conquista....69
Figura 28- Mapa do bairro Terra Prometida....71
Figura 29- Mapa do bairro Nova Tucuruí 72

Figura 30- Mapa do bairro Palmares 74
Figura 31- Mapa do bairro Santa Mônica 77
Figura 32- Mapa do Residencial Cristo Vive 79
Figura 33 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação originais 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de apresentação da tabela de interseções (adjacências) 42
Tabela 2 – Tabela de interseções a partir da via de saída 43
Tabela 3 - Rotas possíveis para a rua A, D 45
Tabela 4 - rotas possíveis para a rua E 46
Tabela 5 - Dados Técnicos UHE- Tucuruí. 49
Tabela 6 – Rotas de Evacuação para o Residencial Jardim América 61
Tabela 7 – Rotas de Evacuação para o Bairro Alto Alegre 63
Tabela 8 – Rotas de Evacuação para o Bairro Supam 64
Tabela 9 – Rotas de Evacuação para o Bairro Beira Rio 66
Tabela 10 – Rotas de Evacuação para o Bairro Getat 68
Tabela 11 – Rotas de Evacuação para o Bairro Nova Conquista 70
Tabela 12 – Rotas de Evacuação para o Bairro Terra Prometida 71
Tabela 13 – Rotas de Evacuação para o Bairro Nova Tucuruí 73
Tabela 14 – Rotas de Evacuação para o Bairro Palmares 75
Tabela 15 – Rotas de Evacuação para o Bairro Santa Mônica 77
Tabela 16 – Rotas de Evacuação para o Residencial Cristo Vive 80
Tabela 17 – Tabela de Interseções do Residencial Jardim América. 98
Tabela 18 – Tabela de Interseções do Bairro Alto Alegre. 99
Tabela 19 – Tabela de Interseções do Bairro Supam. 100
Tabela 20 – Tabela de Interseções do Bairro Beira Rio. 101
Tabela 21 – Tabela de Interseções do Bairro Getat. 102
Tabela 22 – Tabela de Interseções do Bairro Nova Conquista. 103
Tabela 23 – Tabela de Interseções do Bairro Terra Prometida. 104
Tabela 24 – Tabela de Interseções do Bairro Nova Tucuruí. 105
Tabela 25 – Tabela de Interseções do Bairro Palmares. 107
Tabela 26 – Tabela de Interseções do Bairro Santa Mônica. 109
Tabela 27 – Tabela de Interseções do Residencial Cristo Vive. 111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo do histórico de Acidentes no mundo por falhas em barragens.....9
Quadro 2 - Múltiplos Níveis de Complexidade para fatores de consequência de segurança a vida 17
Quadro 3 - Classificação da barragem de Tucuruí quanto à categoria de risco e ao DPA.....50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dano Potencial Associado (DPA) das barragens cadastradas, segundo o uso principal, em 30 de setembro de 2015. 14
Gráfico 2 - Demografia do Município de Tucuruí 53

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANELL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BBC	British Broadcasting Corporation
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CR	Categoria de Risco
DNIT	Departamento Nacional Infraestrutura e Transporte
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPA	Dano Potencial Associado
EGT	Tempo de Geração de Evacuação
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FERC	Federal Energy Regulatory Commission
GIS	Sistema de Informação Geográficas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organizações das Nações Unidas
PAE	Plano de Ações Emergenciais
PEE	Plano de Evacuação de Emergência
PNSB	Plano Nacional de Segurança de Barragens
PAR	População em Risco
PLL	Previsão de Perda de Vida
RIMA	Relatório de Impactos Ambientais
SNISB	Sistema Nacional sobre Informação de Segurança de Barragens

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 OBJETIVO 3
1.1.1 Objetivo Geral 3
1.1.2 Objetivos Específicos 3
1.2 JUSTIFICATIVA 3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 4

2 REFERENCIAL TEÓRICO 5
2.1 GESTÃO DE RISCO DE EMERGÊNCIA EM BARRAGENS 6
2.1.1 Acidentes com barragens 9
2.2 Lei de segurança de barragens – 12.334/2010 11
2.3 CARACTERÍTICAS DAS ÁREAS A JUSANTE 14
2.3.1 Loss of Lies (Potencial de Perda de Vidas) 16
2.3.2 Planejamento de Mitigação de Perigos 19
2.4 PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS - PAE 19
2.4.1 Resposta de Emergência 20
2.5 PLANO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA-PEE 21
2.5.1 Plano de Evacuação em Rompimento de Barragens 22
2.6 ZONEAMENTO 24
2.7 REDE RODOVIÁRIA 26
2.7.1 Interseções 28
2.8 OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO 33
2.8.1 Otimização Baseados em Modelos de Seleção de Rotas 34

3 METODOLOGIA 39
3.1 MÉTODO DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EMERGÊNCIA 40

3.1.1 Caracterização da área de estudo 41
3.1.2 Zoneamento 41
3.1.3 Levantamento da rede viária 42
3.1.4 Criação da tabela de interseções (adjacências) 42
3.2 METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS NO MUNICIPIO DE TUCURUÍ 46
3.2.1.1 Usina Hidrelétrica de Tucuruí 47
3.2.1.1.1 Caracterização quanto ao Potencial de Dano Associado (DPA) 50
3.2.1.2 Município de Tucuruí - Área a Jusante 51
3.2.2 Zoneamento do Município de Tucuruí 55
3.2.3 Levantamento da rede viária e criação da Tabela de Interseções 55
3.2.4 Determinação das vias seguras de saída 55

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 56
4.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ 56
4.1.1 Zoneamento do Município de Tucuruí 56
4.1.2 Levantamento da Rede Viária 56
4.1.3 Tabela de interseções (adjacências) 58
4.1.5 Rotas de evacuação para o município de Tucuruí 59
4.1.5.1 Residencial Jardim América 60
4.1.5.2 Bairro Alto Alegre 61
4.1.5.3 Bairro Supam 63
4.1.5.4 Bairro Beira Rio 65
4.1.5.5 Bairro Getat 66
4.1.5.6 Bairro Nova Conquista 68
4.1.5.7 Bairro Terra Prometida 70
4.1.5.8 Bairro Nova Tucuruí 72
4.1.5.9 Bairro Palmares 73

4.1.5.10 Bairro Santa Mônica 76

4.1.5.11 Residencial Cristo Vive 78

4.2 METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO 80

4.2.1 Seleção de rota original problemática e adaptação 80

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 84

5.1 CONCLUSÕES 84

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 85

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

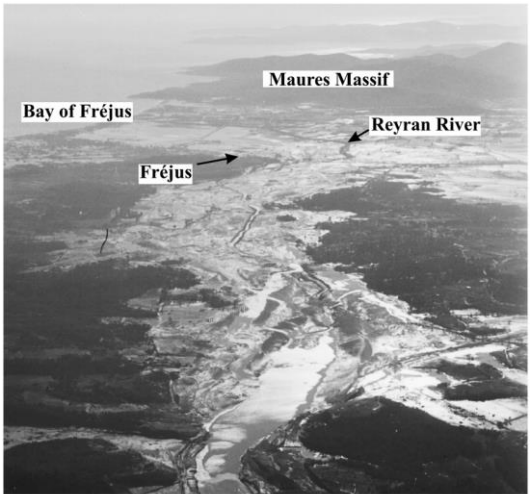
APÊNDICE A – TABELA DE INTERSEÇÕES ENTRE VIAS DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ **..... 97**

1 INTRODUÇÃO

As barragens desempenham importante papel no desenvolvimento social e econômico de uma região e são construídas para diversos fins, como aproveitamento elétrico, contenção de resíduos industriais e rejeitos da mineração, controle de cheias, irrigação, entre outros. A maior parte da energia elétrica produzida no Brasil hoje é proveniente da Usinas Hidrelétricas, essas alimentadas por grandes reservatórios de águas (Sistema Nacional sobre Informação de Segurança de Barragens - SNISB, 2018). Apesar de todo ganho econômico e social, a construção de uma hidrelétrica causa grande interferência ao meio ambiente, além disso uma ruptura de barragem pode liberar em segundos um grande volume de água a jusante, causando enorme prejuízo material e humano.

Um acidente envolvendo a ruptura de uma barragem é exemplo um tipo de acidente com graves consequências no vale a jusante, dentre elas o mais significativo é a perdas de vida humanas. Historicamente no mundo ocorreram diversos incidentes envolvendo rupturas em barragens e causaram milhares de mortes. A Figura 1 ilustra casos de rompimentos de barragens no mundo com grande impacto a jusante, como o caso do rompimento da barragem de Vajont na Itália, que tinha a Vila de Longarone presente à menos 2 km de sua jusante levando a morte de 94% da população.

Figura 1 – Exemplo de rompimento de barragens.



(a) Barragem de Malpasset – França -421 mortesz

(b) Barragem de Vajont – Itália- Vila de Longarone (1260 mortes)

Fonte: (a) Valiani (2002); (b) Pinto (2008).

Dado os perigos potenciais associados a população existente a jusante, é aconselhável que seja assegurada existência de planos de emergência e evacuação apropriados que visem minimizar as consequências negativas a esse desastre.

A evacuação é uma estratégia comum no gerenciamento de emergências e tem sido longa e amplamente estudada e utilizada como uma resposta eficaz a emergências e mitigação para proteger populações contra vários desastres e eventos catastróficos (XIE et al.,2009). Um desafio central no desenvolvimento de um plano de evacuação é determinar a distribuição dos evacuados para as áreas seguras, ou seja, decidir onde e de qual caminho cada evacuado deve ir (SAADATSERESHT et al., 2009).

Um plano bem definido e gerenciável é o pré-requisito para a implementação bem-sucedida de uma evacuação urbana ou regional em grande escala (XIE et al., 2009). Geralmente, a capacidade de infraestrutura de transporte pode não atender a enorme demanda de tráfego de evacuação, tanto em termos de acessibilidade direcional, pois muitas vezes a infraestrutura urbana é composta por um emaranhado de vias que foram criadas de acordo com o crescimento urbano e de forma desordenada, e também em termos de capacidade da rede, com isso, vale a pena buscar um plano de roteamento que faça o uso ideal dessa infraestrutura (COVA; JOHNSON, 2002).

A otimização de rotas de evacuação vem sendo amplamente estudada e tem como objetivos principais: a redução do tempo de evacuação e a busca do caminho mais curto (econômico).

O estudo da otimização baseado em seleção de rotas é realizado de forma autônoma, independente do comportamento dos evacuados, das condições de tráfego e no caso de evacuação por falhas em barragens, da onda de inundação.

A maioria dos atrasos de tráfego nas evacuações urbanas ocorre nos cruzamentos, a redução do número de conflitos de cruzamento e a junção em um plano de roteiro de evacuação pode diminuir a distância que os veículos devem percorrer para alcançar uma saída da zona e consequentemente o tempo de evacuação (COVA; JOHNSON, 2002).

Diante disso, esse estudo visa criar uma metodologia de seleção de rotas de emergência para o processo de evacuação em áreas urbanas presentes a jusantes de um barramento, a metodologia se baseia em gerar planos de roteamento como o objetivo de minimizar o tempo de evacuação, o comprimento total percorrido durante do processo de saída da área de risco, maximizar a eficiência da rede de transporte disponível e a redução de conflitos nos cruzamentos, através da minimização das interseções existentes na áreas urbana, e em seguida a aplicação desse método ao Município de Tucuruí.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo de seleção de rotas de tráfego para área urbana presente a jusante de um barramento, em caso de evacuação de emergência e aplicar esse modelo no Município de Tucuruí. Esta metodologia busca oferecer alternativas ótimas de evacuação sob a forma de rotas mais econômicas, seguras e eficientes para a evacuação da população.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o zoneamento da área de estudo;
- Criar uma tabela de interseções (adjacências) de vias internas as zonas;
- Selecionar as vias de saída seguras para a população a ser atingida;
- Propor o método de seleção de rotas;
- Utilizar a metodologia de seleção de rotas proposta para o município de Tucuruí-PA.

1.2 JUSTIFICATIVA

O rompimento de barragem tem Dano Potencial Associado (DPA): dano que pode acorrer devido ao rompimento, vazamento, infiltração no subsolo entre outros fatores, esse potencial pode ser graduado de acordo com o potencial de perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

As grandes barragens apresentam grande capacidade potencial de causar danos sérios ao vale a jusante, devido ao grande volume de água ou rejeitos concentrados em seus reservatórios (ANA, 2018). Só no século XX foram registrados cerca de 200 acidentes graves com barragens no mundo, que causaram a morte de mais de 8.000 pessoas e deixaram outros milhares desabrigados (AGUIAR, 2014).

De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015) levantou-se que em 2015 existiam seiscentas e quarenta e duas barragens de geração de energia elétrica cadastradas no Brasil, a sua grande maioria não possui o Plano de Ações Emergenciais (PAE). Dentro do PAE, uma parte-chave inclui um mapa de inundação

para identificar as áreas a jusante afetadas por uma possível quebra de barragens e o Plano de Evacuação.

Segundo Santos (2017) em sua pesquisa sobre a análise computacional do rompimento hipotético da barragem de Tucuruí-Pa, o autor afirma que a UHE de Tucuruí ainda não possui pesquisas orientadas para a análise do seu rompimento, com avaliação das áreas atingidas e danos ocasionados por tal evento, o que prejudica a sua gestão de segurança e a articulação de medidas para a elaboração do PAE e de um Plano de Evacuação de Emergência. Além disso existência de área urbana a poucos quilômetros à jusante do barramento agrava os danos econômicos, sociais e ambientais que ocorrerão na área alagada e em suas adjacências.

Plowman (2001) e Barrett et al. (2000), argumentam que devido ao crescimento populacional e urbano, limitada capacidade de infraestrutura e impossibilidade de ampliação da rede viária, as evacuações em massa tornam-se cada vez mais difíceis e demoradas. Isto sublinha a importância de as regiões propensas a riscos investirem em estratégias de gestão de desastres.

Com isso, a elaboração de estudos de plano de evacuação em áreas urbanas que estão localizadas a jusante de barramentos é área de interesse de pesquisa, a partir do momento que não se tem dados de rompimentos, do comportamento da onda de inundação, tempo necessário para retirada da população da área de risco, a otimização de rotas de forma independente do comportamento da onda de inundação, do comportamento dos evacuados e principalmente a evacuação de forma antecipada a falha propriamente dita, se torna de extrema importância.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura dessa dissertação está distribuída em cinco capítulos apresentados a seguir de forma sucinta, afim de indicar foi abordado em cada um dele.

Capítulo 2 – Referencial Teórico - Capítulo que expões a revisão da literatura sob aspectos de segurança de barragens como a gestão de risco, legislação, plano de ações emergenciais e evacuação, zoneamento, aspectos da rede viária e otimização de seleção de rotas de evacuação, o referenciam o tema deste trabalho.

Capítulo 3 – Metodologia da Pesquisa – A metodologia foi dividida em duas partes: a primeira parte se refere a apresentação da metodologia de seleção de rotas proposta, indicando os insumos e etapas necessários para aplicação da método, na segunda parte da metodologia se

refere a aplicação do método de seleção de rotas no município de Tucuruí, incluindo a caracterização do município e UHE-Tucuruí.

Capítulo 4 – Apresentação e discussão dos resultados – Expõe uma análise sobre o método de seleção proposto, e posterior apresentação da proposta de rotas de evacuação para o município de Tucuruí.

Capítulo 5 – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros - apresenta as conclusões gerais em relação aos resultados obtidos tanto relacionados ao método, quanto a aplicação do mesmo. Além disso, sugerem-se temas para futuras pesquisas e melhoramento relacionado a metodologia de seleção de rotas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir, foi realizada uma revisão de literatura que fundamenta o estudo, iniciando com um apanhado sobre a gestão de risco de emergência em barragem, aliado a leitura e compreensão da legislação sobre segurança de barragem, Plano de Ações Emergenciais (PAE), Plano de Evacuação de Emergência (PEE) e posteriormente pesquisa e definições sobre a rede rodoviária, dando ênfase as interseções de vias, seguindo para a definição de otimização de rotas de evacuação, que auxiliarão no objetivo principal do trabalho, que é a definição de um modelo de seleção de rotas para áreas urbanas existentes a jusantes de barramentos.

2.1 GESTÃO DE RISCO DE EMERGÊNCIA EM BARRAGENS

As Barragens desempenham um papel importante no desenvolvimento social e econômico brasileiro desfrutando os benefícios que elas fornecem, incluindo proteção contra inundações, abastecimento de água, energia hidrelétrica, irrigação e recreação. Embora mesmo quando considerados de baixo risco, incidentes envolvendo barragens podem causar danos significativos, tanto direta quanto indiretamente (KUO et al., 2008).

Devido ao grande volume de água ou rejeitos concentrados em seus reservatórios, as consequências de uma falha em uma barragem apresentam, em geral, impactos econômicos, sociais e ambientais elevados, não somente ao próprio empreendimento, mas principalmente às áreas urbanizadas imediatamente ou a poucos quilômetros à jusante do mesmo (SANTOS, 2017).

A segurança caracteriza-se como princípio básico e primordial para a engenharia, a gestão de segurança de barragens se constitui como objetivo principal, desde a concepção do projeto, construção e posterior operação do empreendimento.

Mesmo que durante o projeto e construção sejam cumpridos todos os requisitos quanto a segurança do empreendimento, existe um risco remanescente a ser controlado através da avaliação de segurança das estruturas, definido como o estabelecimento de mecanismos e procedimentos que permitam a detecção prévia das situações de risco e as medidas para mitigá-las (FERC, 2014).

O principal objetivo da gestão de riscos é implementar ações que visem analisar, monitorar, investigar e avaliar, afim de reduzir o impacto causado por um possível acidente ou incidente em barragens. Ao reduzir o risco, quer numa única barragem, quer num inventário de barragens, as ações devem ser tomadas da forma mais rápida e eficiente (FEMA, 2015).

Durante muito tempo, as medidas estruturais de ação no próprio empreendimento foram apresentadas como a solução final na gestão da segurança das barragens (CHENG et al., 2011). Nem sempre essas medidas são suficientes para eliminar o perigo a que estão submetidos

ou são extremamente caras. Passou-se, então, a conceber a adoção de medidas não estruturais, como a instalação de sistemas de alerta e planos de atendimento a emergências como formas de gerenciamento de riscos (AGUIAR, 2014).

Por outro lado, as medidas não estruturais são de elevada complexidade de implementação, uma vez que afetam os direitos das pessoas. No entanto, seu menor impacto ambiental e custo geralmente beneficiam mais a comunidade (TUCCI; VILLANUEVA, 1999). As medidas não-estruturais estabelecidas hoje são complementos indispensáveis às soluções de engenharia estrutural (SIMONOVIC, 2002), principalmente na resposta de emergência durante um processo de colapso de um empreendimento.

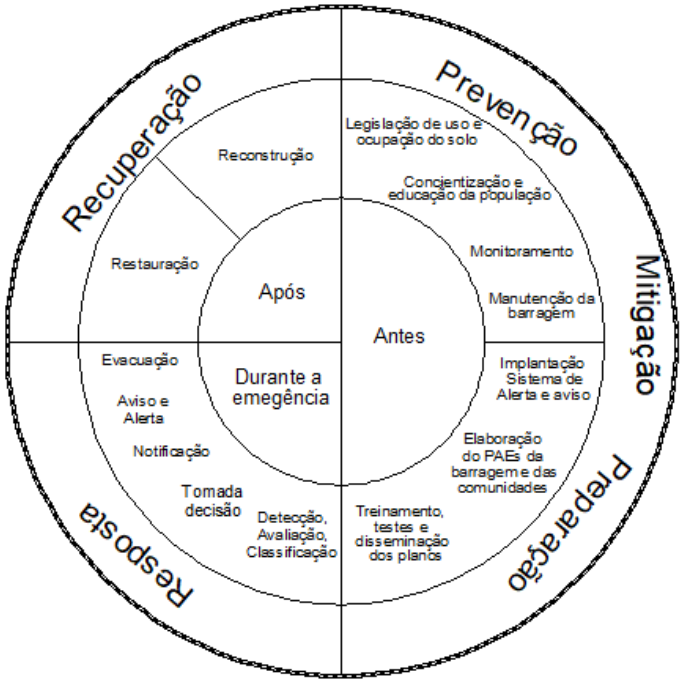
A resposta de emergência representa as ações tomadas durante e/ou imediatamente após um incidente para salvar vidas e visam atender às necessidades humanas básicas, reduzir a perda de vidas, propriedade, o efeito sobre a infraestrutura e o meio ambiente.

No caso de falhas e incidentes de barragens, essa seria a resposta do proprietário da barragem ao gerenciamento de emergência da comunidade local e dos primeiros socorristas, como departamentos de defesa civil e de bombeiros, para minimizar as consequências de uma falha ou incidente iminente ou real da barragem. As ações podem incluir alertas, aviso de emergência e a evacuação da população em risco.

É importante que os proprietários de barragens coordenem com as autoridades de gestão de emergência apropriadas e forneçam informações obtidas através de estudos de inundação de barragens e projetos de mapeamento para auxiliar o processo de planejamento de evacuação (FEMA, 2013). O principal objetivo das ações emergenciais consiste em mitigar os riscos para as populações e bens a jusante.

A Figura 2 citada por Schokkin (2007) mostra esquematicamente o processo contínuo de gerenciamento de risco no vale e na barragem, que compreende as fases de avaliação e de mitigação do risco.

Figura 2 – Ciclo de gerenciamento de risco e emergência.



Fonte: SCHOKKIN (2007).

A Figura demonstra as etapas da gestão de risco, são elas: prevenção, preparação, resposta e recuperação. A mitigação é o processo realizado antes da ocorrência do sinistro, ou seja, ações de visam a não ocorrência do mesmo, através de monitoramento, manutenção, preparação de ações de emergência como sistema de aviso e elaboração do plano de ações emergenciais (PAE), já na etapa de resposta entra em pratica tudo que foi desenvolvido durante a etapa de preparação. Uma etapa de preparação bem definida auxilia no processo de resposta ao rompimento e consequentemente no processo de recuperação, evitando maiores perdas materiais, ambientais e perdas de vidas humanas.

Quando a gestão de risco não existe ou está em déficit ocorre um comprometimento com impactos significativos ao meio ambiente, e perda de vidas em caso de ruptura em uma barragem, principalmente constitui um fator de risco (humano/tecnológico) as comunidades que vivem ou passam a viver a jusante delas.

Segundo Peck (1984), 9 entre 10 rupturas de barragens ocorrem não por deficiências no estado da arte atual, mas sim por negligências, falta de comunicação entre o executor da obra e o projetista ou por previsões muito otimistas das condições geológicas da região. Uma barragem para ser considerada segura deve, primordialmente, possuir integridade estrutural, não induzir sentimento de ameaça, não causar dano ambiental e atender as normas de segurança de barragens. (AGUIAR, 2014).

Histórico de acidentes envolvendo barragens é uma importante ferramenta para se visualizar os equívocos ocorridos ao longo de vários anos, bem como negligências e situações inesperadas para que se possa propor, baseando-se na experiência adquirida, medidas de prevenção e planos de ação emergencial e evacuação (AGUIAR, 2014).

2.1.1 Acidentes com barragens

A história detalha centenas de casos de rompimento de barragens, seus impactos socioambientais e perdas de vidas. Vale destacar alguns casos que tiveram grande impacto:

Quadro 1 – Resumo do histórico de Acidentes no mundo por falhas em barragens

Barragem	Ano rompimento	Número de vítimas
Barragem de Gleno-Italia	1923	356
Barragem de Malpasset – França	1959	421
Barragem de MACHCHU II- Índia	1979	5000 a 10000
Barragem de Orós-Brasil	1960	Aprox. 1000
Barragem de Pampulha		0
Barragem de Vajont- Itália	1963	2600
Barragem de Ban Quiao e Shimantan – China	1975	230000
Barragem de Mill River- EUA	1874	143
Barragem de Teton - EUA	1976	100
Barragem South Fork – EUA	1989	2200

Com base no Quadro 1 o histórico de acidentes envolvendo barragens aponta que os danos causados por tais acidentes são na maioria das vezes devastadores para qualquer tipo de ocupação que esteja a jusante do local da falha, tanto economicamente quanto socialmente falando. A quantidade de perdas de vidas devido a presença de população a jusante categoriza um rompimento de barragem com um acidente catastrófico.

Aguiar (2014) afirma que na grande maioria dos casos somente após acidentes fatais envolvendo barragens foram desenvolvidos estudos com o objetivo de avaliar a segurança, propor melhorias e gerenciar o risco. Muitos problemas poderiam ter sido evitados caso fossem elaborados e seguidos planos de monitoramento das condições do barramento e planos de ação em situações emergenciais.

Analisando os desastres ocorridos verifica-se a grande importância dos sistemas de alerta precoce, preparação e resposta, os quais são capazes de proporcionar a evacuação dos

locais atingidos e consequentemente mitigar o dano ambiental reflexo mais irreversível, qual seja: a morte.

Já no Brasil as barragens estão envelhecendo, o que reforça a necessidade de cuidados com relação à segurança. Além da ampliação do parque hidroenergético brasileiro com a construção de novas barragens, principalmente na região norte do País, as que já existentes carecem de avaliações periódicas para se verificarem as condições de segurança, a luz das novas tecnologias (AGUIAR, 2014).

Santos (2017), afirma que a segurança deve ser avaliada de maneira regular através de reavaliações das condições de todas as estruturas e instalações constituintes de acordo com seu DPA. Nesse sentido, para evitar ou reduzir os danos provocados por acidentes ou incidentes, torna-se essencial a correção de qualquer deficiência prevista ou constatada, a garantia de operação segura, continuada, de manutenção e de inspeção e a preparação adequada para emergências (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002; SANTOS, 2017), garantindo assim maior eficiência na resposta de emergência.

Em contramão a quantidade de mortes causadas durante o processo de falhas em barragens, ou por negligência dos gestores e/ou por falta de preparação de ações de emergência, um caso que chamou a atenção do mundo foi o processo de evacuação preventiva que ocorreu da população urbana presente a jusante da Barragem de Oroville, nos Estados Unidos no ano de 2017. O barramento não chegou a romper, mas um possível rompimento fez com que houvesse uma ação antecipada de remoção das populações existentes a sua jusante. Os problemas na barragem de Oroville começaram quando o canal principal de água da barragem foi danificado após uma estação de inverno de chuva e neve após cinco anos de seca, a precipitação torrencial fez com que os níveis de água aumentassem tão rapidamente que grandes quantidades de água precisavam ser liberadas para evitar que a barragem rompesse e enviasse uma parede de água para a comunidade abaixo, a Figura 3 mostra a vista área da barragem durante o sinistro.

Figura 3 – Vista aérea da Barragem de Oroville, California-USA.

Fonte: British Broadcasting Corporation (BBC), fevereiro de 2017.

Em 7 de fevereiro de 2017 a represa mais alta da América do Norte sofreu danos quando os fluxos de água extremos criaram um buraco maciço no vertedouro primário e, em seguida, uma erosão excessiva no vertedouro de emergência, a situação de rápido desenvolvimento provocou uma evacuação de emergência de cerca de 190 mil pessoas que vivem a jusante da barragem.

A experiência de Oroville mostrou que mesmo um evento de precipitação extrema moderada (um evento de sete dias que provavelmente ocorrerá aproximadamente uma vez a cada 2 anos ou mais) poderia levar a uma situação potencialmente perigosa devido às condições atípicas (FAVAHEDIFARD et al., 2017). A represa de Oroville é um sinal dos riscos que as barragens e diques envelhecidos enfrentam de eventos de composição em um clima em mudança. A infraestrutura existente precisa ser reavaliada, além disso mesmo que não tenha ocorrido o colapso do empreendimento antes mesmo e juntamente com ações estruturais empregadas a barragem a população foi evacuada de forma preventiva.

Considerando que a determinação do nível de segurança de uma barragem e da elaboração de planos de segurança e de ação emergencial não é uma tarefa trivial, torna-se um desafio estabelecer uma metodologia abrangente, que possa ser utilizada por gestores dos mais diferentes barramentos ao redor do mundo (AGUIAR, 2014).

2.2 LEI DE SEGURANÇA DE BARRAGENS – 12.334/2010

A Lei nº 12.334 criada no ano 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PAR), destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Esta Lei aplica-se a barragens

destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, que tenham altura do maciço maior ou igual a quinze metros, capacidade do reservatório maior ou igual a três milhões de metros cúbicos, que contenham resíduos perigosos e classificados com categoria de dano potencial médio ou alto.

Dentre seus objetivos vale destacar a observância de padrões de segurança de barragens no Brasil de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências, a regulamentação de ações de segurança em fases de planejamento, projeto, construção e operação e fomentar a cultura de segurança de barragem e gestão de risco.

2.2.1 Classificação por Categoria de Risco (CR) e Dano Potencial Associado (DPA)

A Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012, estabelece critérios de classificação por Categoria de Risco (CR) e por Dano Potencial Associado (DPA), com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem. As barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando em conta os seguintes critérios gerais:

I - Características técnicas;
II - Estado de conservação da barragem;
III - Plano de Segurança da Barragem.

A Lei nº 12.334/2010 define DPA como qualquer dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais.

A classificação por dano potencial associado à barragem em: alto, médio ou baixo, é feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem. Sendo assim, não há como avaliar a segurança de um barramento sem considerar também a ocupação existente na área de influência do mesmo. A segurança de um barramento deve ser considerada como uma ponderação entre seu grau de qualidade técnica construtiva e sua alternativa locacional (AGUIAR, 2014). De acordo

com a Resolução nº 143, os critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado na área afetada são:

I. Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
II. Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
III. Existência de infraestrutura ou serviços;
IV. Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
V. Existência de áreas protegidas definidas em legislação;
VI. Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e
VII. Volume.

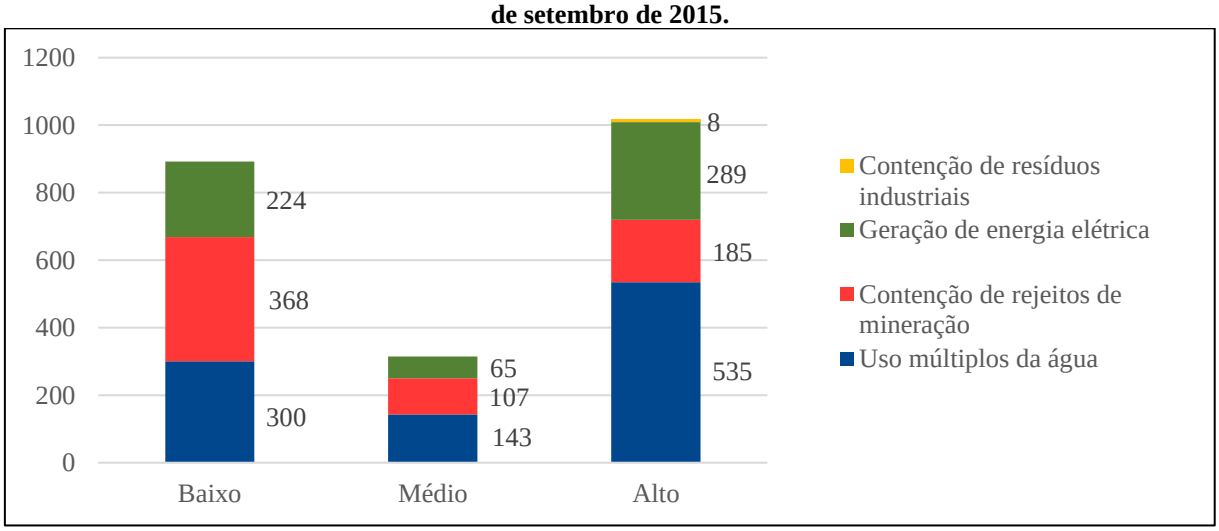
A Lei Federal nº 12.334/10 também define que toda barragem que se enquadre em sua classificação deverá possuir um Plano de Segurança da Barragem, o qual deve contemplar minimamente os seguintes itens:

I. Identificação do empreendedor;
II. Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
III. Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
IV. Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
V. Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
VI. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
VII. Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;
VIII. Relatórios das inspeções de segurança;
IX. Revisões periódicas de segurança.

Dados do Relatório de Segurança de Barragens (Gráfico 1) da Agência Nacional de Águas (2015), mostram a distribuição das barragens cadastradas por Dano Potencial Associado (DPA), segundo o uso principal da barragem. Foram classificadas com Dano Potencial

Associado alto 1.017 barragens, correspondendo a 46% do total de barragens classificadas; Dano Potencial Associado médio, 315 barragens, correspondendo a 14% do total de barragens classificadas; e com Dano Potencial Associado baixo, 892 barragens, correspondendo a 40% do total de barragens classificadas.

Gráfico 1 – Dano Potencial Associado (DPA) das barragens cadastradas, segundo o uso principal, em 30 de setembro de 2015.



Fonte: Relatório de Segurança de Barragens – ANA (2015).

Considerando somente as barragens com finalidade de gerar energia elétrica, cinquenta por cento das barragens cadastradas apresentam dano potencial alto, ou seja, precisam apresentar plano de ações de emergência e plano de contingência em caso de evacuação.

2.3 CARACTERÍTICAS DAS ÁREAS A JUSANTE

Não há como avaliar a segurança de um barramento sem considerar também a ocupação existente na área de influência do mesmo. A segurança de um barramento deve ser considerada como uma ponderação entre seu grau de qualidade técnica construtiva e sua alternativa locacional (AGUIAR, 2014).

Apesar dos esforços contínuos no projeto, construção, operação e manutenção de barragens para melhorar a segurança das barragens, a possibilidade de falhas ainda é possível. Vendo que as barragens são geralmente integradas a proximidade com comunidades, as falhas nas barragens podem resultar um risco significativo, perdas de bens materiais e vidas humanas.

As consequências dependem primeiramente do perigo oferecido pela cheia à pessoas e bens expostos a ela, o que depende de suas características hidrodinâmicas capazes de provocar

danos, das zonas (áreas), onde são mais destrutivas e da caracterização da ocupação nessas zonas (BALBI, 2016).

As consequências dependem de três fatores: grau de perigo, vulnerabilidade e exposição. Viseu (2006) conceitua esses fatores como sendo a porcentagem do valor exposto ao risco (indivíduos, bens materiais e ambientais) que pode ser efetivamente perdida, em função do perigo oferecido, da capacidade de resistência dos bens e pessoas e da resposta dos indivíduos e da sociedade nas zonas a jusante (BALBI, 2010).

No vale, dados os riscos a que está sujeito, pode-se reduzi-lo investindo na prevenção. Essa prevenção é feita, essencialmente, através da implementação de medidas não estruturais como o planejamento das ações de resposta, os sistemas de comunicação, alerta e aviso, treinamentos, e a preparação de mapas de zoneamento de risco para planejamento e ordenamento do uso e ocupação do solo.

Considerando a ocupação as margens dos rios, as autoridades de defesa civil, os membros da comunidade e os responsáveis pelo monitoramento da estrutura, devem se articular com o objetivo de desenvolver sistemas de proteção contra inundações. Esses sistemas se referem à previsão de cheias, estudo do impacto e da vulnerabilidade das áreas potencialmente atingidas, aos planos de contingência com procedimentos de alerta e aviso, evacuação e demais necessidades que a população pode ter durante um desastre (BALBI, 2010). Deve-se buscar sempre o melhor entendimento e conciliar custos e benefícios em alternativas viáveis para a segurança da barragem e do meio socioambiental ao longo do vale à jusante.

O estudo da situação da área, onde se pretende preparar um plano de emergência, permite caracterizar a ocupação do solo no vale a jusante da barragem, esse estudo permite definir as zonas que deverão ser priorizadas no desenvolvimento e implementação de planos de emergência, sistemas de aviso à população e a sua preparação tendo em vista as ações da defesa civil e auto salvamento. O primeiro objetivo dos agentes responsáveis pela defesa civil é o de evitar que vidas sejam perdidas. O número de vítimas resultantes da ruptura de uma barragem depende basicamente de quatro fatores (GRAHAM, 1999):

- O número de pessoas que residem na área de risco;
- O perigo ou severidade da cheia (profundidade, velocidade, permanência);
- O tempo de aviso às populações em risco; e
- A capacidade das pessoas de reagir a um alerta de ruptura.

O Plano de Evacuação de Emergência (PEE), é um projeto de grande responsabilidade com relação à identificação de vulnerabilidades e a informação obtida e deve ser complementada dos objetivos de salvar vidas. De acordo com Viseu (2006) a defesa civil deve proceder:

a) Uma estimativa do número de indivíduos em risco;
b) Uma caracterização socioeconômica da população e identificação (e contabilização do número) de indivíduos mais vulneráveis (por exemplo, idosos e deficientes);
c) Uma caracterização da ocupação do solo (calculando, em hectares, o valor da área de risco) e das atividades econômicas na zona de risco;
d) Uma estimativa do número de edificações fixas que se encontram no limite da área de inundação e que sofrem impacto da cheia induzida (com uma identificação das povoações e localidades);
e) Uma caracterização das edificações no que diz respeito à idade, ao número de pisos e ao material de construção e funções (se são de uso residencial, comercial, serviços públicos ou que cumprem alguma outra utilização especial);
f) Uma identificação das principais infraestruturas como pontes, viadutos, diques e barragens, estradas, redes de água e esgoto, redes de distribuição de energia elétrica, redes de telecomunicações, aterros sanitários etc.;
g) Uma identificação e contabilização dos pontos considerados como estratégicos ou mais vulneráveis no vale a jusante como: corpo de bombeiros, hospitais, centros de saúde, escolas, asilos, prisões, bibliotecas, áreas de lazer e esportes, centros culturais, teatros e cinemas, locais de culto religioso, cemitérios etc.;
h) Uma caracterização sociológica e cultural da população, no que diz respeito à percepção do risco e à resposta a um aviso de acidente.

2.3.1 Loss of Lies (Potencial de Perda de Vidas)

A água da inundação liberada quando por falha em uma barragem pode ser de uma força devastadora. Historicamente as falhas em barramentos causaram muitas perdas de vidas e elevados prejuízos econômicos. A população em risco é definida como o número de pessoas que ocupam a área de abrangência de inundação da barragem antes da emissão de qualquer aviso (FERC, 2014).

A probabilidade de perda de vidas é um fator importante usado em sistemas de classificação de potencial de perigo e planejamento de ação de emergência. Provavelmente, a perda de vida é muitas vezes determinada com base em quantas estruturas habitáveis e estradas que estão localizadas na área que seria inundado como resultado de uma violação da barragem.

Os sistemas de classificação de potencial de perigo normalmente não tomam em consideração a perda improvável (transitória) de vidas, tal como a de um passageiro ou de um utilizador ocasional, não recreacional, da área a jusante (FEMA, 2004).

É importante que sejam adotadas abordagens consistentes para a estimação de consequências em todo o setor de segurança de barragens.

De acordo com o Engineering Guidelines Risk-Informed Decision Making da Federal Energy Regulatory Commission (FERC), os quatro fatores principais afetam a perda potencial de vida em situações de falha de barragens são:

a) O número de pessoas que ocupam a planície de inundação da barragem;
b) A quantidade de advertência fornecida em relação ao tempo necessário para mover para um local seguro;
c) A intensidade do fluxo ao qual as pessoas estão expostas;
d) O momento da falha da barragem (por exemplo, dia ou noite, verão ou inverno). O tempo pode afetar tanto o número de pessoas a jusante quanto a quantidade de tempo de aviso disponível.

Sem exceção, as falhas de barragens que causaram altas taxas de letalidade foram aquelas em que residências foram destruídas e avisos de falha de barragem não foram emitidos. Estimar quando os avisos de falha da barragem seriam iniciados é provavelmente a parte mais importante da estimativa da perda de vida que resultaria da falha da barragem.

De acordo com Engineering Guidelines Risk-Informed Decision Making (FERC, 2014), múltiplos níveis de complexidade são apresentados no Quadro 2 para cada um dos três fatores de consequência de segurança de vida: População em Risco (PAR), Previsão de perda de vida (PLL) e Tempo.

Quadro 2 - Múltiplos Níveis de Complexidade para fatores de consequência de segurança a vida.

	Nível de esforço	PAR	PLL	Tempo
Level 1 Risk Analysis	Low	Contagem de estruturas em fotografias aéreas, estimando residentes por estrutura usando dados gerais do Censo dos EUA	Assumindo que todos os residentes na área de inundação perecem devido a inundações.	Supondo que todas as estruturas estejam habitadas.
Level 2-4 Risk Analysis	Mediun	Usando métodos SIG com dados de blocos de censos e áreas de inundação Para estimar o PAR.	Utilizando métodos empíricos para estimar a perda de vida devido ao tempo de aviso e gravidade da inundação (DSO-99-06).	O modelo de fluxo 1D interpolou os resultados utilizados para o tempo e a velocidade da inundação. Mudanças sazonais na população considerada.
	High	Door-to-door Levantamento porta-a-porta de censo e elevação de estruturas.	Usando modelos de simulação para prever os movimentos dos moradores com base no tempo de aviso, modelos de tráfego, velocidade da onda de inundação, etc.	Resultados do modelo de fluxo 2D com grelha utilizados para cronometragem e velocidade da inundação.

Fonte: Engineering Guidelines Risk-Informed Decision Making - FERC (2014).

Os níveis de rigor fornecidos acima estão em forma de matriz devido à capacidade de misturar e combinar entre os insumos. A finalidade primordial atrás de refinar uma análise de segurança de vida é reduzir a incerteza na estimativa de perda de vida. O nível de incerteza depende em grande parte da distribuição da população na área inundada pela falha da barragem. Dois exemplos extremos são:

a) Um pequeno número de casas impactadas são residências ao longo de todo o ano, todas bem dentro da área de inundação e sujeitas a aumentos muito altos de profundidade e velocidade, o nível de esforço seria “low”, já que a população é pequena de dentro de uma área conhecida e homogênea.

b) O caso oposto seria uma área de inundação de falha de barragem que afeta uma grande população urbana em uma planície de inundação ampla e plana. Haveria uma grande mistura de tipos de estrutura, que poderiam resistir a danos e fornecer abrigo em uma ampla gama de intensidades de inundação, ocasionando um nível de esforço “high”. A população teria que ser estimada com precisão, por estrutura, devido ao número de estruturas de grande altura, hospitais, escolas e outras grandes concentrações populacionais que não podem ser obtidas a partir dos dados do censo.

Tempo para a evacuação parcial e fatores como mobilização e congestionamento de tráfego poderia afetar muito os números. Entre os dois extremos estão muitas outras combinações de análises. Cada um deles deve ser avaliado caso a caso, dependendo da área a jusante.

2.3.2 Planejamento de Mitigação de Perigos

A Mitigação é o esforço proativo para reduzir a perda de vidas e propriedades, diminuindo o efeito de desastres. Isto é conseguido através da identificação de perigos potenciais e dos riscos que eles representam numa determinada área, identificando alternativas de mitigação para reduzir o risco e análise de risco de alternativas de mitigação. O resultado é a seleção de medidas proativas, tanto estruturais quanto não estruturais, que reduzirão perdas econômicas e potenciais perdas de vida quando implementadas.

No caso de falhas e incidentes de barragens, o planejamento da mitigação de riscos envolve a identificação da população em risco e a identificação de ações para reduzir sua vulnerabilidade. As ações podem incluir a criação de um sistema para fornecer aviso avançado de enchentes e realocar infraestrutura crítica e instalações fora da zona de inundação.

Os planejadores de mitigação de perigos precisam de dados digitais que definem o risco de violação de barragens. As informações necessárias incluem o limite da zona de inundação da brecha, a profundidade da inundação, a velocidade e o tempo.

2.4 PLANO DE AÇÕES EMERGENCIAIS - PAE

Os residentes de áreas que podem ser afetadas por uma falha de barragem ou um incidente operacional correm o risco de perda de vidas, feridos e danos à propriedade devido a uma falha ou a um incidente operacional (FEMA, 2013).

O PAE identifica as ações que o proprietário da barragem em coordenação com as autoridades de gestão de emergência, deve tomar para responder a incidentes ou emergências relacionadas à barragem. Ele apresenta procedimentos e informações para auxiliar o proprietário a emitir mensagens de alerta e notificação antecipadas às autoridades responsáveis do gerenciamento de emergência a jusante.

Para a Lei nº 12.334/2010 Art. 12 o PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

I - Identificação e análise das possíveis situações de emergência;

II - Procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;

III - Procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;

IV - Estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

2.4.1 Resposta de Emergência

No caso de falhas e incidentes de barragens, essa seria a resposta do proprietário da barragem, do gerenciamento de emergência da comunidade local e dos primeiros socorristas, como departamentos de bombeiros e de polícia, para minimizar as consequências de uma falha ou incidente iminente ou real da barragem.

As ações podem incluir alertas e evacuação da população em risco. O planejamento e a implementação de evacuações geralmente são da responsabilidade de autoridades estaduais ou locais de gerenciamento de emergências. É importante que os proprietários de barragens coordenem com as autoridades de gestão de emergência apropriadas e forneçam informações obtidas através de estudos de inundação de barragens para auxiliar o processo de planejamento de evacuação.

Devido aos curtos tempos de advertência normalmente encontrados com falhas e incidentes de barragens, os planos de evacuação de emergência da barragem devem ser desenvolvidos antes da ocorrência de um incidente. A Federal Emergency Management Agency (FEMA) recomenda que os planos se baseiem no pior cenário e abordem os seguintes elementos, incluindo a identificação das funções e responsabilidades de todos os itens de ação:

- Identificação de instalações críticas;
- Iniciar sistemas de alerta de emergência (quem é responsável e qual é o método);
- Procedimentos específicos de evacuação, incluindo considerações sobre o tempo de viagem das ondas de enchente (por exemplo, evacuação de populações com necessidades especiais e ordens de evacuação de elevação);
- Distância e rotas para o terreno elevado;
- Medidas de controle de tráfego e rotas de trânsito;

- Efeito potencial das condições meteorológicas ou das libertações das barragens nas rotas de evacuação (por exemplo, identificar se as partes da rota de evacuação podem ser inundadas antes que ocorra o incidente da barragem);
- Evacuação vertical / abrigo no local;
- Transporte de emergência;
- Medidas de segurança no perímetro da barragem e nas zonas afetadas;
- Reentrada em áreas afetadas.

Embora o PAE não precise incluir o plano de evacuação real, ele deve indicar quem é responsável pela evacuação e qual o plano a ser seguido. Além disso, mapas de inundação desenvolvidos pelo proprietário da barragem devem ser incluídos no PAE e compartilhados com autoridades de gerenciamento de emergência. Esses mapas podem ajudar no desenvolvimento dos planos de alerta e evacuação. Finalmente, os proprietários de barragens devem incluir procedimentos no PAE para assegurar que as autoridades de gerenciamento de emergência recebam informações oportunas e precisas sobre as condições da barragem durante um incidente. Isso ajudará essas agências a tomar as decisões apropriadas em relação às evacuações.

2.5 PLANO DE EVACUAÇÃO DE EMERGÊNCIA-PEE

Eventos ou desastres extremos, sejam naturais ou feitos pelo homem, muitas vezes levam a situações de emergência que requerem ação imediata e contra o tempo (CHIU et al., 2007). Esses eventos críticos afetam as áreas povoadas, induzindo uma situação imediata ou fatal que desencadeia uma resposta de emergência.

Em muitos casos, a evacuação é a resposta comum à mitigação do risco, que exige mobilização imediata, principalmente a coordenação eficiente, a utilização da capacidade espacial e a disponibilidade de recursos de resposta de emergência (ALSNIH; STOPHER, 2004). Assim, pode-se concluir que uma evacuação de emergência é a opção mais prática para a sobrevivência humana, o que é primordial na mitigação de riscos (MOHD, 2014).

A evacuação é uma estratégia comum para lidar com situações de emergência, sendo um processo no qual as pessoas ameaçadas são deslocadas de lugares perigosos para lugares mais seguros, a fim de reduzir a vulnerabilidade da saúde e da vida das pessoas afetadas.

Durante a resposta a um desastre, a evacuação deve ser realizada com precisão e de forma rápida para atender toda a população em risco.

2.5.1 Plano de Evacuação em Rompimento de Barragens

As consequências do rompimento de qualquer barragem devem ser analisadas com o objetivo de determinar regras operacionais de reservatórios, planos de evacuação da população e critérios para a ocupação das áreas que podem ser atingidas. (COLLISHONN; TUCCI, 1997).

Na eventualidade de uma inundação por ruptura de barragem, a evacuação é considerada como a solução preliminar para a mitigação do desastre e necessita geralmente ser executada de uma maneira rápida, contudo em ordem (ZHANG et al., 2016). A fim de ter uma boa resposta a tal situação de emergência, é necessário preparar um plano de evacuação viável.

Uma série de problemas surgiram ao tomar decisões sobre a evacuação das pessoas a jusante de um barramento. Qual foi a probabilidade da condenação da área afetada? Quando a barragem falharia? Quão grande seria a taxa de vazão de saída máxima? Quantas pessoas devem ser evacuadas? Quando seria o momento adequado para evacuar a população em risco? Uma decisão tardia poderia levar à perda de vidas e propriedades, enquanto uma evacuação muito precoce incorreria em despesas desnecessárias (PENG; ZHANG, 2013).

Um plano de evacuação de emergência (PEE) é uma medida não estrutural que define as ações da população e autoridades em um momento de emergência. O objetivo de um Plano de evacuação é definir políticas ótimas para a evacuação da população de áreas sob risco e incertezas (STEPANOV; SMITH, 2009).

De acordo com a FEMA (2015) algumas considerações são importantes para o Plano de Evacuação para falhas em barramentos:

a) Planejamento de Mitigação de Perigos:

Mitigação é o esforço proativo para reduzir a perda de vidas e propriedades, diminuindo o efeito de desastres. Isto é conseguido através da identificação de perigos potenciais e dos riscos que eles representam numa determinada área, identificando alternativas de mitigação para reduzir o risco e análise de risco de alternativas de mitigação. O resultado é a seleção de medidas proativas, tanto estruturais quanto não estruturais, que reduzirão perdas econômicas e potenciais perdas de vida quando implementadas. Os mapas de inundação podem fornecer aos planejadores de mitigação de riscos informações sobre população e estruturas em

risco; Tais informações podem então ser usadas para identificar ações para reduzir sua vulnerabilidade. As ações podem incluir a criação de um sistema para fornecer aviso avançado de enchentes e realocar infraestrutura crítica e instalações fora da zona de inundação.

b) Avaliação da consequência da falha da barragem:

A avaliação da consequência da violação da represa inclui identificar e quantificar as consequências potenciais de uma falha ou de um incidente da barragem. Embora o planejamento de mitigação de riscos se concentre em projetos específicos para reduzir o risco de inundação, a avaliação de consequências foca os impactos econômicos e sociais de um desastre potencial e as ações organizacionais e governamentais necessárias após uma ruptura para responder e recuperar. Os dados compilados para uma avaliação de consequências também podem ser utilizados nas avaliações de risco. Tanto a avaliação das consequências quanto a avaliação de risco requerem o tipo de informação captada nos mapas de inundação de brechas de barragens.

De acordo com Lindell; Perry (2004) de maneira geral a eficiência de uma evacuação depende em grande parte da resposta do público de evacuação. A resposta às condições de emergência depende de vários fatores. A forma como esses fatores são considerados e abordados tem efeito direto sobre a demanda de viagem, impactando assim as características das operações de evacuação. Os seguintes fatores influenciam a resposta pública às situações de emergência:

- Percepção pessoal de risco;
- Experiência anterior em situações de emergência;
- Origem e tipo de informação;
- Ação da autoridade local;
- Localização domiciliar e características estruturais;
- Género e idade;
- Presença de crianças ou deficiência na casa;
- Ameaças específicas de emergência;
- Hora do dia;
- Prestação de assistência de transporte de evacuação;
- Desenvolvimento e divulgação de planos de gerenciamento de tráfego.

Os métodos de simulação tentam modelar fluxos de inundação, comportamento humano, padrões de tráfego, refúgios e tempos de alerta para prever o quão eficaz seria uma evacuação para tirar as pessoas do perigo (FERC, 2014).

2.6 ZONEAMENTO

Compreender a atividade e as características da multidão durante as evacuações de emergência conduzem a um melhor planejamento e gerenciamento de evacuação (RADIANTI et al., 2013). Devido à natureza do desastre, áreas precisam ser evacuadas podendo ser parte de uma área povoada como a área de influência da inundação ou a área povoada como um todo.

Quando se comunica com o público sobre quem precisa evacuar, muitas vezes é útil dividir a área de estudo em zonas gerenciáveis. O uso de códigos postais ou fronteiras ou pontos de referência facilmente identificáveis facilita a identificação de casas ameaçadas, em comparação com mapas de risco que normalmente apresentam informações somente de contorno topográfico (ARLIKATTI et al., 2006; ZHANG et al., 2004).

Mesmo quando a evacuação abrange parte de uma população, alguns códigos postais podem ser geograficamente grandes demais para ter um nível de perigo e distribuição geográfica uniforme, isso leva ao uso de pontos de referência como rios, ferrovias, rodovias e estradas principais para dividir os CEP’s em setores menores, conhecidos como zonas.

Para Moreland et al. (2013) grupos de grandes dimensões como uma cidade e devido à dificuldade de coordenação, conflitos e nível de conformidade, identificar a coesão adequada do grupo (por exemplo: tamanho) durante um processo de evacuação é importante para planejar de forma eficaz e eficiente e para administrar a evacuação de emergência.

Já para Schokkin (2007) em sua pesquisa sobre Avaliação de Estratégias de Evacuação de Emergência, o autor afirma que para se produzir um modelo gerenciável de evacuação, a área de pesquisa precisa ser dividida em diferentes zonas com o objetivo de fazer uma distinção entre os aspectos socioeconômicos.

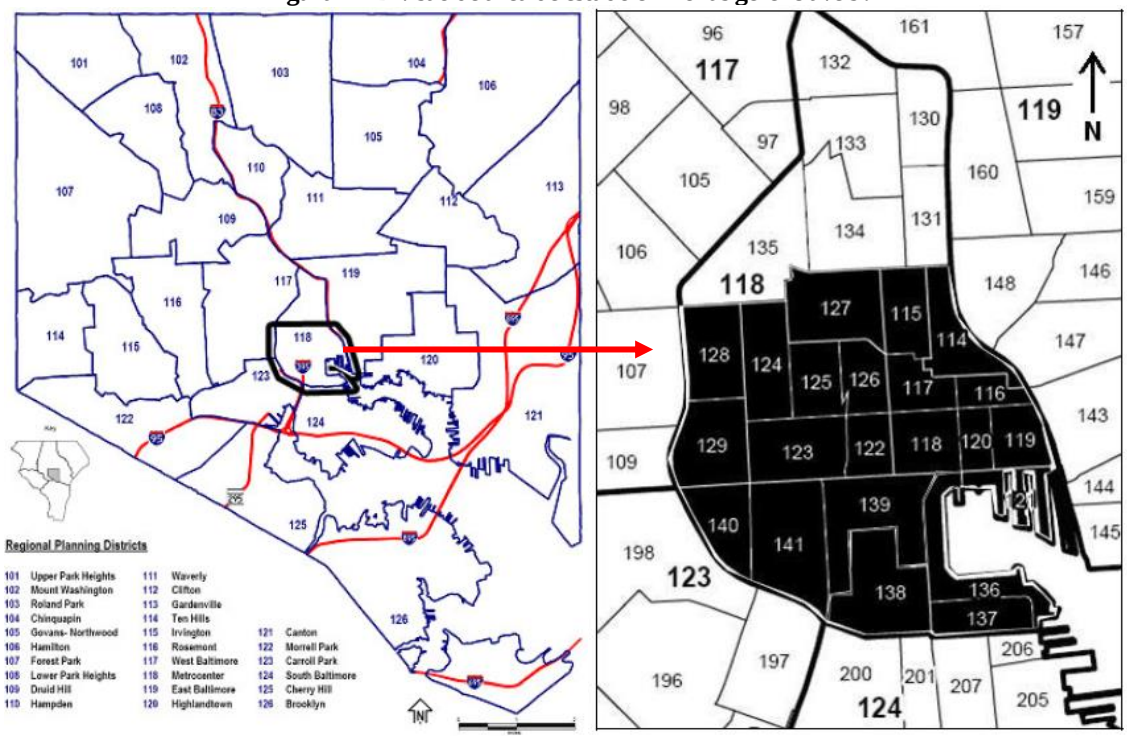
Ainda segundo Schokkin (2007) existem alguns fatores de influência para a produção de uma zona, são estes:

- Características socioeconômicas como renda, composição e propriedade do carro;
- Características demográficas como uso da terra, nível de urbanização;
- Emprego;

- Características demográficas, como indústria, educação, varejo, serviços e recreação;
- Acessibilidade

A Figura 4 mostra área de estudo e divisão das zonas proposta por Schokkin (2007) em caso de um desastre químico para uma área urbana de Baltimore (Maryland, USA).

Figura 4 – Divisão de área de estudo em zonas gerenciáveis .



Fonte: Schokkin (2007).

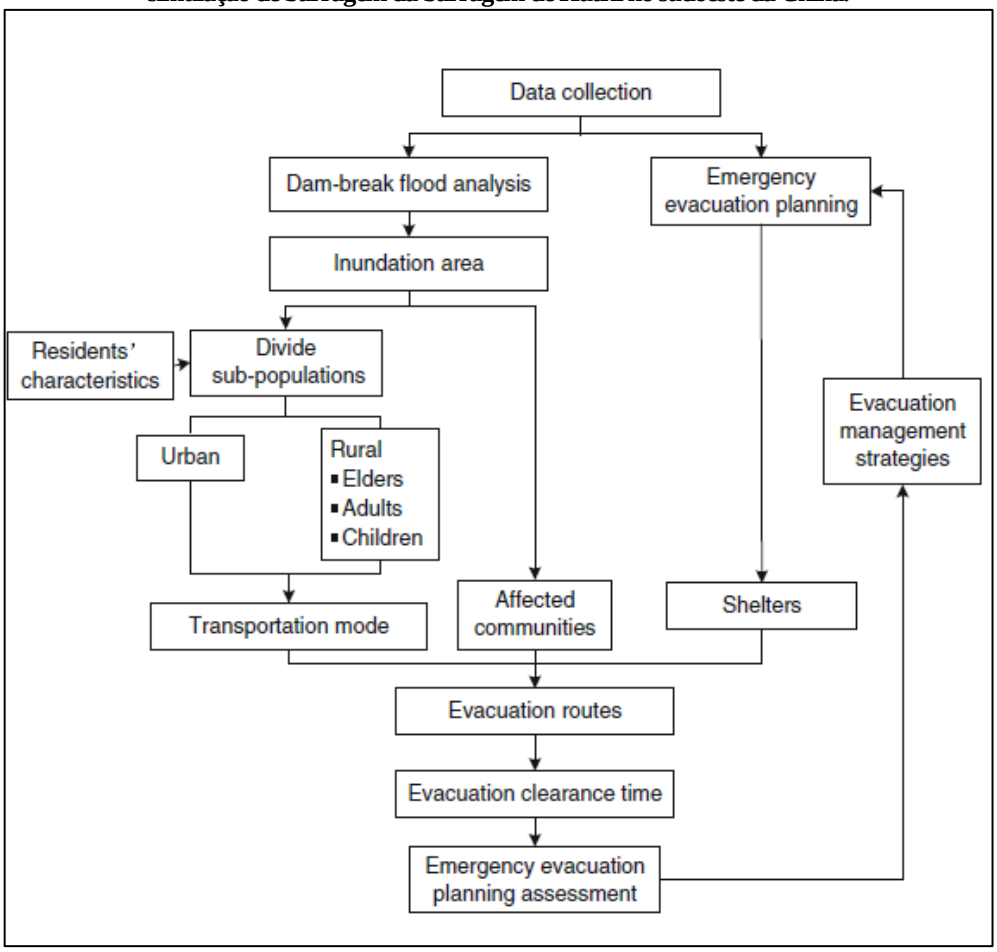
A Figura 4 exemplifica que mesmo quando não se ocorre evacuação total da população de uma cidade (coloração preta), em caso de áreas muito grande e complexas é necessário a divisão em zonas para a melhor gestão de evacuação.

Wilmot; Meduri (2005) recomendavam que as zonas de evacuação se relacionassem com a área de abrangência das inundações, análise de trânsito e características facilmente identificáveis (por exemplo, características naturais, estradas principais).

Cheng et al. (2011) em seu estudo sobre a estimativa do tempo de liberação de evacuação com base na simulação da barragem de Huaxi no sudoeste da China definiu a divisão da área de influência da inundação em zonas de acordo com a população urbana e população rural como visto na Figura 5, o fator determinante para os autores estabelecerem essa divisão foram os meios de transportes comuns entre as populações, ou seja, para a população urbana

era comum o uso de veículos automotores, já para a população rural veículos automotores são escassos limitando-se o uso a carroças e a movimentos a pé.

Figura 5 - Fluxograma de pesquisa para o estudo sobre a estimativa do tempo de liberação de evacuação com base na simulação de barragem da barragem de Huaxi no sudoeste da China.



Fonte: Cheng et al. (2011).

Levando em consideração vários estudos e propostas de zoneamento, conclui-se que não existe uma fórmula ou proposta mais adequada, o número e o tamanho das zonas podem variar de acordo com o tipo de evento de desastre, com a área de abrangências, com a distribuição viária, condições socioeconômicas, entre outros fatores. O que vai definir como melhor realizar o zoneamento é a caracterização da área de estudo a ser evacuada, através dessa caracterização que pode ser indicada melhor ou mais adequada forma de divisão da área de estudo.

2.7 REDE RODOVIÁRIA

Em uma evacuação de uma grande área metropolitana, um grande número de pessoas deve ser transferido para áreas de salvamento, de forma segura e atempada (NAGHAWI; WOLSHON, 2012).

A rede rodoviária é o conjunto total de características que determinam a capacidade de rede disponível. O processo de seleção de rota é encontrar as rotas de evacuação ótimas de zonas de risco para abrigos em toda a rede rodoviária, geralmente considerando a "distância pura", "distância econômica" e "tempo" (CHEN; YAN, 1997).

A estratégia de evacuação mais adequada é descrita como a estratégia que permite o menor tempo de evacuação da população total, ou uma porcentagem definida, na área de evacuação. Muitas vezes, a minimização da quantidade total de quilômetros percorridos também é exigida, pois isso aumenta os riscos de acidentes que causam um aumento considerável no tempo de viagem (SCHOKKIN, 2007).

Durante a ocorrência de um desastre as pessoas em geral entram em pânico. Eles competem pelas rotas de saída sem considerar outras. Portanto, a rede rodoviária pode não ser eficientemente utilizada. Assim, um plano de evacuação bem estabelecido pode desempenhar um papel importante no controle e maximização da utilização da rede.

É necessário rotear o tráfego em rotas pré-determinadas para um uso mais eficiente da infraestrutura disponível durante a evacuação. As evacuações em massa de áreas urbanizadas podem gerar uma demanda de tráfego significativamente superior às condições diárias de viagem rotineiras. Dependendo da natureza do perigo e das características da população dentro da área de ameaça, as condições de demanda elevadas podem durar vários dias e podem impactar milhares de quilômetros de estradas (NAGHAWI; WOLSHON, 2012).

De acordo com Russo (2004) o tráfego de evacuação é resultado da interação entre a demanda de tráfego de evacuação e o fornecimento de oferta viária, um plano de evacuação (estratégia de evacuação) tenta mudar essas variáveis com um conjunto de medidas para controlar completamente os horários de partida, os destinos e as rotas dos evacuados.

Medidas de eficiência de evacuação desenvolvidas de acordo com Yuan et al. (2006) indicam que as rotas que saem de uma área de evacuação são muitas vezes limitadas em número e capacidade insuficiente para lidar com o aumento incomum da demanda devido a atividades de evacuação simultâneas. Na maioria dos casos, a construção de novas rotas e o aumento da capacidade rodoviária são simplesmente proibidos de serem considerados. Portanto, é essencial melhorar ou otimizar o planejamento e os aspectos operacionais do processo de evacuação, a fim de melhor utilizar a rede de transporte existente e a capacidade de estradas disponível (SCHOKKIN, 2007).

Entre os inúmeros papéis do transporte está o planejamento de ativos e infraestrutura de transporte para responder a grandes emergências, incluindo o gerenciamento de rotas de evacuação e desvio; utilização de sistemas de trânsito em massa; movimento e distribuição de material de socorro; e a restauração de sistemas de transporte danificados. (TUITE; WOLSHON, 2013).

A análise pré-planejamento é a aplicação mais comum de modelos de evacuação para emergências. A informação fornecida é usada para identificar rotas de evacuação que minimizam o total tempo de evacuação (SCHOKKIN, 2007). A mesma informação também é usada para desenvolver estratégias para disseminar informações sobre a população em perigo em relação aos procedimentos de evacuação.

Para generalizar as rotas de evacuação determinadas e desenvolver otimizações, também é necessária uma pesquisa ampla e profunda (SCHOKKIN, 2007). A ampla pesquisa reunirá informações sobre o assunto de evacuação de emergência e modelos de software de simulação de trânsito relacionados.

O roteamento será uma questão importante em um plano de evacuação. A principal preocupação é evitar distúrbios desnecessários e, ao mesmo tempo, usar melhor as capacidades da rede. O desafio é usar os recursos limitados das autoridades e a autonomia dos melhores condutores individuais.

De acordo com Schokkin (2007), para abordagens mais viáveis e práticas, é necessário um controle decrescente sobre o destino e o processo de escolha de rotas pelas autoridades para indivíduos (por exemplo, refletido em diferentes estratégias de evacuação), considerando a otimização das rotas.

Na modelagem de evacuação de emergência, é importante escolher os detalhes da rede rodoviária desejada. Em geral, a eficiência de evacuação pode ser melhorada ao otimizar o destino e as atribuições de rotas na rede em relação ao horizonte temporal de evacuação ou reduzindo o atraso em rotas de evacuação individuais através de controle de tráfego efetivo.

2.7.1 Interseções

A maior parte dos atrasos de trânsito durante uma evacuação ocorrem nos cruzamentos (SOUTHWORTH, 1991; COVA E JHNOSON, 2002). As interseções viárias são pontos nevrálgicos de funcionamento de uma rede viária de transporte, pois é onde ocorre maior perda de tempo e ocorre grande parte dos acidentes de trânsito. (COSTA, 2010).

Define-se interseção como a presença de duas ou mais vias se unem ou se cruzam, abrangendo todo o espaço destinado a facilitar os movimentos dos veículos que por ela circulam, são nas interseções que ocorrem movimentos de divergência, convergência e cruzamentos, gerando assim pontos conflitantes.

As interseções constituem elementos de descontinuidade em qualquer rede viária e representam situações críticas que devem ser tratadas de forma especial. No Brasil, o responsável pela definição e especificações de implementação de intercessões é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) através do Manual de Projeto de Intercessões (2005), sendo exposto a seguir as definições do manual quanto aos movimentos e conflitos presentes nas interseções.

a) Movimentos

Fundamentalmente as correntes de tráfego são constituídas por conjuntos de veículos que circulam por uma mesma pista ou faixa de tráfego e no mesmo sentido. Essa circulação é afetada por uma série de fatores, tais como: frequência de interseções, número e largura das faixas, distâncias de visibilidade, comprimentos e declividades de rampas, sinalização, iluminação etc.

Particularmente, nos pontos de interseção, o comportamento da corrente de tráfego dependerá de sua composição, volume, velocidade e tipo de interseção adotado. Este último é responsável pela natureza dos movimentos que se dão entre veículos de cada corrente, os quais se classificam em:

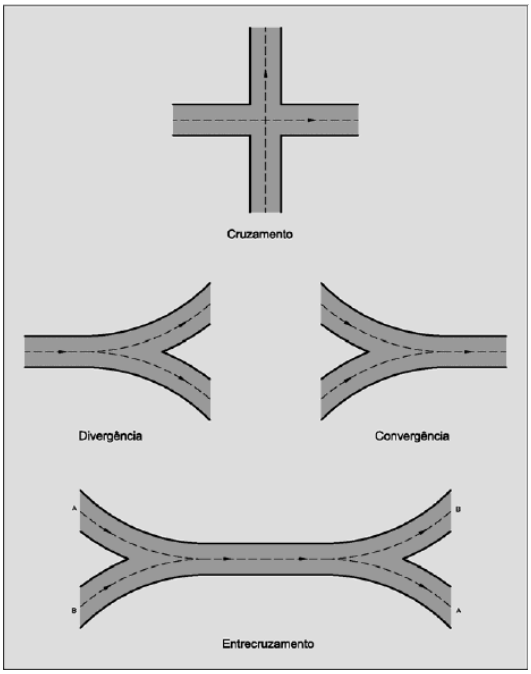
- Movimentos de cruzamento: quando a trajetória dos veículos de uma corrente corta a trajetória dos veículos de outra corrente. Tal movimento requer que os veículos de uma corrente passem pelos intervalos que surgem na outra ou que uma delas se interrompa momentaneamente.
- Movimentos convergentes (incorporações): quando as trajetórias dos veículos de duas ou mais correntes se juntam para formar uma única. Para a execução desse movimento é preciso regular o direito de passagem dos veículos que convergem, ou então, que os veículos de uma corrente esperem que ocorram intervalos adequados na outra para nela se inscreverem.
- Movimentos divergentes: quando os veículos de uma corrente de tráfego se separam e formam trajetórias independentes. É um movimento simples quando os veículos que

divergem são livres para efetuar essa manobra, não tendo que aguardar oportunidade adequada (brechas em corrente oposta) ou reduzir significativamente suas velocidades (trajetórias de saída com raios pequenos, faixas de trânsito acanhadas ou com pavimento de baixa qualidade).

- Movimentos de entrecruzamento (entrelaçamento): quando a trajetória dos veículos de duas ou mais correntes independentes se combinam, formam uma corrente única e depois se separam. O trecho onde se verifica este movimento é denominado *trecho de entrecruzamento*.

A Figura 6 mostra os tipos básicos de movimentos em interseções anteriormente descritos.

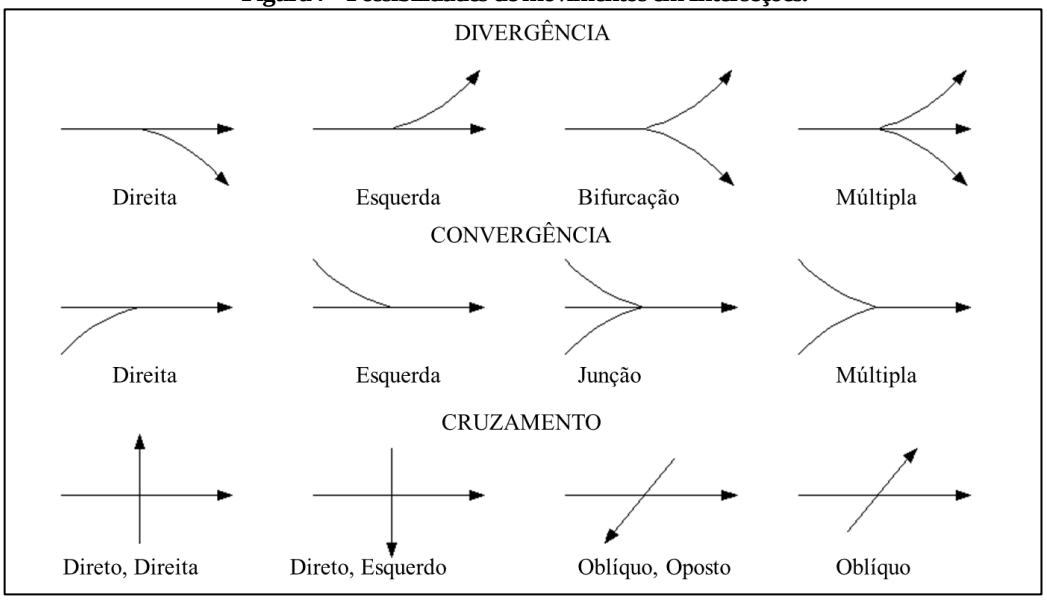
Figura 6 - Tipos básicos de movimentos.



Fonte: Manual de Projeto de Interseções – (DNIT) 2005.

A Figura 7 descreve as possibilidades de movimentos (manobras) presentes nas interseções, são a partir da possibilidade de passagem e conversões que são definidos a quantidades de conflitos existentes em cada interseção.

Figura 7 - Possibilidades de movimentos em Interseções.



Fonte: Adaptado do Manual de Projeto de Interseções – DNIT (2005).

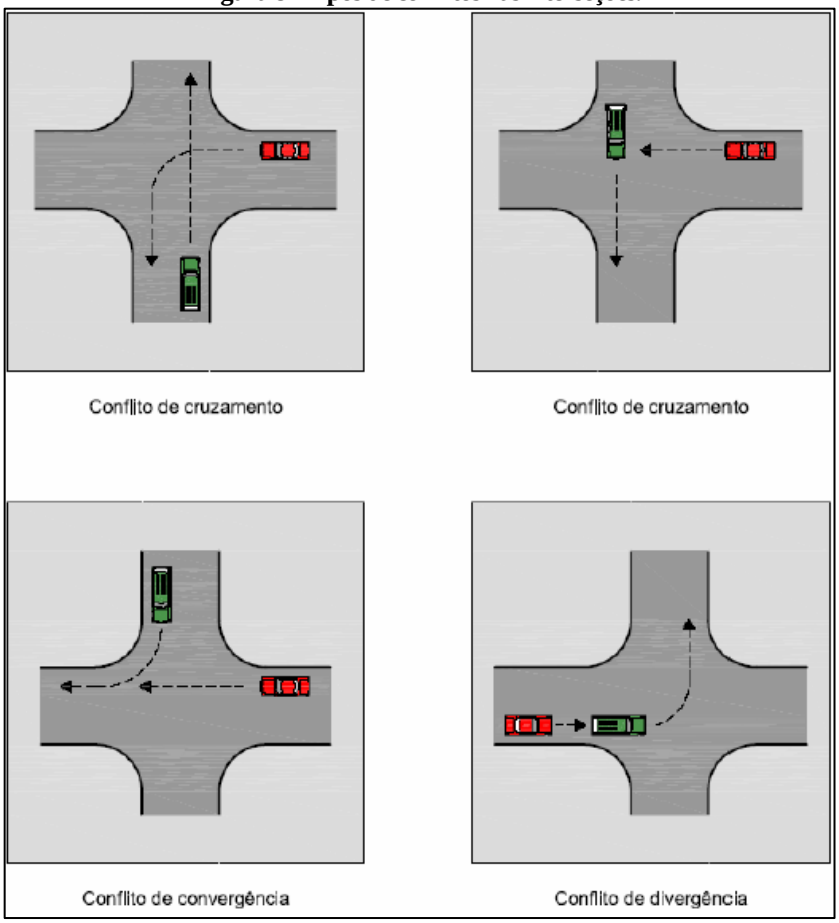
b) Conflitos

Pontos de conflito são os locais em que ocorrem os movimentos de cruzamento, convergência e divergência descritos no item anterior.

O movimento de entrecruzamento inicia com um conflito de convergência e termina com um de divergência. Os tipos de conflito que se desenvolvem nas interseções estão relacionados a seguir e ilustrados na Figura 8.

- Conflito de cruzamento
- Conflito de convergência
- Conflito de divergência

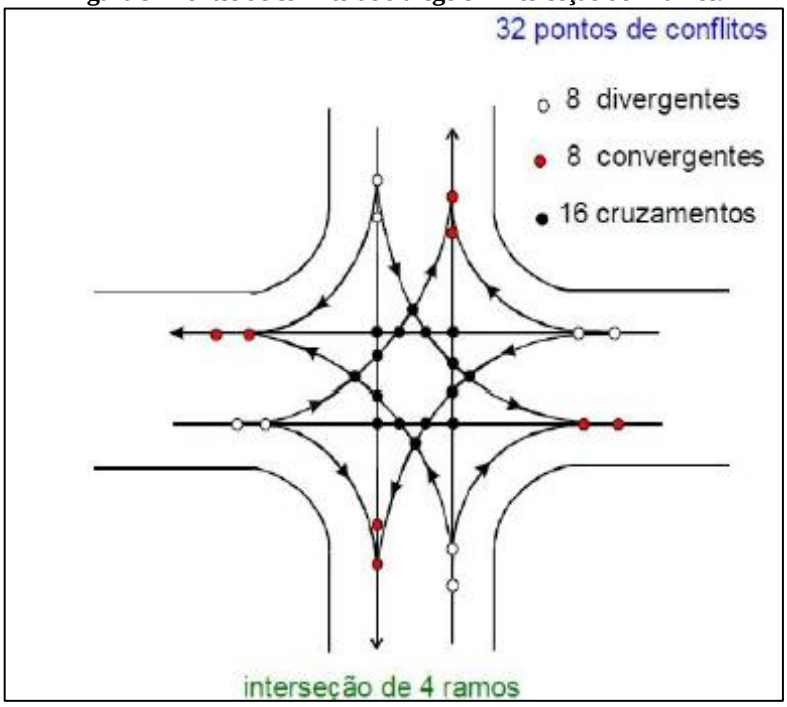
Figura 8 - Tipos de conflitos nas interseções.



Fonte: Manual de Projeto de Interseções – DNIT, 2005.

Os conflitos afetam a operação do tráfego, pois causam reduções nas velocidades dos veículos e interferindo na capacidade e segurança da interseção e de sua área de influência, a Figura 9 mostra o número de conflitos existente em uma interseção de quatro ramos.

Figura 9 - Pontos de conflito de tráfego em interseção de 4 ramos.



Fonte: Costa, 2010

Na figura todas as vias apresentam possibilidade de movimentos em todos os sentidos, apresentando assim a pior condição de segurança, perda de tempo em uma interseção totalizando trinta e dois possíveis conflitos, a quantidade de conflitos é definida pela quantidade de vias que se cruzam e pelos movimentos de convergência, divergência e cruzamentos existentes.

2.8 OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO

A modelagem de evacuação é essencial para que as autoridades responsáveis pelo gerenciamento de emergência desenvolvam e aprimorem a capacidade de análise para apoiar o planejamento e operações de evacuação (COVA; JOHNSON, 2002; HARDY, 2010). Um plano bem definido e gerenciável é o pré-requisito para a implementação bem-sucedida de uma evacuação urbana ou regional em grande escala (XIE et al., 2010).

Modelos de evacuação de emergência vem ganhando espaço e sendo amplamente estudados, podendo ser divididos em duas categorias: a modelagem dinâmica baseada em simulação e a otimização baseado em modelos de seleção de rotas.

A modelagem dinâmica baseada em simulação, pode ser utilizada como uma ferramenta de planejamento e avaliação de processos de evacuação dinâmica (XIE et al., 2010), com desenvolvimento de diversos pacotes de softwares específicos para simulação dinâmica

em áreas urbanas, como: NETVAC (SHEFFI et al., 1982), OREMS (HAN; YUAN, 2006; LI et al., 2006), IMDAS (FRANZESE; HAN, 2001), CORSIM (WILLIANS et al., 2007).

Modelos dinâmicos visam descobrir fatores e parâmetros significativos que influenciam no processo de evacuação ou a avaliação de um plano de evacuação sob diferentes cenários, políticas e estratégias de evacuação. Muitos modelos de simulação foram desenvolvidos (QU et al., 2014; YUAN; TAN, 2007; LIU; LIM, 2016).

Uma das vantagens da aplicação de simulação para o planejamento de evacuação é a possível determinação das características comportamentais dos evacuados e a dinâmica do fluxo de tráfego pode ser capturada com fidelidade relativamente alta durante o processo de evacuação (XIE et al., 2010). Entretanto, sua aplicação se torna limitada devido principalmente porque a execução da simulação de evacuação em larga escala para área urbana se torna um processo moroso, necessita de recursos computacionais avançados e de alto desempenho, licenças de uso de softwares, com isso a simulação requer elevado custo de aplicação.

Os métodos orientados a otimização baseados em modelos de seleção de rotas, têm a capacidade de identificar soluções ideais de planejamento de forma sistemática e autônoma, ou seja, é tipicamente um modelo de um fluxo de rede ou forma funcional que pode ser usado diretamente para procurar soluções ideais de evacuação.

2.8.1 Otimização Baseados em Modelos de Seleção de Rotas

O recurso orientado à otimização por seleção de rotas leva a um modelo de planejamento de evacuação a ser escrito na programação matemática ou outras formas funcionais, cujo objetivo é definir como minimizar o tempo total de evacuação, minimizando a tempo de liberação da rede ou maximizando a taxa de transferência do tráfego da rede (XIE et al., 2010). A metodologia de seleção de rotas se configura de duas formas: uma é a inversão de faixas nas vias e outra é a minimização e/ou eliminação das interseções no trajeto de evacuação.

A inversão de faixas tem sido usada há várias décadas como uma técnica de controle de tráfego para acomodar a demanda de tráfego desequilibrado entre as duas direções de condução de uma seção de estrada congestionada (XIE et al., 2010). Em caso de evacuação de emergência a inversão de faixa tem o principal intuito de aumentar a capacidade de tráfego, durante o processo de evacuação a demanda de tráfego aumenta consideravelmente e a oferta da rede viária não suporta a mesma, sendo assim necessárias à implementação de medidas de aumento da capacidade da rede de tráfego. Limitada pela área urbana não é possível o aumento

da quantidade de vias, fazendo com que medidas aplicadas a vias existentes sejam a mais interessantes e possíveis de aplicação.

Outra estratégia do roteamento baseado em inversão de faixa é a redução dos atrasos devido a entrada nas interseções, com a restrição do fluxo em diferentes sentido, ou seja uma via de duplo sentido passa a ter somente um, força por exemplo os veículos a realizarem movimentos de entrada nas interseções de acordo com a mão definida na inversão de faixa, ou seja por exemplo, na faixa da direita de uma aproximação de interseção força o veículo entrar à direita, enquanto exige que os veículos na faixa da esquerda continuem em linha reta, tornando o fluxo ininterrupto.

Em estudo de revisão dos procedimentos associados aos planos de evacuação de emergência, Alsnih; Stopher (2004) indicam quatro variações para o uso de contra fluxo (reversão de faixa) descritos a seguir.

a) Todas as faixas invertidas, as mais utilizadas, porque resulta no maior aumento de capacidade;
b) Uma faixa invertida e uma faixa normal para a entrada do veículo de emergência;
c) Uma faixa invertida e um tráfego normal de entrada de uma faixa; e
d) Uma faixa invertida com o uso do segmento de ombro da pista de saída.

Alsnih; Stopher (2004) ressaltam que antes que ocorra a reversão de faixa, as informações devem ser dispersas em toda a área afetada para permitir que as pessoas conheçam o fechamento de rotas e a mudança nas condições de trânsito.

Um dos pontos negativos desse tipo de otimização é que a mudança nas condições de tráfego pode aumentar significativamente os riscos de acidentes, pois as definições de inversão têm que estarem alinhadas ao conhecimento de mudança e/ou proibição por parte da população, outro fator negativo apontado por Alsnih; Stopher (2004) é a preocupação com o reencaminhamento do tráfego no final do segmento de estrada invertido, bem como o acesso limitado às rodovias, que pode ser a principal via de evacuação, a partir de pontos específicos da rede rodoviária.

Outra metodologia de seleção de rotas é a minimização e/ou eliminação das interseções no trajeto de evacuação. Cova; Johnson (2002) foram pioneiros na estratégia de roteamento baseado em eliminação de cruzamentos para evacuação de emergência, o método proposto baseia-se num modelo de rede baseada em faixa, ou seja, é a transformação de interseções críticas em instalações de fluxo ininterrupto, proibindo alguns movimentos de rotação, como

proibição de entradas de pista e limitação de direções de fluxo, com o estabelecimento de sentido único nas intercessões evita conflitos e menores paradas. O modelo de rede baseado em controle de interseções, tem como vantagem a redução de conflitos, tempo de viagem e menores índices de acidentes com as interseções limitadas em sentido único, ou seja, não se pode fazer outra conversão que não seja a que se interliga a saída principal da área de risco.

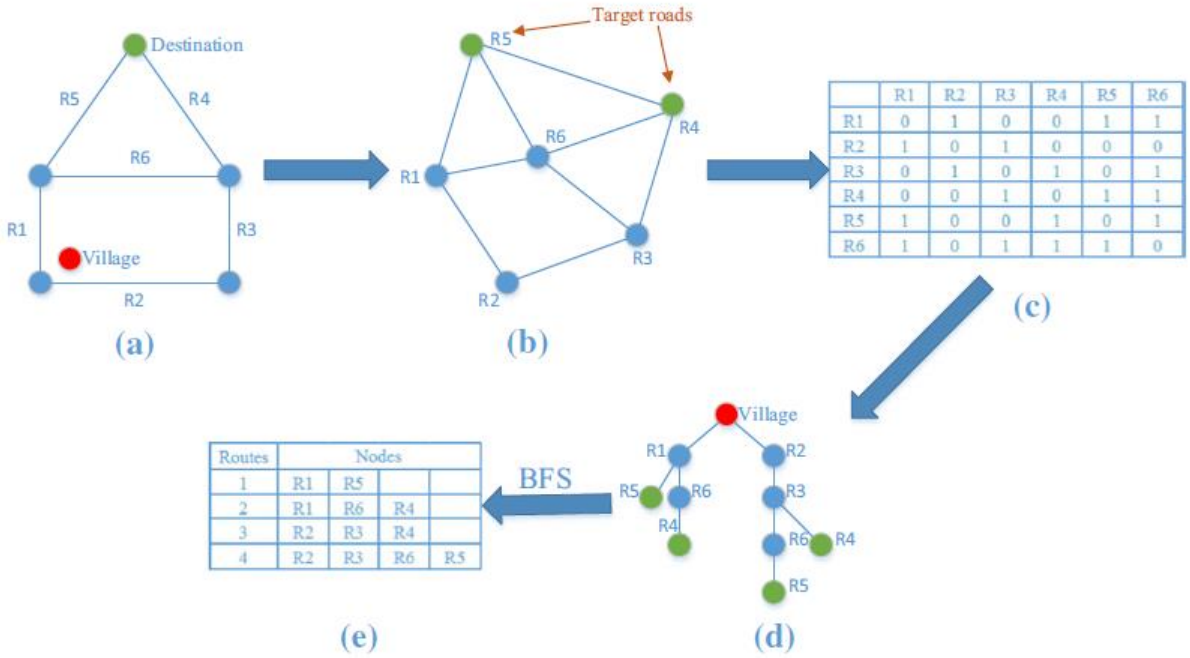
De acordo com Xie et al., 2010, a importância de implementar a estratégia de eliminação de cruzamentos para evacuações surge de duas considerações práticas. Em primeiro lugar os autores salientam que ocorre um aumento significativo na capacidade de tráfego de saída atravessando cruzamentos para atender melhor demanda de tráfego, anormalmente alta sob condições de emergência. Em segundo lugar, canaliza o fluxo de tráfego ao longo de certas rotas e melhora segurança no trânsito quando a população dirigida enfrenta o caos e o pânico causados pela a evacuação em massa.

Fang et al., 2013, estabeleceu um modelo de otimização de rotas, através do controle de interseções, baseado na restrição de combinações em cruzamentos, ou seja, limitando certas conversões e permitindo somente as conversões estabelecida no plano de evacuação, da mesma forma como o modelo proposto por Cova; Johnson (2003), ocorre a redução do tempo de viagem e conflitos, mas não garante a redução da distância de viagem, pois não elimina a quantidade de cruzamentos durante o processo de evacuação, além disso o modelo proposto por Fang et al. (2013), foi baseado na evacuação de um estádio presente em área urbana, não tem indicativo assim, de como se comportaria esse modelo para evacuação de toda a população de uma cidade.

Zhang et al. (2016) apresentou uma metodologia de evacuação de emergência sob condições de inundação. Entre os quais estabelece o planejamento do caminho de evacuação é acoplado com a simulação de inundação, extraindo o impacto da evolução da inundação na rede rodoviária.

Para o planejamento do caminho de evacuação Zhang et al. (2016) propôs a determinação de rotas de evacuação originais, se trata de uma tabela contendo todas as possíveis vias de evacuação sem considerar a influência das inundações. Para geração da tabela foram adotadas algumas etapas, apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação originais.



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	0	1	0	0	1	1
R2	1	0	1	0	0	0
R3	0	1	0	1	0	1
R4	0	0	1	0	1	1
R5	1	0	0	1	0	1
R6	1	0	1	1	1	0

Routes	Nodes			
1	R1	R5		
2	R1	R6	R4	
3	R2	R3	R4	
4	R2	R3	R6	R5

Fonte: Zhang et al. (2016).

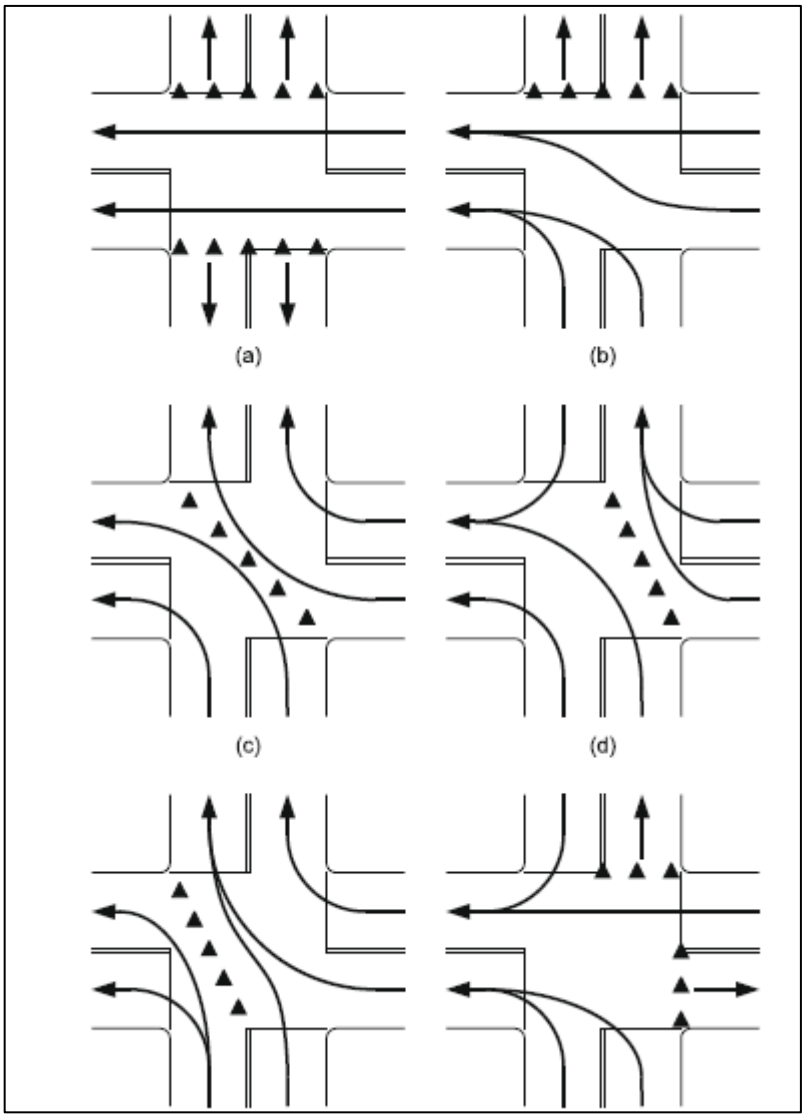
Como definido por Zhang et al. (2016) a rota de evacuação original é uma entrada estática para rotas disponíveis. São adotadas três etapas principais para gerar uma conversão da estrutura topológica da tabela de rede rodoviária, o caminho de evacuação da construção de árvores “multi-caminhos” e a busca em largura das rotas dentro da árvore. Em primeiro lugar, as estradas da rede são representadas por linhas e interseções por pontos. No entanto, na estrutura topológica, os segmentos rodoviários são descritos como pontos enquanto intersecções como linhas. Ele retrata uma relação inversa entre segmentos de estrada e interseções, visto na Figura 10 (a). Após a conversão, o segmento rodoviário pode ser facilmente simplificado como um nó da folha na árvore “multi-caminhos”.

Isso permite tabela de rota de evacuação original: construindo a árvore do caminho de evacuação, representada na Figura 10 (b). Antes de construir a árvore com os caminhos, precisa-se obter uma matriz de adjacência para representar a topologia da rede com a determinação das interseções entre as rotas, a partir da matriz é realizada a relação entre duas medidas básicas: (1) limite da distância total: o limite superior de distância, que é julgado a partir da soma dos comprimentos do segmento, (2) a singularidade do nó, implicando que um nó não pode aparecer novamente em seus ramos efetivamente, evitando assim o problema dos caminhos circulares. O último passo é a procura de menores larguras na árvore do caminho, garantindo assim a ordem de saída ideal de rotas, o que significa que os nós das rotas na tabela estão em ordem crescente como demonstrado na Figura 10 (d).

Para essa metodologia, o nós que apresentam menores quantidades de interseções são considerados melhores opções de rotas, já que evitariam passar por áreas de conflitos de veículos. No método definido por Zhang et al. (2016), isso proporciona não apenas uma grande conveniência para inspeção e ajuste manual, mas também eficiência para análise de rotas sob condições de inundação, a extração de informações sobre estradas que se tornam indisponíveis em diferentes momentos é um processo necessário para o planejamento da evacuação.

Xie et al. (2010), discutiu otimização de rede de evacuação dinâmica que incorpora estratégias de reversão de faixas e eliminação de cruzamento de forma conjunta, segundo os autores essas duas estratégias de planejamento baseadas em modelos de seleção de rota se complementam, aumentando a capacidade em direções específicas através da rede de evacuação, primeiro foi realizada a revisão das técnicas de reversão de faixa e de eliminação de cruzamento, seguindo de modelo de otimização onde ocorreu a junção desses dois métodos. A Figura 11, apresentam diversas possibilidades de junção entre reversão de faixas e eliminação de cruzamento.

Figura 11 - Exemplos do uso conjunto de reversão de faixa e eliminação de cruzamento.



Fonte: XIE et al. (2010).

3 METODOLOGIA

Para esse trabalho o método de seleção de rotas é condicionado a aplicação em área urbana presente a jusante de um barramento hidrelétrico sem considerar o impacto da onda de inundação em possível ruptura e condições de tráfego.

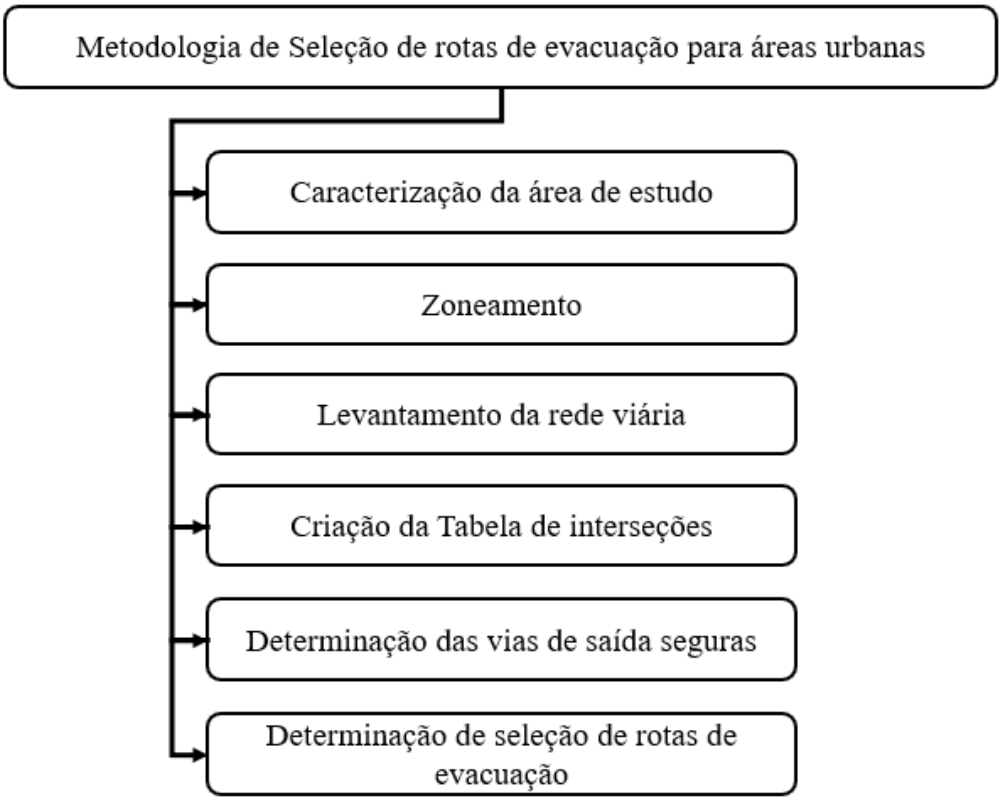
Para atender a metodologia de seleção de rotas, o trabalho foi divididos em duas etapas, sendo a primeira a apresentação do método de seleção de rotas para população urbana a jusante de um barramento, método fundamentado na otimização de rotas com a minimização de interseções e caminhos de evacuação mais econômicos e a segunda parte metodologia é a aplicação do método proposto para o município de Tucuruí-PA.

Esta metodologia é uma adaptação do método de seleção de rotas originais proposto por Zhang et al. (2016), onde os autores estabeleceram a criação de uma matriz de adjacências para determinação de tabela de rotas.

3.1 MÉTODO DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EMERGÊNCIA

O método de seleção de rotas proposto está dividido em seis etapas de acordo o fluxograma exposto na Figura 12 que serão discutidos a seguir, para a apresentação e explicação da metodologia serão utilizados exemplos para auxiliar no entendimento da seleção de rotas de evacuação.

Figura 12 - Fluxograma da metodologia de seleção de rotas.



3.1.1 Caracterização da área de estudo

A caracterização da área de estudo é o levantamento de informações técnicas sobre o barramento, pesquisa de estudo de ruptura (se houver), e caracterização quanto ao potencial de dano associado (DPA). Posteriormente ao levantamento das condições do empreendimento, deverá ser realizada a caracterização da área urbana presente a jusante do barramento, entre as características estão a distribuição espacial e levantamento da rede viária do município, aspectos socioeconômicos e caso apresente, estudo de ruptura da barragem o impacto da onda de inundação.

3.1.2 Zoneamento

Quando é necessária a evacuação de um perímetro urbano, onde a malha viária é complexa, o zoneamento é uma etapa muito importante pois, quando se divide o município em áreas menores, elas se tornam mais *fáceis* de gerenciar e auxilia a defesa civil momento da evacuação. Esta divisão pode ser feita com uso de códigos postais, fronteira ou pontos de referências facilmente identificáveis pela população durante o processo de evacuação.

3.1.3 Levantamento da rede viária

O Levantamento da rede viária é a determinação das vias presentes em cada zona do município estudado com sua respectiva nomenclatura, o levantamento pode ser realizado através de mapa e/ou uso de *softwares* de informação geográfica.

3.1.4 Criação da tabela de interseções (adjacências)

Com o levantamento viário e determinação da nomenclatura de todas as vias presentes em cada zona, segue-se então para a criação das tabelas de interseções (adjacências) que nada mais é, que a interligação entre as vias dentro do perímetro de cada zona e exposto em planilha de fácil entendimento e visualização, como exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de apresentação da tabela de interseções (adjacências).

Ruas/interseções	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A		x		x		x	x	x		
B	x			x				x		X
C				x	x				x	
D	x	x	x			x	x	x		
E			x				x			
F	X			x				x	x	X
G	X			x	x			x	x	
H	X	x		x		x	x			X
I			x			x	x			
J		x				x		x		

3.1.5 Definição das vias de saída seguras

Para atender o método, deve ser definida as vias de saída seguras existentes responsáveis pelo encaminhamento da população para fora da área de risco, ou seja, são vias que levam a população em risco para outras localidades quando as vias internas ao município são comprometidas e apresentam risco de inundação em caso de rompimento do barramento.

3.1.6 Determinação de seleção de rotas de evacuação

O método de seleção baseia-se numa entrada estática de rotas, que admite a minimização das interseções durante o percurso de evacuação, tornando o processo de retirada de emergência mais seguro devido à redução de conflitos nos cruzamentos, menos paradas em cruzamentos, menor percurso e tempo de evacuação.

O próximo passo é criar uma tabela de adjacências entre ruas que se cruzam, ou seja, que se intercedem, iniciando pela via de saída com suas respectivas interseções e posteriormente essas vias intercessoras com seus respectivos vias de acesso, até atender todas as vias presentes dentro da zona, como exemplificado da Tabela 2.

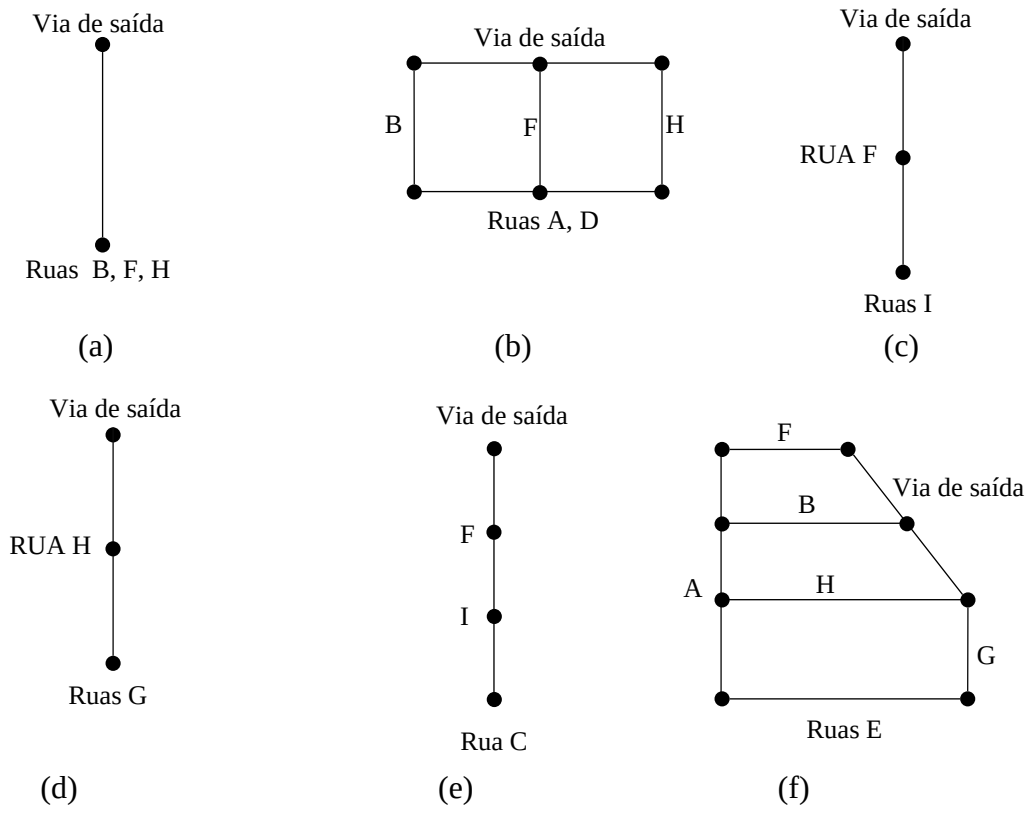
Tabela 2 – Tabela de interseções a partir da via de saída.

Rua	Interseções (cruzamentos)					
Via de saída	B	F	H			
B	A	D	H	Via de saída		
F	A	D	H	I	Via de saída	
H	A	B	D	F	G	Via de saída
A	B	D	F	G	H	E
D	A	B	C	F	G	H
G	A	D	E	H	I	
I	C	F	G			

Uma característica importante deste método que difere de outros métodos propostos, é que a determinação da rota de evacuação é realizada partindo inicialmente das vias de saída, ou seja, a escolha da rota inicia a partir de onde a população quer chegar (destino) e não a partir da origem (via internas a zona), com isso evita-se um emaranhado de possiblidades de rotas disponíveis e simplifica o roteamento .

A partir da tabela de adjacência é possível seguir então para a definição da seleção de rotas, como descrita na Figura 13, onde as vias são representadas por pontos e as interseções por linhas.

Figura 13 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação



De acordo com a tabela de adjacências, as vias que se interligam diretamente com a via de saída, são as ruas B, F e H, assim sendo o percurso mais curto de evacuação que a população apresenta para essas ruas (fig. 13 (a)), qualquer outra opção de rota aumentaria a distância de evacuação e insegurança dos evacuados, pois além de se incluírem outras vias, incluiria também maiores números de conversões durante o processo de evacuação.

Posteriormente é definida a evacuação passante pelas ruas B, F e H, onde são selecionadas as vias que se conectam as mesmas com base na tabela de adjacência. As ruas A e D cruzam com as três ruas em questão, enquanto a rua I se interliga apenas com a rua F e a rua G apenas com a rua H, sendo assim necessário o estabelecimento de três diferentes rotas.

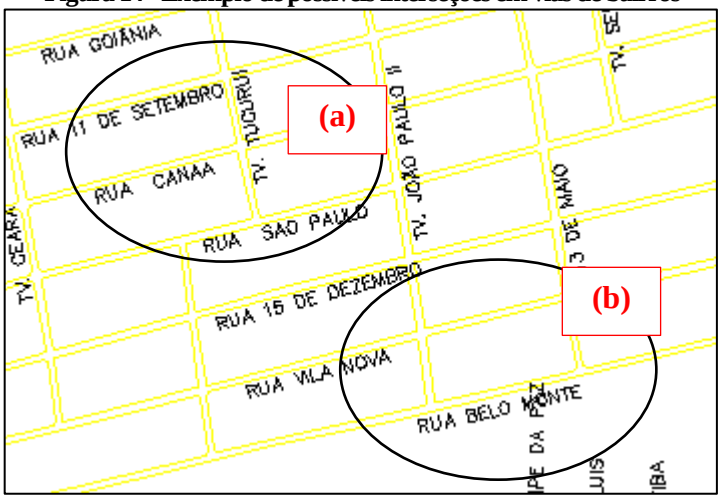
As ruas A e D, se mostram com três possíveis caminhos a serem percorridos durante a evacuação (Fig. 13 (b)), sendo assim necessário a criação de uma tabela de rotas disponíveis elaborada de forma crescente, ou seja, com a menor para a maior quantidade de cruzamentos, como mostra na Tabela 3.

Tabela 3 - Rotas possíveis para a rua A, D.

Rotas			
Rota 1 (R1)	A, D	B	Via de saída
Rota 2 (R2)	A, D	F	Via de saída
Rota 3 (R3)	A, D	H	Via de saída

A partir da tabela percebe-se que todas as possibilidades de rotas apresentam a mesma quantidade de interseções com isso não é possível estabelecer qual melhor opção de saída somente considerando o número de cruzamento, assim para o caso em questão é necessária uma avaliação das vias quantos suas características geométricas e estado de conservação viária (ex: pavimento). Para responder qual seria a rota mais adequada, quando não existir e/ou não ser possível realizar estudo de capacidade e estado de conservação, uma solução viável é selecionar as rotas que apresentem vias que circundam as zonas e que sigam o mesmo sentido de evacuação das vias anteriores, evitando assim vias de centro que geralmente apresentam maiores quantidades de interseções e conversões desnecessárias, mesmo que essas conversões não aparecem no percurso de evacuação a via pode se cruzar com outras que são responsáveis pela evacuação de outros grupos de ruas. A Figura 14, exemplifica interseções que estão presentes dentro dos bairros (a), ou seja, a parte de central, e interseções que circundam o mesmo (b).

Figura 14 - Exemplo de possíveis interseções em vias de bairros



Como visto na Figura 14, vias centrais apresentam interseções com maiores possibilidades de movimentos comparadas com vias que circundam os bairros, pois as quantidades de vias são superiores, isso faz com que consequentemente apresentem maiores

quantidades de conflitos, com isso a possibilidade de escolha na rota de vias que circundam os bairros se torna mais interessante.

Para as ruas I, o menor percurso é seguindo pela rua F (Fig. 10 (c)) e para a rua G seguindo pela rua H (Fig. 10 (d)). Atendida as vias que se conectavam com as Ruas B, F e H, parte-se então para as vias que se conectam com as ruas A, D, G e I, desconsiderando as vias que já tiveram suas rotas definidas. Através da tabela de adjacências, percebe que das ruas que ainda não foram atendidas e se conectam com as ruas A, D, G e I, são as vias C e E. A rua C cruza somente com a rua I, portanto após se conectar com essa via segue o mesmo percurso estabelecido anteriormente para a rua I (Fig.10 (e)).

Já a rua E cruza com as ruas A e G, utilizando o percurso anteriormente estabelecido para essas ruas, a rua E apresenta quatro possíveis rotas, sendo assim aplicada a tabela de tabela de rotas disponíveis, elaborada de forma crescente (Tabela 4).

Tabela 4 - rotas possíveis para a rua E

Rotas				
R1	E	A	H	Via de saída
R2	E	A	B	Via de saída
R3	E	A	F	Via de saída
R4	E	G	Via de saída	

De acordo com a Tabela 4, a forma mais econômica de percurso de evacuação para a rua I, é seguindo o percurso pela rua G com dois cruzamentos durante o percurso de evacuação em contrapartida das outras opções de rotas que apresentam três cruzamentos, sendo esse caminho a ser considerado ideal para a evacuação.

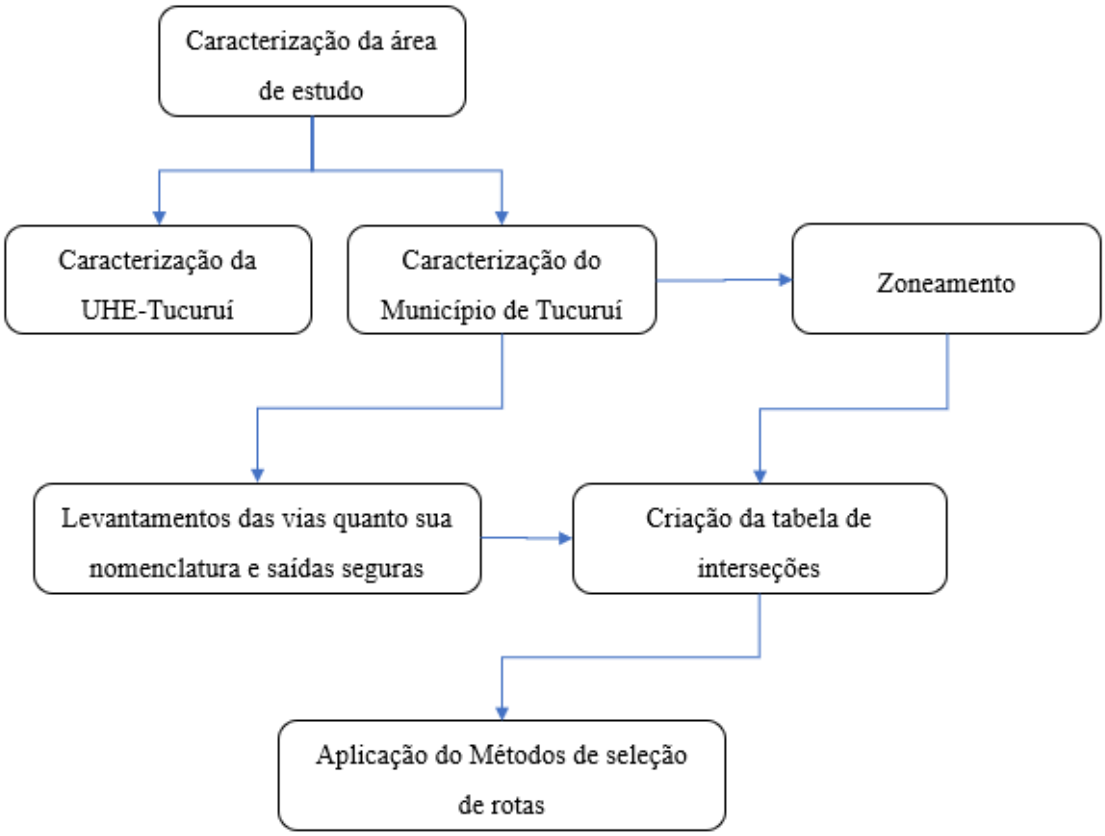
Após atendidas todas as vias presentes, e estas apresentarem suas respectivas rotas, finaliza-se o roteamento para a zona em questão.

Os métodos baseados em otimização têm a capacidade de identificar soluções ideais de planejamento de forma sistemática e autônoma.

3.2 METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS NO MUNICIPIO DE TUCURUÍ

A metodologia de seleção de rotas para o município de Tucuruí é desenvolvida de acordo com sete etapas mostradas com o fluxograma exposto na Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma das etapas da aplicação da metodologia da pesquisa.



3.2.1 Caracterização da área de estudo

É definida como a área de estudo a UHE- Tucuruí e o Município de Tucuruí presente a jusante do barramento.

3.2.1.1 Usina Hidrelétrica de Tucuruí

Localizada na latitude 03°45' sul e longitude 49°41' oeste, porção norte do território brasileiro, a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE-Tucuruí), situa-se no rio Tocantins, município de Tucuruí, estado do Pará.

O rio Tocantins possui uma extensão total de 1.700 km e uma declividade média de 14,4 cm/km, indo da foz no estado do Goiás, até a cidade de Abaetetuba/PA. A bacia do rio Tocantins drena uma área equivalente a 758.000 km² no eixo do barramento da UHE Tucuruí (LARA et al., 2014). Caracterizada por ser a primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia brasileira, a usina possui uma potência total de 8.370MW (ELETRONORTE, 2018), construída em duas etapas distintas, totalizando 4.275MW de potência instalada na

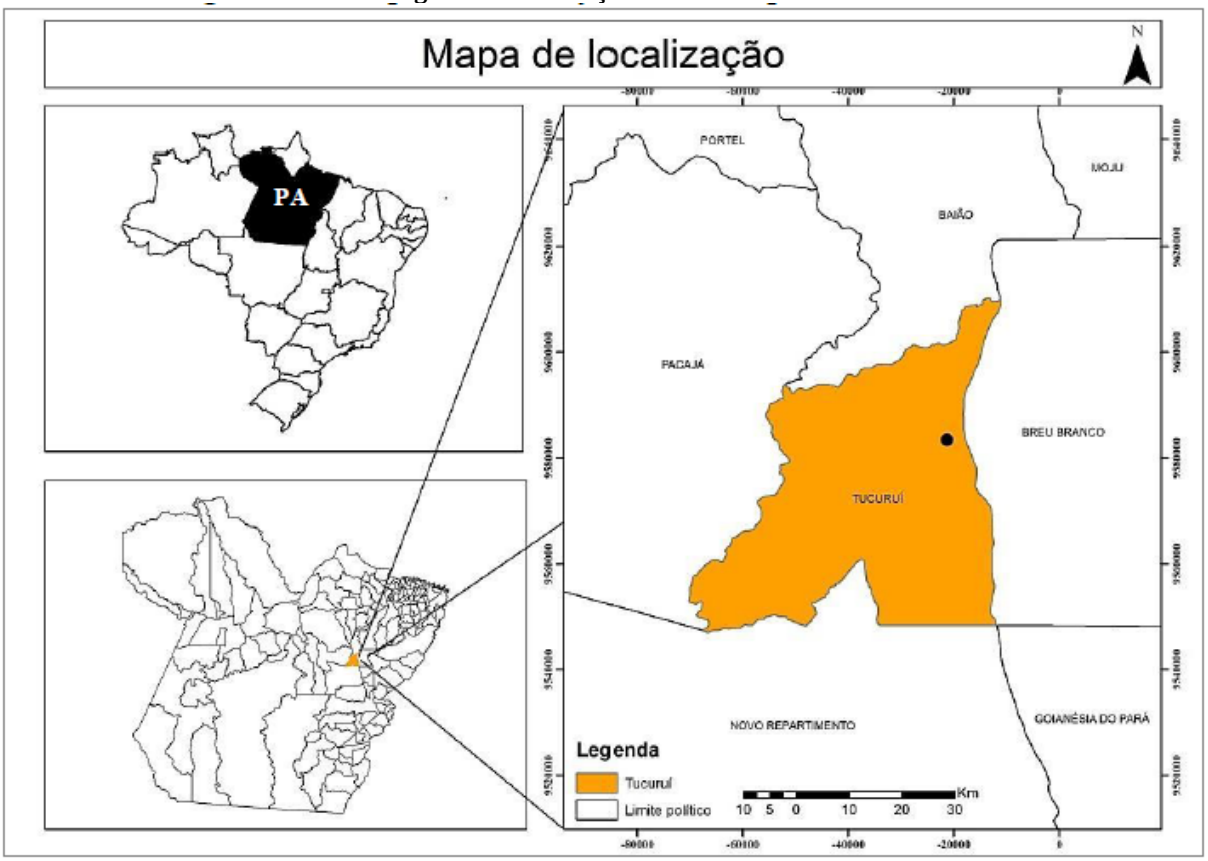
primeira etapa e 4.125MW na segunda, concluída em abril de 2007. A Figura 16, apresenta uma vista aérea da UHE-Tucuruí.

Figura 16 - Vista Aérea da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

Fonte: Eletronorte - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (2018).

O aproveitamento hidrelétrico do rio Tocantins possui uma extensão total de 7.052 m do barramento, sendo 5.308 m referentes à barragem de terra e enrocamento e 1.744 m pertencentes à barragem de concreto em gravidade (ELETRONORTE, 2017). A altura do barramento é de 95 m, estando sua crista situada na cota 78m. A Figura 17 ilustra a localização do empreendimento.

Figura 17 - Localização da UHE Tucuruí.



Fonte: SANTOS (2017).

Os dados específicos da UHE-Tucuruí encontram-se organizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados Técnicos UHE- Tucuruí.

Dados da Barragem	
Tipo	Gravidade
Material	Concreto, Terra e Enrocamento
Altura da Barragem	95,00 m
Comprimento da Crista	7.052,00 m
Cota da Crista	78,00 m
Vazão do Vertedouro	110.000,00 m³/s
Tempo de recorrência	10.000 anos
Reservatório	
NA máx.	74,00 m
NA mín. operacional	51,60 m
Área do reservatório na cota 74,00 m	3007 km²
Volume útil na cota 74,00 m	38.970 x 10 m³
Volume total na cota 74,00 m	50.280 x 10^6 m³

Fonte: Lara et al. (2014).

De acordo com Lara (2014) com base nos dados expostos, observa-se que a UHE-Tucuruí se encaixa nas características prescritas pela legislação de Segurança de Barragens, Lei nº 12.334/2010, são essas:

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Assim, a UHE-Tucuruí está sujeita aos seus regulamentos e a fiscalização pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

3.2.1.1.1 Caracterização quanto ao Potencial de Dano Associado (DPA)

A partir da caracterização da área de estudo, e tendo conhecimento que a UHE-Tucuruí se enquadra na Lei de Segurança de Barragem nº 12.774/2010, é necessário determinar a Categoria de Risco (CR) e Dano Potencial (DPA) da mesma, realizada de acordo com a resolução normativa da ANEEL nº 696/2015, que estabelece parâmetros como, característica técnica, estado de conservação, plano de segurança de barragem e DPA.

Santos (2017) realizou o trabalho de classificação da barragem quanto ao CR e DPA, a partir de coleta de dados e o auxílio de técnicos de segurança da própria empresa responsável pela operação e manutenção da UHE-Tucuruí, efetuou-se a classificação da barragem por categoria de risco e DPA, apresentada de forma resumida no Quadro 3.

Quadro 3-Classificação da barragem de Tucuruí quanto à categoria de risco e ao DPA.

Parâmetros	Faixa de Classificação
Categoria de risco	Baixa
Dano Potencial Associado	Alto

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

De acordo com Santos (2017), a baixa categoria de risco da barragem se deve basicamente por seus aspectos construtivos, que proporcionam boas condições de segurança para o empreendimento. Mas, por seu DPA ter sido classificado como alto, estaria enquadrada na Lei nº 12.334/2010, de acordo com o seu art. 1º, portanto deve atender os regulamentos de

seu agente fiscalizador. E, conforme art. 11, deve elaborar o Plano de Ação de Emergência (PAE).

O trecho a jusante do aproveitamento hidrelétrico é caracterizado por ocupações rurais e uma importante área urbana, o município de Tucuruí/PA. Nesta localidade observa-se o aglomerado de edificações na margem esquerda do canal.

3.2.1.2 Município de Tucuruí - Área a Jusante

O município Tucuruí está localizado na Mesorregião, do Sudoeste do Pará, a 350 km da capital paraense. A colonização de Tucuruí se deveu, em parte, a grande procura de pessoas por riquezas naturais e pela facilidade do acesso aos estados do Goiás e Tocantins (NOGUEIRA, 2010). A Figura 18 apresenta o mapa de localização do município de Tucuruí.

Figura 18 – Localização do Município de Tucuruí-PA.

Fonte: Santos (2017).

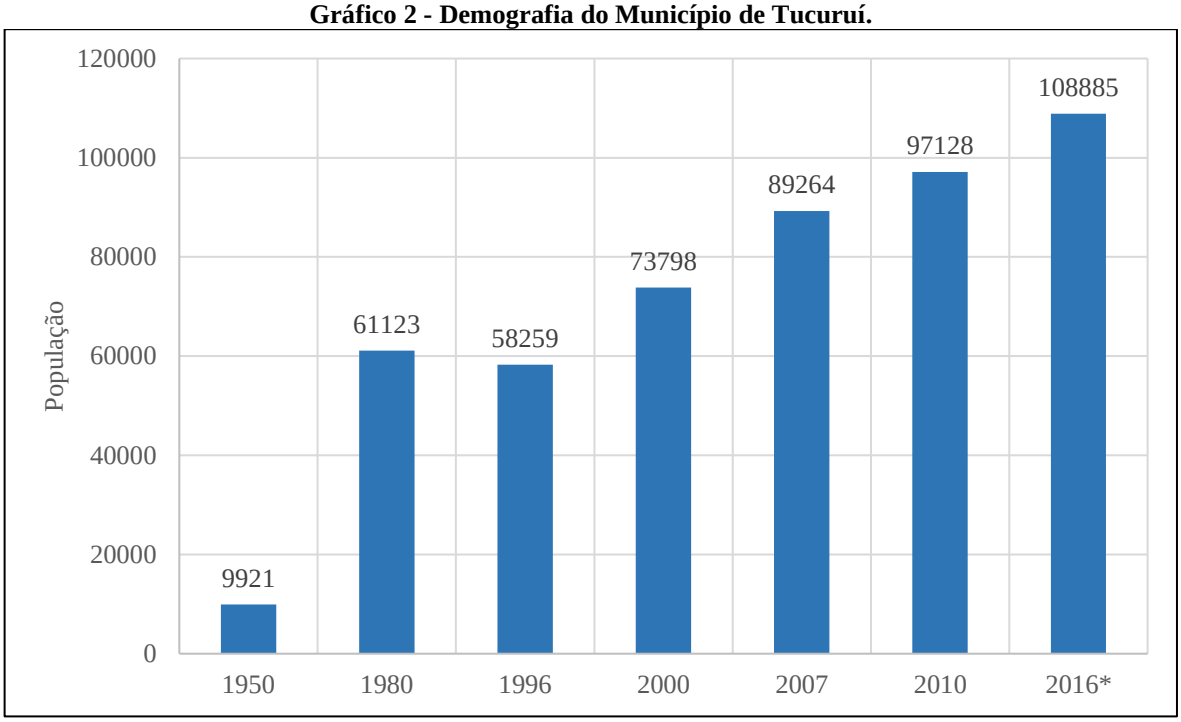
Já na década de 70/80, Tucuruí em sua história transformada devido seu potencial energético hídrico. Com a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí não somente ocorreu uma grande mudança geográfica na região com a implantação da Usina mas, também causou impacto significativo em sua economia, população e perspectiva (PENA, 2015).

Segundo Rocha (2011) o processo de construção da UHE-Tucuruí, entre 1977 e 1985 imprimiu mudanças significativas na estrutura espacial do médio Tocantins, a formação do reservatório hidráulico provocou a submersão da base material-geográfica anterior, alterou profundamente as práticas que se estabeleciam entre os agentes que compõem e vivem na cidade, e sua relação com a natureza.

Construída para dar suporte a projetos míneros-metalúrgicos como a Albrás-Alunorte, a Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHE) foi um fator de grande atração populacional para a região (NOGUEIRA, 2010). ‘No período entre 79/80, registrou-se a chegada de 55.531 imigrantes maranhenses, paraenses e goianos, atraídos pela oportunidade de trabalho no mercado formal e informal, e o acesso à terra, acarretando um aumento populacional inesperado e fora dos padrões, perfazendo cerca de 110.0000 habitantes’ (GUIMARÃES, 2011). A

população do município, quadruplicou em área urbana, a partir da construção da UHE, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Demografia do Município de Tucuruí.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016).

Atualmente a geração de energia é a principal fonte de arrecadação do município de Tucuruí por meio dos royalties advindos da ELETRONORTE, mas o município também investe em outros setores econômicos, como a produção industrial (PENA,2015).

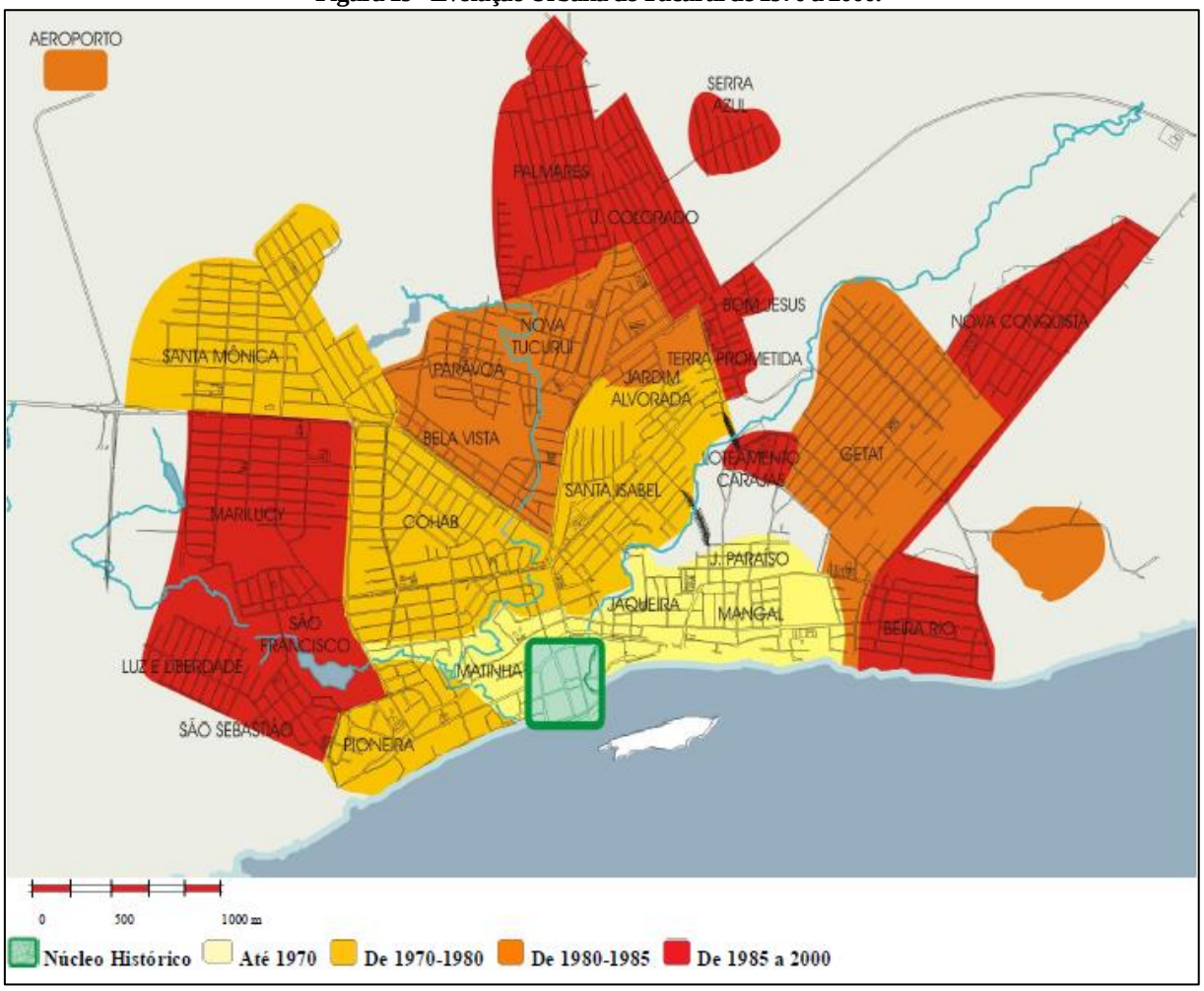
Na época da construção da UHE, a cidade expandiu-se desordenadamente, apresentando um traçado bastante irregular com ruas mal planejadas, casas construídas próximas do cruzamento de ruas o que prejudica o trânsito e a circulação de pessoas e calçamento inexpressivo e desalinhado (NOGUEIRA, 2010).

Segundo Nogueira (2010), relatos de líderes comunitários indicam que na época dos investimentos da UHE, os gestores municipais não demonstraram interesse por investimentos em infraestrutura urbana da cidade.

Atualmente Tucuruí é composta por diversas comunidades divididas entre bairros e ocupações desordenadas. A Figura 19, apresenta as mudanças na expansão do sítio urbano, poucos anos após o início das obras da UHE. Entre os anos de 1976 e 1980 passam a surgir novos bairros como a Vila Pioneira, Pimentel, Santa Isabel (no antigo Aeroporto), COHAB e Santa Mônica. De acordo com Nogueira (2010), de 1985-2005, a cidade se expande em todas as direções, seja pela agregação de novos espaços, ou pelo adensamento promovido no interior

de bairros preexistentes, preenchendo vazios, muitas vezes, impróprios à ocupação urbana, por constituírem áreas alagadas, ambientalmente frágeis ou já degradadas e insalubres.

Figura 19 - Evolução Urbana de Tucuruí de 1970 a 2000.



Fonte: Nogueira (2010).

A partir de 1985 até o ano de 2000, intensificaram-se as ocupações desordenadas que passaram a integrar-se à paisagem urbana.

Além das mudanças na área urbana de Tucuruí devido a construção da Usina, no ano de 2010 para construção das eclusas houve uma necessidade da transferência dos moradores da orla do rio Tocantins, assim sendo, a prefeitura municipal realocou a população dessa área para o Bairro a “Nova Matinha”, denominação da área urbana que representa o único planejamento habitacional para o espaço urbano de Tucuruí concretizado pelo poder público municipal. Além disso, nos últimos anos muitos residenciais foram incorporados ao município como por exemplo: Residencial Buritis I e II, Cristo Vive, Viva Cidade, entre outros, ampliando ainda mais a áreas urbana da cidade.

3.2.2 Zoneamento do Município de Tucuruí

Posteriormente a caracterização da área de estudo foi definida a divisão da área urbana a jusante em zonas previamente gerenciáveis, essas zonas foram definidas através da distribuição espacial com auxílio do Mapa de Tucuruí fornecido pela Prefeitura Municipal atualizado em setembro de 2017, nele estão indicados os bairros e vias do município de Tucuruí e a partir da distribuição socioeconômica da região que foi estabelecida na caracterização da áreas de estudo. com as zonas definidas partiu-se o levantamento das vias presentes para cada zona de acordos com sua nomenclatura.

3.2.3 Levantamento da rede viária e criação da Tabela de Interseções

O levantamento da rede viária foi realizado utilizando o Mapa de Tucuruí, fornecido pela Prefeitura Municipal atualizado em setembro de 2017, o mapa fornecido em ferramenta AutoCAd®, dispões de toda a rede viária de Tucuruí e a nomenclatura dos arruamentos e bairros, a partir do levantamento da rede viária foi possível criar a tabela de interseções com a ferramenta da Excel® da Microsoft entre as vias internas ao bairros, para cada bairro do município. A levantamento da rede viária e a tabela de interseções para as respectivas zonas estão apresentados no Apêndice A desse trabalho.

3.2.4 Determinação das vias seguras de saída

Por ser um método que independe da onda de inundação e do tráfego, a determinação das vias de saída segura, se deu através da análise do mapa espacial fornecido pela Prefeitura de Tucuruí, onde foram definidas vias seguras aquelas que possibilitavam o trafego de veículos que levassem para fora do município.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capitulo será apresentado os resultados da aplicação da metodologia de seleção de rotas de evacuação no município de Tucuruí, será detalhado todos os insumos necessários e posteriormente como foi definida a seleção de rotas para as zonas dentro do município.

4.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ

4.1.1 Zoneamento do Município de Tucuruí

O zoneamento do município foi realizado seguindo aspectos como: a área de abrangência da evacuação e a caracterização da área de estudo identificando fatores como distribuição viária e aspectos socioeconômicos.

No município de Tucuruí a área de abrangência de evacuação é considerada toda a área que abrange a cidade, composta por todos os bairros que fazem parte do município, esse fator já indica a necessidade de reduzir a área de evacuação é subdivisões, ou seja, em zonas que facilitem o gerenciamento de evacuação e até mesmo auxiliam na programação do processo de retirada para áreas seguras.

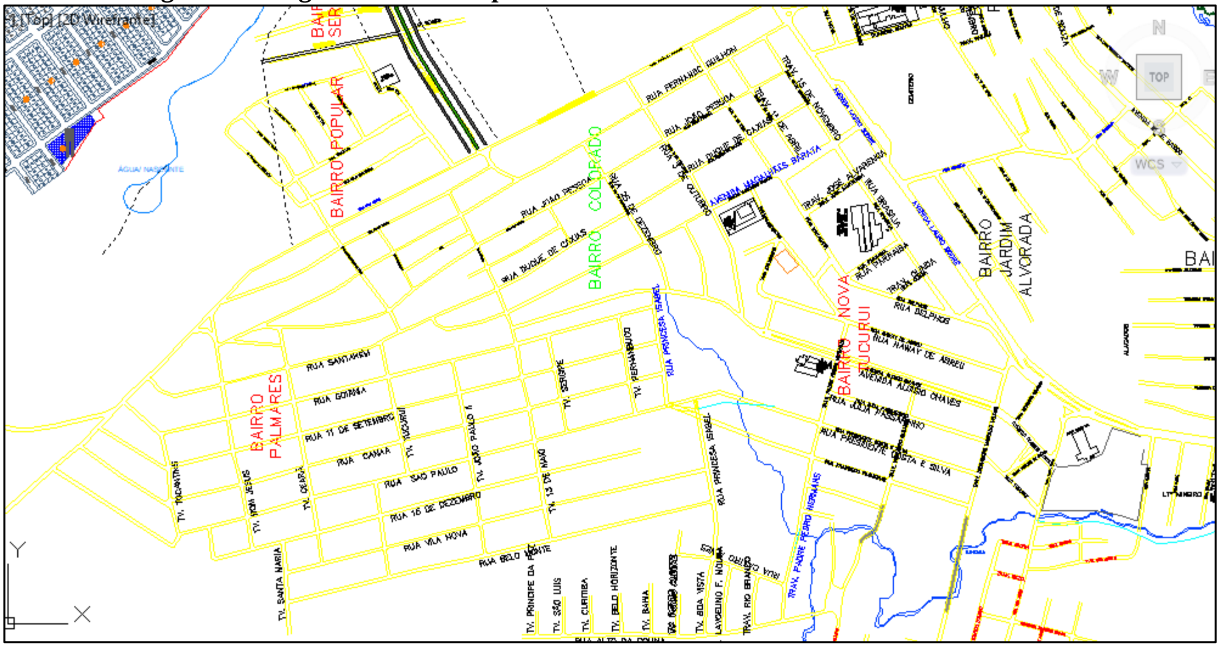
A partir da caracterização da área de estudo encontrada no Capítulo 3 dessa dissertação, é possível observar que o município de Tucuruí possui diversas particularidades em sua formação e posterior aumento de suas áreas urbana e populacional devido a construção da UHE – Tucuruí, este aumento ocorreu de forma desordenada, fazendo que muitos bairros tenham sido criados através de invasões, formados sem planejamento urbano, afetando assim sua distribuição e sua rede viária, ao mesmo tempo tem a presença de novos bairros (ex. Nova Matinha), e residenciais que foram projetados e apresentam configuração viária bem organizada.

Da mesma forma desordenada em que se formou a estrutura urbana do município, ocorre a disparidade entre os aspectos socioeconômicos de Tucuruí. Portanto, para o zoneamento de Tucuruí optou-se pela divisão de acordo com os próprios bairros, tendo assim uma maior conformidade na distribuição viária e nas condições socioecômicas.

4.1.2 Levantamento da Rede Viária

A partir do mapa fornecido pela Prefeitura, mostrado parcialmente na Figura 20, foi realizado o levantamento viário que nada mais é que uma tabela contendo as vias e suas respectivas nomenclaturas cada bairro e dispostos em tabela de Excel, mostrado no Apêndice A.

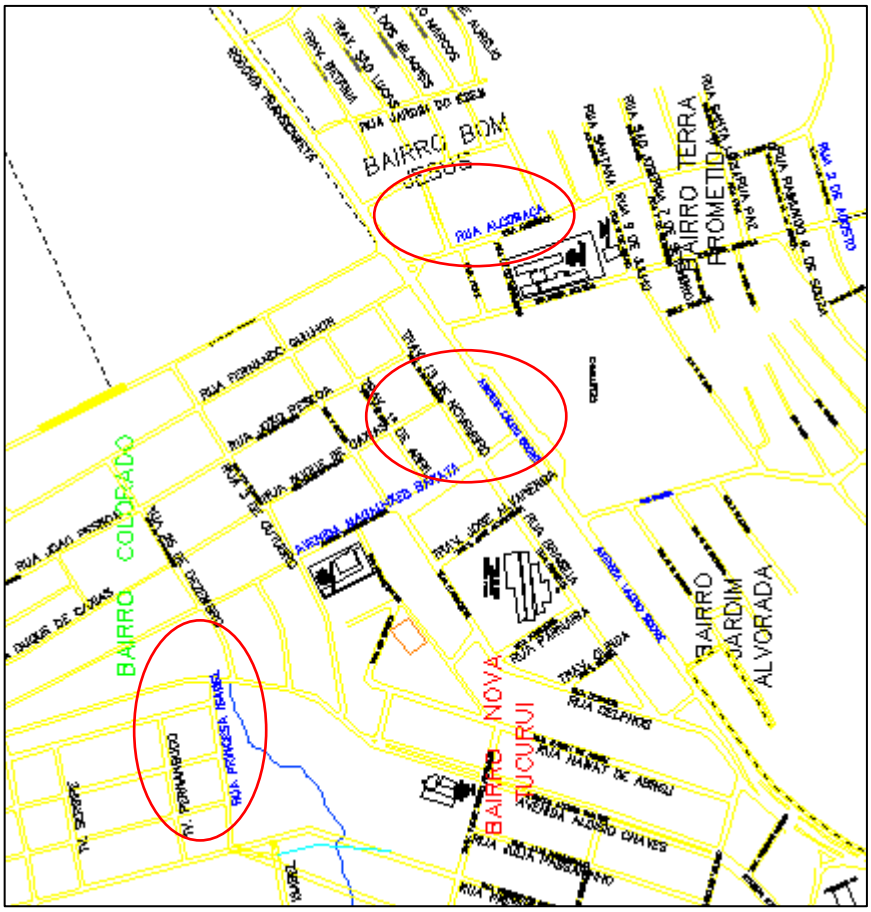
Figura 20 - Imagem Parcial do Mapa de Tucuruí nomenclatura das vias e divisão de bairros.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí - Atualizado em setembro de 2017.

O mapa disponibilizado não apresentava divisão e/ou limitação entre os bairros, foi solicitado então outro mapa que as divisões entre os bairros junto a Prefeitura Municipal, mas a mesma não tinha nenhum mapa e/ou outro documento que indicasse os limites, por isso a forma de viabilizar a aplicação do método foi uma divisão intuitiva por parte do autor, de acordo com a localização da nomenclaturas dos bairros e as vias coletoras ou arteriais que cortavam os mesmos, considerando essas vias como vias limitadoras entre os bairros. A vias em tonalidade azul presentes na Figura 21, são exemplos de vias consideradas limites de bairros

Figura 21- Imagem Parcial do Mapa de Tucuruí com vias limitadoras de bairro.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

4.1.3 Tabela de interseções (adjacências)

Após finalizado o levantamento viário, seguiu-se para a criação da tabela de interseções, que é uma tabela contendo as interseções entre as vias de cada bairro do município de Tucuruí, as tabelas estão apresentas na integra no Apêndice A desse trabalho.

4.1.4 Determinação das vias de saída segura

Considerando que o método não engloba condições de tráfego e onda de inundação devido à um possível rompimento do barramento da UHE-Tucuruí e considerando que a evacuação deve ser preventiva, pois em caso de rompimento da UHE não haveria tempo suficiente de retirada da população da área de risco, fato este confirmado por Santos (2017) em estudo sobre o rompimento hipotético da barragem de Tucuruí.

Santos (2017) concluiu que durante a avaliação da mancha de inundação formada em decorrência do rompimento hipotético, percebe-se a inundação de grandes áreas (84,71 km²) no período de uma hora e dez minutos após o início da formação da brecha de ruptura, com um

tempo de resposta de apenas oito minutos para os habitantes da zona urbana de Tucuruí, o que aumenta o potencial de perdas de vidas humanas e torna ainda mais importante a articulação de ações voltadas à segurança da população em situação de risco.

Sendo assim, as vias consideradas seguras para retirada da população em risco, são as vias que escoam a população para fora da cidade de Tucuruí, ou seja, para outros municípios próximos. Através da análise do mapa observou-se que Tucuruí conta com três vias de saída, que são: BR-422 (Transcametá) sentido ao município de Cametá-PA, BR-422 sentido o município de Novo Repartimento-PA, e a PA-263 sentido munícipio de Breu Branco-PA.

É na rodovia PA-263 que encontra-se localizada a hidrelétrica de Tucuruí, para o deslocamento entre os município de Tucuruí e Breu Branco é preciso trafegar sobre a ponte rodoviária localizada sobre o barramento e que faz parte da rodovia estadual, sendo assim, em caso de sinistro o tráfego sobre essa via estaria impossibilitado de se realizar, tornando essa rota de fuga inviável, por isso a PA-263 será descartada como via de saída segura, com isso as vias de saída seguras para a metodologia de roteamento de evacuação proposta considerou apenas a BR-422 nos dois sentidos como trecho de fuga seguros.

Fator relevante exposto por Santos (2017) em sua pesquisa é que entre as principais áreas a jusante do barramento afetadas pela mancha de inundação está a BR-422 (Transcametá), como afirmado pelo autor, uma das mais importantes vias de acesso à cidade, o que impede tal via de compor as rotas de fuga para a evacuação da população atingida, confirmando a necessidade de uma evacuação antecipada a ruptura. Fato que torna ainda mais importante a determinação de uma metodologia de seleção de rotas de evacuação para o município.

Determinada, as vias de saída seguras, partiu-se então para a aplicação do método em Tucuruí.

4.1.5 Rotas de evacuação para o município de Tucuruí

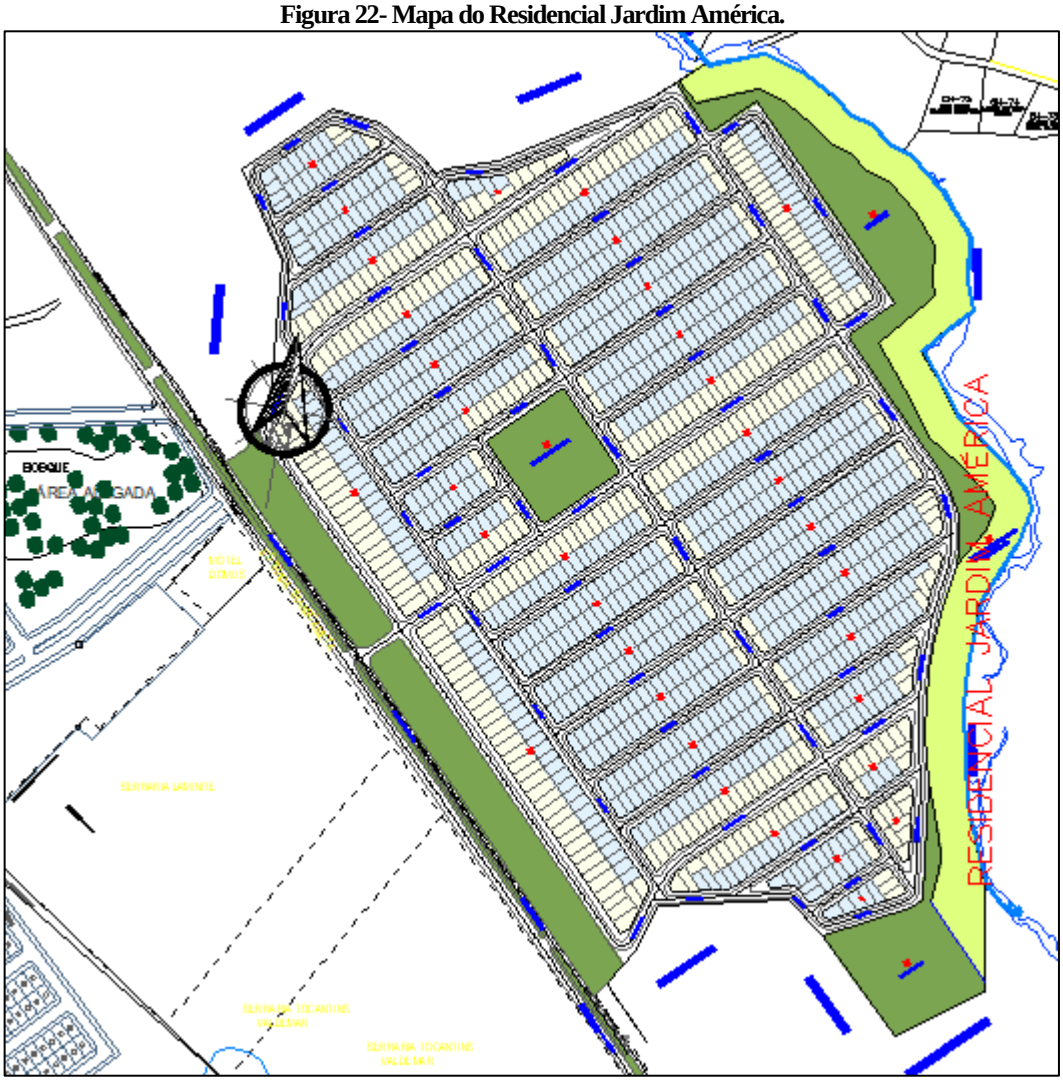
A seguir será apresentado a seleção de rotas de acordo com zonas (bairros) para o município de Tucuruí, afim de validar o método, a seleção de rotas proposta será aplicada em alguns bairros de Tucuruí selecionados de forma aleatória, de acordo com algumas condicionantes, são elas: pelo menos um bairro que se formou durante a construção da UHE (entre 1975-2008), pelo menos um bairro formado a partir de invasão, pelo menos um residencial e pelo menos um bairro central ou próximo ao centro, a ideia é demonstrar que mesmo sendo bairros formados a partir de enfoques diferentes, que não apresente uma distribuição viária ordenada e igual a metodologia de seleção de rotas pode ser aplicada sob

quaisquer aspecto e de fácil replicação aos bairros. O produto final será uma tabela contendo as rotas de evacuação para cada bairro.

4.1.5.1 Residencial Jardim América

O Residencial Jardim América apresenta uma distribuição viária bem planejada com ruas definidas em projeto (Figura 22).

Figura 22- Mapa do Residencial Jardim América.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

Paralelo ao residencial se passa a Rodovia PA-156 (Transcametá) sendo essa uma das duas saídas seguras disponíveis ao município, e assim considerada a via principal de saída do residencial. Estabelecida sua via de saída montou-se a tabela de interseções que pode ser vista

no Apêndice A, foi possível definir a rotas de evacuação para o Residencial mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Rotas de evacuação para o Residencial Jardim América.

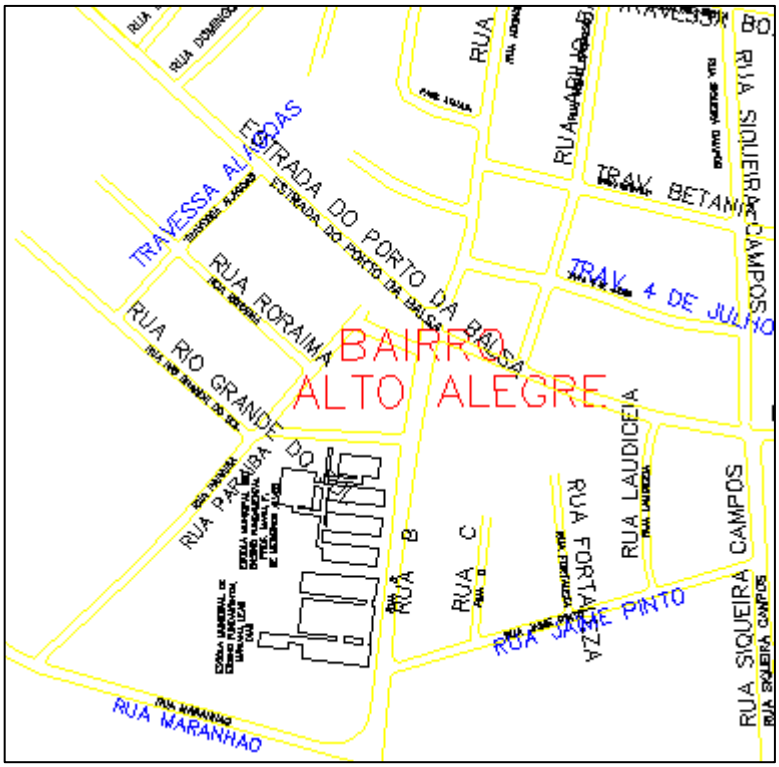
RUAS	ROTAS/RUAS			
Av. B	Transcametá			
1, Av. B, 11A, Av. D, 14A	Av.B	Transcametá		
Av.A, 2	1	Av.B	Transcametá	
3, 4, 5	2	1	Av.B	Transcametá
6, 7,8,9,10, 11 (a), 13,14	1	Av.B	Transcametá	
11 (b)	Av. D	Av.B	Transcametá	

Para as vias que tiveram mais de uma opção de rotas com a mesma quantidade de cruzamento, foi estabelecido como via mais interessante aquela que circunda o residencial, evitando maiores conflitos com veículos que vem de outras vias.

4.1.5.2 Bairro Alto Alegre

Bairro formado a partir de invasão depois dos anos 2000 (Figura 23), possui um total de quatorzes ruas.

Figura 23- Mapa do bairro Alto Alegre.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O Bairro Alto Alegre apresenta uma distribuição viária desordenada com vias mal distribuídas, a via de saída mais próxima ao bairro é rodovia transcametá, estabelecida sua via de saída segura, como o bairro está localizado em meio a outros bairros, existem diversas vias de acesso a saída, mas que para se ter acesso precisa adentrar outros bairro e muitas conexões necessária, a Estrada de Porto de Balsas, circunda o bairro e dá acesso direto a Transcametá, mesmo apresentando uma distância mais longa de acordo com o mapa do município, como a metodologia desse estudo baseia-se em minimizar as interseções, é preferível um caminho mais longo com acesso direto do que um caminhos que necessite fazer diversas conversões, reduzindo assim a morosidade, os conflitos e risco de acidentes.

Estabelecida a Estrada de Porto de Balsas como a via de conexão a Transcametá, montou-se a tabela de interseções que pode ser vista no Apêndice e posteriormente definidas as rotas de evacuação para o Bairro Alto Alegre, mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 – Rotas de Evacuação para o Bairro Alto Alegre.

RUAS	ROTAS/RUAS		
B, Laudiceia, Siqueira Campos, Tv. Alagoas, São Pedro, 4 de Julho, Siqueira Campos, Roraima, Rio Grande do Sul, Jaime Pinto	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
Maranhão	B	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Paraiba, Roraima	Siqueira Campos	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
C, Fortaleza	Jaime Pinto	Siqueira Campos	Transcametá

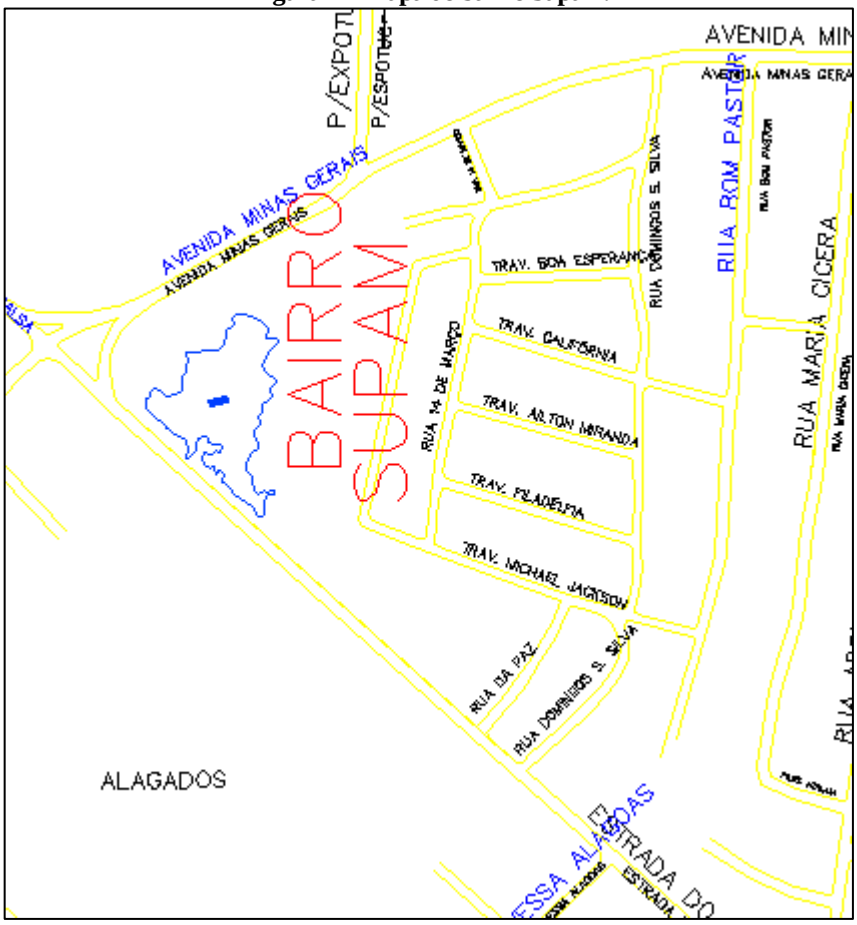
Por ser um bairro relativamente pequeno, apresentou apenas quatro rotas (tabela 7), já que a maioria das vias se cruzam com a Estrada Porto de Balsas.

Para as vias que tiveram mais de uma opção de rotas com a mesma quantidade de cruzamento, foi estabelecido como via mais interessante aquela que circunda o residencial, evitando maiores conflitos com veículos que vem de outras vias.

4.1.5.3 Bairro Supam

Bairro formado também a partir de invasões e sua formação se deu depois dos anos 2000 durante a construção da segunda etapa da UHE-Tucuruí, conta com um total de 11 ruas (Figura 24).

Figura 24- Mapa do bairro Supam.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O Bairro Supam é um pequeno bairro do Município de Tucuruí, apresenta uma distribuição viária desordenada, com vias mal distribuídas, a via de saída mais próxima ao bairro é rodovia transcametá, estabelecida sua via de saída, paralelamente ao bairro encontra-se a Estrada Porto de Balsas, que é a via que conecta o bairro Supam à rodovia Transcametá.

Estabelecida a Estrada de Porto de Balsas como a via de conexão a Transcametá, montou-se a tabela de interseções que pode ser vista no Apêndice A e posteriormente definidas as rotas de evacuação mostrada na Tabela 8.

Tabela 8 – Rotas de Evacuação para o Bairro Supam.

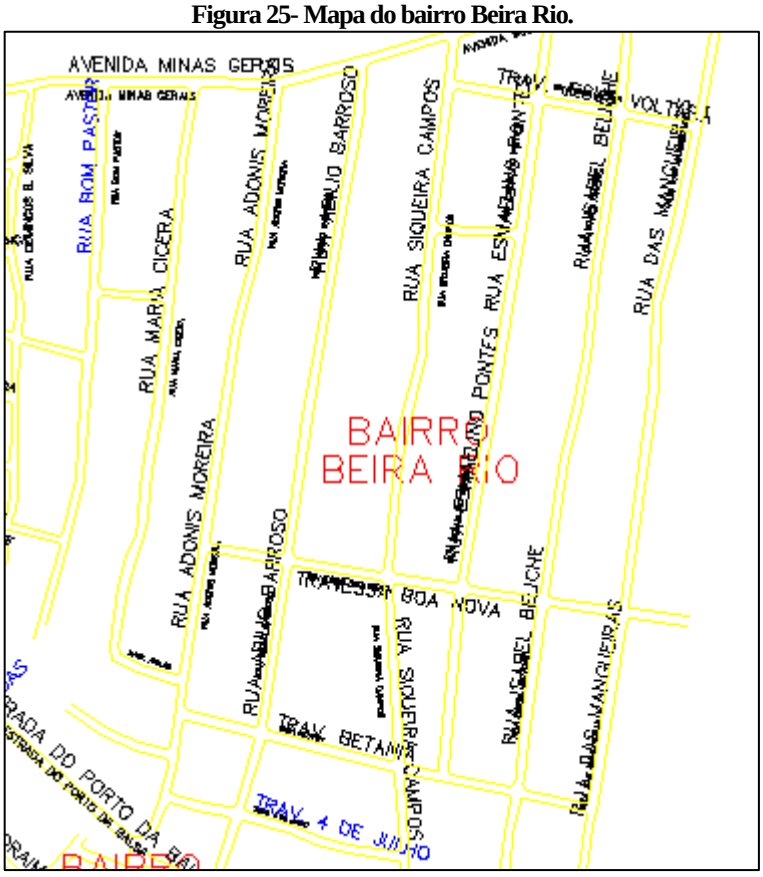
RUAS	ROTAS/RUAS		
Av. Minas Gerais, Rua da Paz, Domingos Silva	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
14 de Março, Bom Pastor	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Michael Jackson	Rua da Paz	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Tv. Filadelfia, Tv Airton Miranda, Tv. California, Tv. Boa Esperança	Domingos Silva	Estrada Porto de Balsas	Transcametá

Por ser um bairro pequeno apresentou poucas rotas de evacuação (Tabela 8), para as vias que tiveram mais de uma opção de rotas com a mesma quantidade de cruzamento, foi estabelecido como via mais interessante aquela que circunda o residencial, evitando maiores conflitos com veículos que vem de outras vias.

4.1.5.4 Bairro Beira Rio

Bairro formado durante a construção da UHE-Tucuruí, conta com um total de 14 ruas (Figura 25).

Figura 25- Mapa do bairro Beira Rio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O Bairro Beira Rio tem em sua adjacência os Bairro Supam e Alto Alegre, assim como eles, sua principal saída é a rodovia Transcametá via Estrada Porto de Balsas, a tabela de interseções do bairro pode ser vista no Apêndice A, e a partir da Tabela de Interseções montada a tabela de rotas de evacuação apresentada na Figura 25.

Tabela 9 – Rotas de Evacuação para o Bairro Beira Rio.

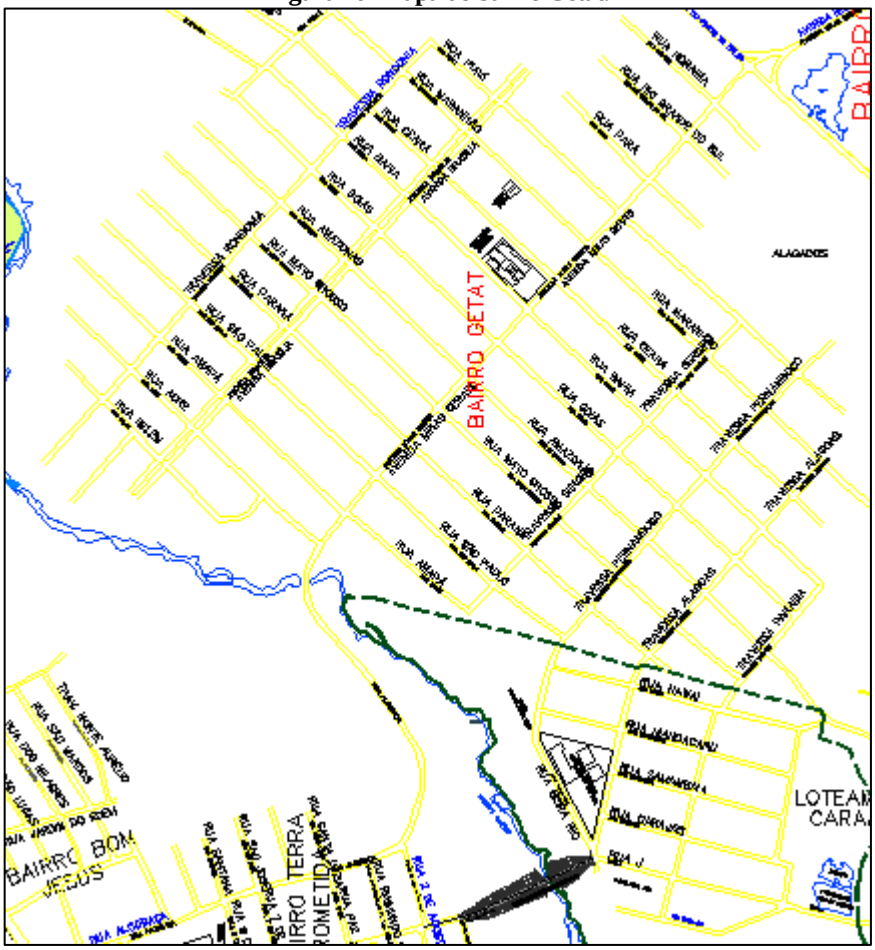
RUAS	ROTAS/RUAS		
Rua das Mangueiras, Isabel Beliche, Siqueira Campos, Adonis Moreira, Av. Minas Gerais, Abilio Barroso	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
Tv. Betania, Tv. Boa Nova, Jesus Voltará	Rua das Mangueira	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Esmaelino, Maria Cicera	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Passarela Atalaia, 4 de Julho	Siqueira Campos	Estrada Porto de Balsas	Transcametá

Por ser um bairro pequeno com quatorze vias mesma quantidade do bairro Alto Alegre e pouco maior que o bairro Supam que apresenta onze vias, apresentou poucas rotas de evacuação (Tabela 9), a maioria se cruzam com a Estrada Porto de Balsa, para as vias que tiveram mais de uma opção de rotas com a mesma quantidade de cruzamento, foi estabelecido como via mais interessante aquela que circunda o residencial, evitando maiores conflitos com veículos que vem de outras vias.

4.1.5.5 Bairro Getat

Bairro formado durante a construção da primeira etapa da UHE-Tucuruí, sua formação se deu entre os anos de 1980-1985, possui um total de 23 ruas (Figura 26).

Figura 26- Mapa do bairro Getat.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O bairro Getat fica próximo aos bairros Supam e Alto Alegre e como eles a saída principal do município de Tucuruí é a rodovia Transcametá e apresentam duas vias de acesso, são essas: Estrada do Porto de Balsa e a rua Alcobaça. Para utilizar a rua Alcobaça como opção de rota de saída seria necessário adentrar outro bairro do município (bairro Terra Prometida) causando transtornos, com isso a Estrada Porto de Balsas como a via que vai interligar o bairro Getat à rodovia Transcametá, assim foi possível criar a tabela de interseções para o bairro, presente no Apêndice A e com isso aplicado a metodologia, foi possível criar a tabela de rotas vista na Tabela 10.

Tabela 10 – Rotas de Evacuação para o Bairro Getat.

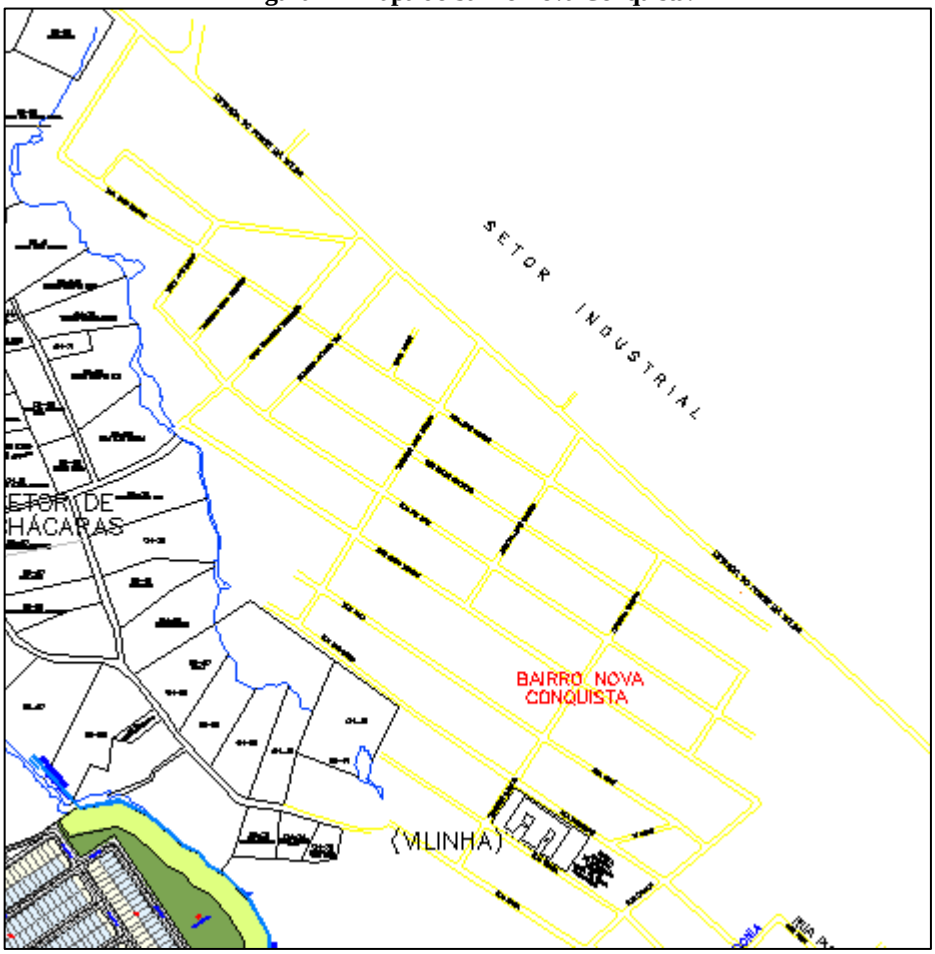
RUAS	ROTAS/RUAS				
Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá			
Ceará, Piauí, Maranhão, Bahia, Goiás, Amazonas, Mato Grosso, Paraíba, São Paulo, Amapá, Roraima, Rio Grande do Sul e Pará	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá		
Tv. Rondônia, Av. Brasília, Tv. Sergipe, Tv. Pernambuco, Tv. Alagoas	Piauí	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
Acre, Belém	Av. Brasília	Piauí	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá
Tv. Paraíba	Bahia	Av. Minas Gerais	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	

Apesar de ser um bairro relativamente grande se comparado aos bairros anteriores bastou-se apenas 5 rotas para retirar toda a população do bairro, isso se deve principalmente a sua distribuição viária está de forma organizada.

4.1.5.6 Bairro Nova Conquista

Bairro formado durante a construção da primeira etapa da UHE-Tucuruí na década de 80, possui um total de 19 ruas (Figura 27).

Figura 27- Mapa do bairro Nova Conquista.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O bairro Nova Conquista está localizado nos limites do município, tem em suas adjacências a presença do rio Tocantins, para esse bairro a via de saída segura é a Transcametá ligada ao bairro pela Estrada de Porto de Balsas. Definida a Transcametá com o destino de evacuação, seguiu-se para as rotas de evacuação dispostas na Tabela 11.

Tabela 11 – Rotas de Evacuação para o Bairro Nova Conquista.

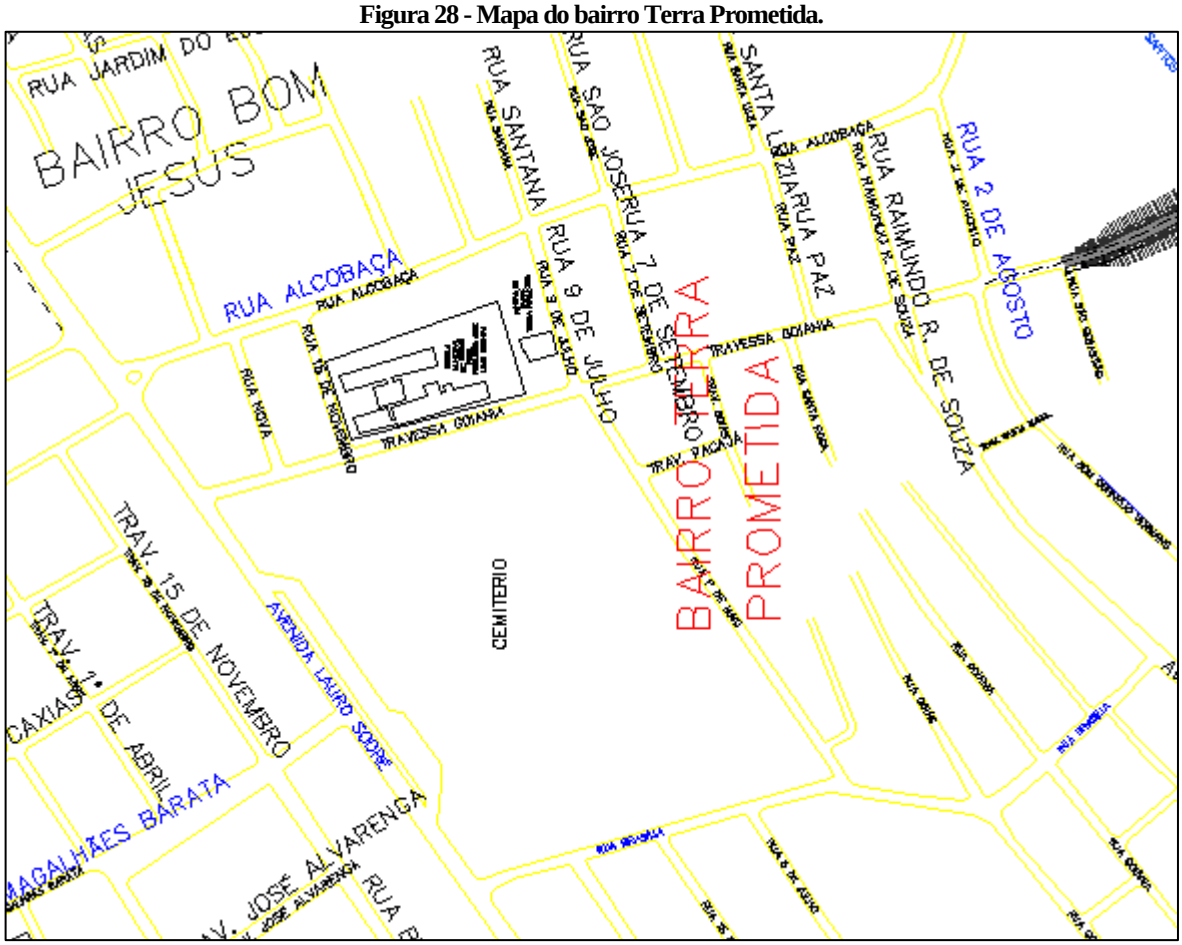
RUAS	ROTAS/RUAS				
Av. João Batista, Tv. Darci Ribeiro, Antôio Vaz, Tv. Fulgêncio Barroso,	Estrada Porto de Balsas	Transcametá			
João Soares, Chico Mendes	Tv. Fulgêncio Barroso	Estrada Porto de Balsas	Transcametá		
Pio Dias, Paulo Fonteles	Antônio Vaz	Estrada Porto de Balsas	Transcametá		
Piauí, Maranhão, Tv. Piauí	Tv. Darci Ribeiro	Estrada Porto de Balsas	Transcametá		
Tv. Canuto, Cametá	Chico Mendes	Tv. Fulgêncio Barroso	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
Jericó, Hugo Frances, Tv. Apolinário	João Soares	Tv. Fulgêncio Barroso	Estrada Porto de Balsas	Transcametá	
Bahia, Ceará	Cametá	Chico Mendes	Tv. Fulgêncio Barroso	Estrada Porto de Balsas	Transcametá

Para a evacuação do bairro foram definidas 7 rotas para atender toda as vias a serem evacuadas.

4.1.5.7 Bairro Terra Prometida

Bairro formado durante a construção da UHE-Tucuruí, conta com um total de 23 ruas (Figura 28).

Figura 28 - Mapa do bairro Terra Prometida.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

Sua via de saída é a Transcametá através da Avenida Lauro Sodré, as rotas de evacuação definidas para esse bairro encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Rotas de Evacuação para o Bairro Terra Prometida.

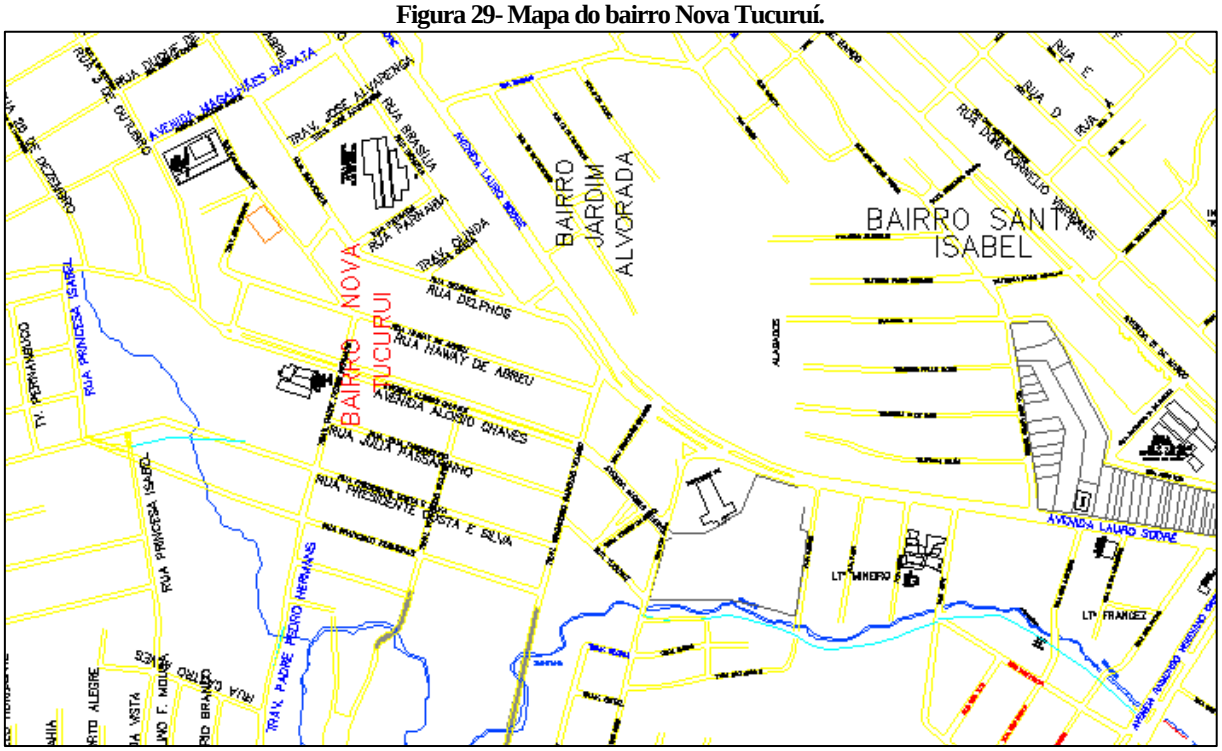
RUAS	ROTAS/RUAS			
Alcobaça, Tv.Goiânia, Brasilia	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Rua Nova, 15 de noembro, 9 de julho, 7 de setembro, Rua Paz, 2 de Agosto, Santa Rosa, São José, Santana, Santa Luzia	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Tv. Goiás, São Sebastião, Dom Cornelio, Goiás, Goiânia	Tv. Goiânia	Av. Lauro Sodré	Transcametá	
1 de maio, Raimundo Ribeiro de Souza	Brasília	Av. Lauro Sodré	Transcametá	
Pacajá	1 de maio	Brasília	Av. Lauro Sodré	Transcametá
Santa Izabel	RaimundoRibeiro de Souza	Brasília	Av. Lauro Sodré	Transcametá

Apesar de apresentar um número de ruas razoável o bairro Terra Prometida de pequena dimensão territorial comparados a outros bairros do município como: Palmares, Jardim Marilucy, Santa Monica entre outros. Foram necessárias 6 rotas para atender todas as vias do município.

4.1.5.8 Bairro Nova Tucuruí

Bairro formado durante a primeira etapa de construção da UHE-Tucuruí, localizado próximo ao centro da cidade, possui um total de 29 ruas (Figura 29).

Figura 29- Mapa do bairro Nova Tucuruí.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

Para o bairro a via de saída segura é a Trancametá acesso pela Avenida Lauro Sodré, a Tabela 13 apresenta a seleção de rotas de evacuação para o bairro.

Tabela 13 – Rotas de Evacuação para o Bairro Nova Tucuruí.

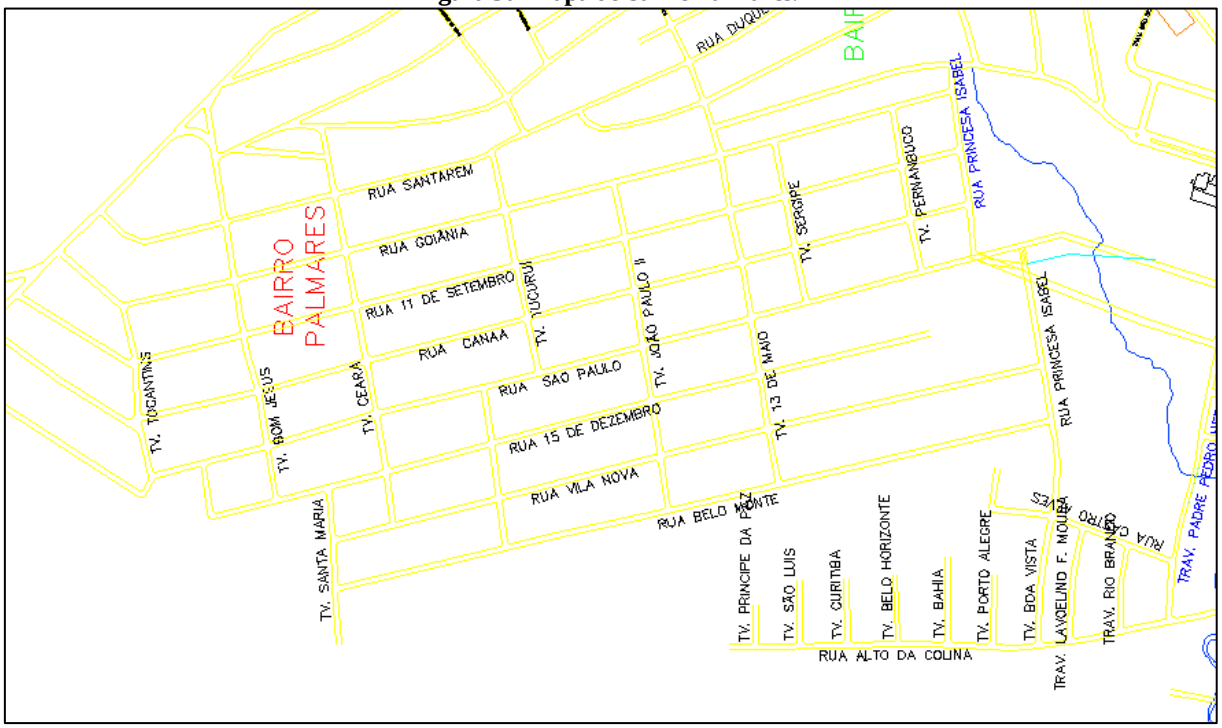
RUAS	ROTAS/RUAS			
Magalhães Barata, Brigadeiro Aroldo Veloso, Cristovão Colombo, Cametá, Pará, Acre, São Januário, 15 de Novembro, São Pedro	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Brasília, Maracanã, Maria Gonçalves	Magalhães Barata	Av. Lauro Sodré	Transcametá	
Francisco Figueira, Pres. Costa e Silva, Julia Passarinho, Haway, Delphos, Tucuruí, Av. Aloisio Chaves	Brigadeiro Aroldo Veloso	Av. Lauro Sodré	Transcametá	
Olinda, Alvarenga	Brasília	Magalhães Barata	Av. Lauro Sodré	Transcametá
Parnaíba	Maracanã	Magalhães Barata	Av. Lauro Sodré	Transcametá
Tv. São Benedito	Maria Gonçalves	Magalhães Barata	Av. Lauro Sodré	Transcametá
Tv. Padre Pedro Herman	Haway	Brigadeiro Aroldo Veloso	Av. Lauro Sodré	Transcametá
Fernando Guilhon	Av. Aloísio Chaves	Brigadeiro Aroldo Veloso	Av. Lauro Sodré	Transcametá

Para atender a evacuação do bairro foram estabelecidas 8 rotas de encaminhamento para a área segura.

4.1.5.9 Bairro Palmares

O bairro Palmares se formou durante a construção da UHE-Tucuruí, conta com um total de 29 ruas (Figura 30).

Figura 30- Mapa do bairro Palmares.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

O Palmares é um bairro que para acessa as vias de saídas do município precisam percorrer outros bairros, para decidir em qual via seguir foi determinada que a via mais interessante seria a mesma que se conectasse ao bairro e também a Transcametá, está considerada o caminho seguro de saída do município, a via que atendeu está proposta foi a Avenida Magalhães Barata (bairro Nova Tucuruí). O roteamento para o bairro Palmares encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Rotas de Evacuação para o Bairro Palmares.

RUAS	ROTAS/RUAS							
Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá					
Tv. Bom Jesus, Tv. Ceará, Tv. 13 de maio, Tv. Tucuruí	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá				
Goiânia, 11 de setembro, Canaã, São Paulo, 15 de Dezembro, Vila Nova, Belo Monte	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá			
João Paulo II, Santa Maria	Belo Monte	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Tv. Sergipe, Tv. Pernambuco, Tv. Tocantins	Goiânia	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Princesa Izabel	São Paulo	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá		
Castro Alves, Alto da Colina	Princesa Izabel	São Paulo	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá	

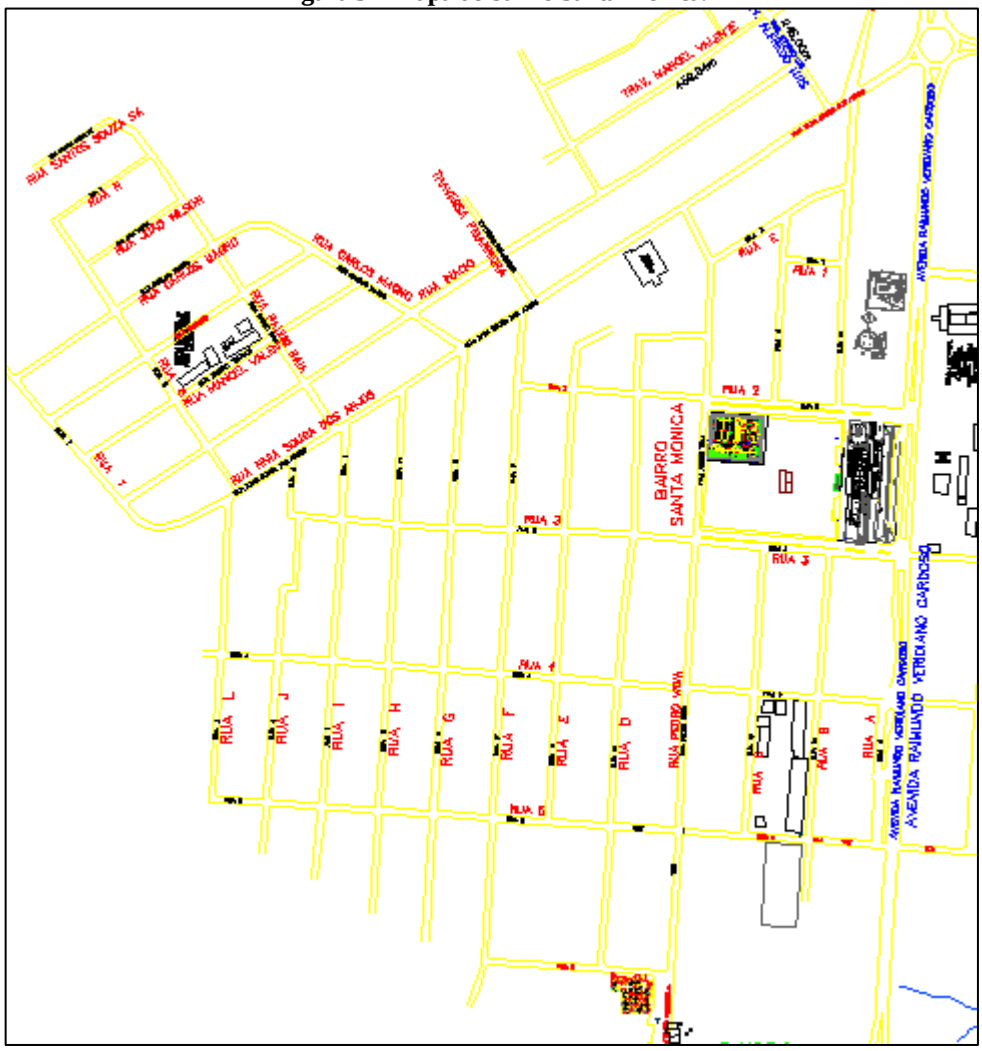
Tv. Principe da Paz, Tv. São Luiz, Tv. Curitiba, Tv. Belo Horizonte, Tv. Bahia, Tv. Porto Alegre, Tv. Boa Vista, Tv. Livelino, Tv. Rio Branco	Alto da Colina	Princesa Izabel	São Paulo	Tv. 13 de Maio	Santarém	Av. Magalhães Barata (Nova Tucuruí)	Av. Lauro Sodré	Transcametá

Foram estabelecidos 9 roteamentos para atender todas as vias do bairro, isso se dá ao fato que o apresenta uma distribuição viária mal distribuição viária.

4.1.5.10 Bairro Santa Mônica

Bairro que se formou durante a década de 70, possui um total de 32 ruas (Figura 31). Passando paralelamente ao bairro está a Avenida Veridiano Cardoso, essa que seguindo mais adiante passa a ser a BR-422 sentido Novo Repartimento, com isso a via de saída para este bairro.

Figura 31- Mapa do bairro Santa Mônica.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

Na Tabela 15 estão dispostas as rotas de evacuação definidas para este bairro.

Tabela 15 – Rotas de Evacuação para o Bairro Santa Mônica.

RUAS	ROTAS/RUAS					
2, 3, 4,5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)				
A, D,E, F, G, H, I, J, L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)			
B, C	2	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)			
Pedro Vigia	3	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)			
1	B	2	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)		
Carlos Magno	G	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)		

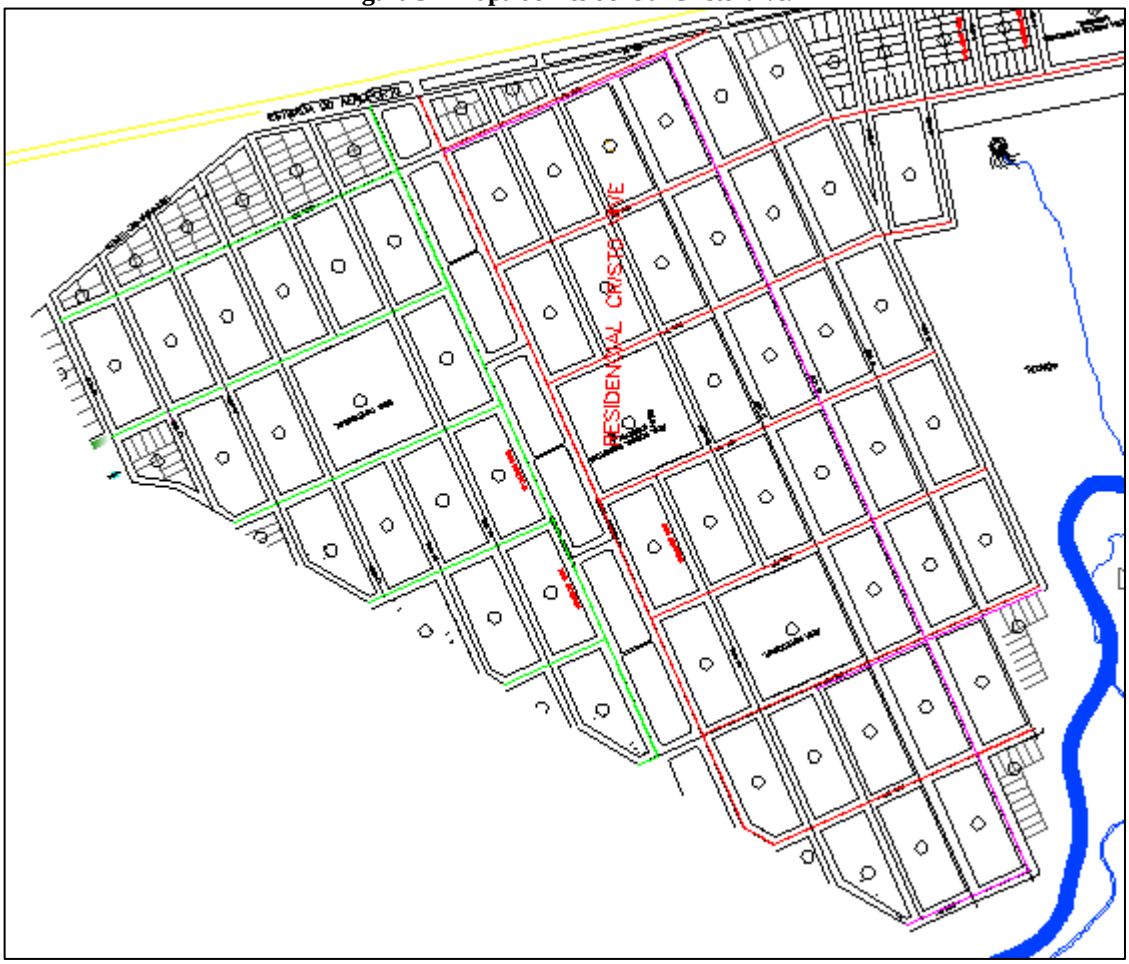
Nivia	L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)		
Pigarreiras,Alfred, 7, 8, 9, Paulo Baia	Nivia	L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)	
N	8	Nivia	L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)
Santos Souza Sá	Paulo Baia	Nivia	L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)
Joâo Wilson, Inacio, Londre	7	Nivia	L	5	Av. Veridiano Cardoso	BR-422 (Repartimento)

Santa Monica é um bairro relativamente grande em termos de dimensão territorial, isso se comparado a outros bairros do município. Foram preciso definir 11 rotas para atender todas as vias do bairro.

4.1.5.11 Residencial Cristo Vive

Residencial relativamente novo, o Cristo Vive foi construído a fim de diminuir o déficit imobiliário no município e abriga casa populares, composto por 32 ruas distribuídas de forma organizada (Figura 32).

Figura 32- Mapa do Residencial Cristo Vive.



Fonte: Prefeitura Municipal de Tucuruí- Atualizado em setembro de 2017.

Paralelo ao residencial passa a Estrada do aeroporto, única via de saída do Cristo Vive, a mesma se conecta com a BR-422 sentido Novo Repartimento, sendo assim considerada a via de saída segura para o residencial, estabelecida a via de saída seguiu-se para a definição das rotas de evacuação dispostas na Tabela 16.

Tabela 16 – Rotas de Evacuação para o Residencial Cristo Vive.

RUAS	ROTAS/RUAS			
Estradada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)			
Av. 1, Av. 2, 3, 6, 9	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)		
C, D, E, F, G, H, I, J	Av. 1, Av. 2	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)	
B	9	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)	
1, 2	G	Av. 1	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)
3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	I	Av. 1	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)
10, 11, 12	H	Av. 1	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)
13	E	Av. 1	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)
14, 16, 17, 18, 19	H	Av. 2	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)
15	F	Av. 3	Estrada do Aeroporto	BR-422 (Repartimento)

Para o Residencial Cristo Vive foram estabelecidas 10 rotas para a atender a evacuação.

4.2 METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO

4.2.1 Seleção de rota original problemática e adaptação

A metodologia proposta para esse trabalho partiu de uma adaptação ao método proposto por Zhang et al. (2016).

Após pesquisa bibliográfica entre diversas metodologias de otimização de rotas de evacuação tinha-se disponível dois horizontes que poderiam ser seguidos, um de simulação dinâmica e outro de otimização através de seleção de rotas. A falta de disponibilidade de *softwares* de simulação e o custo envolvido para obter licença de uso inviabilizou seguir pela linha de simulação. Descartada a simulação dinâmica, seguiu-se então para linha de pesquisa de otimização por seleção de rotas.

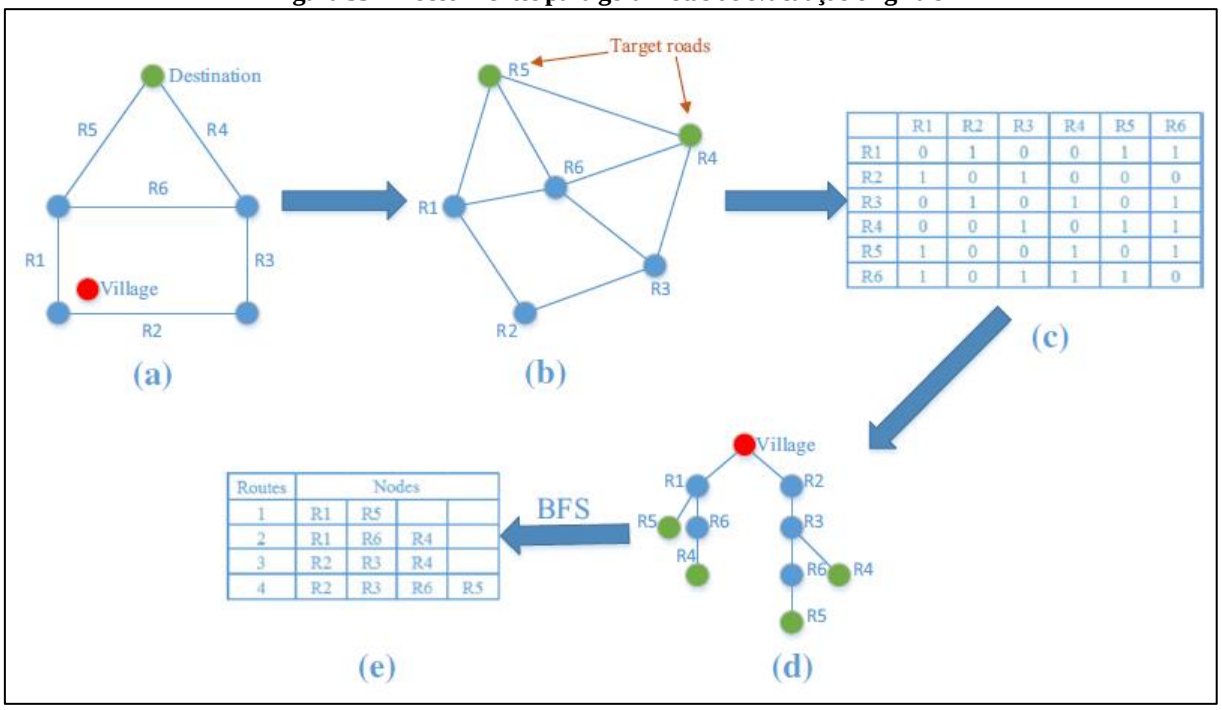
Dentre as bibliografias estudadas a proposta por Zhang et al. (2016), mostrou-se interessante pois descartava a necessidade da influência da inundação no caso de ruptura e dados de tráfego e se tratava de um método de minimização de interseções, este muito interessante quando se trata de evacuação de população urbana em larga escala. Portanto, foi

o método adotado inicialmente para este trabalho. Definido o método, seguiu-se para a aplicação, onde encontrou-se alguns desafios para a aplicação na área urbana do município de Tucuruí expostos a seguir:

a) Estrutura topológica da rede viária (caminhos de evacuação):

No método proposto por Zhang et al.(2016) a primeira etapa é a construção de uma estrutura topológica da rede viária (caminhos de evacuação) visto na Figura 33 (a, b), onde a estrutura apresenta a população a ser evacuada no caso do exemplo proposto pelos autores a população se refere a uma vila (ponto de origem), apresenta também o destino de evacuação e seus respectivos caminhos.

Figura 33 - Procedimentos para gerar rotas de evacuação originais



	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	0	1	0	0	1	1
R2	1	0	1	0	0	0
R3	0	1	0	1	0	1
R4	0	0	1	0	1	1
R5	1	0	0	1	0	1
R6	1	0	1	1	1	0

Routes	Nodes			
1	R1	R5		
2	R1	R6	R4	
3	R2	R3	R4	
4	R2	R3	R6	R5

Fonte: Zhang et al. (2016)

Na tentativa de aplicação dessa primeira etapa proposta por Zhang et al. (2016) encontrou-se uma série de problemáticas, pois em Tucuruí é preciso deslocar a população de cada via presente no município sendo assim, era impossível determinar quais vias de evacuação seriam possíveis somente identificando no mapa, ou seja, a quantidade de vias que se conectam as vias de origem de evacuação são grande e complexas pois fazem parte as vias internas aos bairros, além das vias coletoras e arteriais, com isso era praticamente impossível atender esta estrutura topológica (Fig. 33 (b)) de forma direta.

Partiu-se então para a primeira adaptação do método, iniciou-se então com a divisão do município em zonas (de acordo com os bairros) que facilitassem o gerenciamento de evacuação e criação de uma tabela de interseções entre as vias presente para cada zona, com isso tinha-se disponível todas as possibilidades em caminhos possíveis para evacuação.

b) Matriz de adjacência:

Para Zhang et al. (2016) após a construção da estrutura topológica com a representação dos seguimentos rodoviários é preciso criar uma matriz de interseções entre as rotas (Fig. 33 (c)), já para o método proposto essa etapa foi excluída, já que as tabelas de interseções propostas já incluíam a matriz de adjacência proposta pelos autores.

c) Tabela de rota de evacuação original:

A etapa seguinte definida por Zhang et al. (2016) é a criação da tabela de rota de evacuação de rotas (Figura 33 (e)), que é a inserção em tabela de rotas disponíveis tiradas a partir da matriz de adjacências de forma decrescente. Dando continuidade da aplicação do método para o município de Tucuruí identificou-se outra problemática, que foi o emaranhado e quantidade de rotas possíveis, pois como o método define a seleção de rotas a partir do ponto de origem da evacuação, quando aplicado a área urbana devido a quantidade e complexidade da rede viária, encontra-se também uma enorme quantidade de possiblidade de conversões e percurso de saída. Com isso teve a necessidade de uma segunda adaptação e a mais relevante ao método proposto nessa pesquisa que foi realizar a seleção de roteamento partindo do destino e não da origem.

Através de experiência na tentativa de aplicação da metodologia proposta por Zhang et al. percebeu-se que ao se definir o roteamento partindo da origem, ou seja, da população a ser evacuada, as vias que se interligam a mesma nem sempre são responsáveis pela interligação as vias de destino (vias que encaminham a área segura) para que isso muitas vezes é preciso se encaminharem entre outras vias até finalmente chegar a via responsável pelo encaminhamento de saída englobando muitas possiblidades de conversões e maiores caminhos de evacuação.

Já quando o roteamento parte da via de destino (saída) para a via de origem, todas as vias presentes no percurso de evacuação são responsáveis pelo o encaminhamento da população em risco para as vias de saída seguras.

d) Árvore de “multi-caminhos”:

A árvore de “multi-caminhos” é a representação gráfica da tabela de rotas (Fig. 33 (d)) de fácil entendimento, onde apresenta de forma clara qual a rota mais adequada, considerando o menor número de interseções. Para a aplicação no município de Tucuruí ela não se mostrou interessante pois, após a montagem da tabela de rotas a quantidade de opções de rotas quando considera a evacuação de cada rua presente nos bairros era relativamente grande e a representação na árvore pouco representava uma aplicação viável, já que diversas rotas apresentavam a mesma quantidade de nós (interseções) e pouco conclusão se tirava dela, com isso a proposta deste trabalho é se utilizar somente a tabela de rotas e a partir dela estabelecer condicionantes que excluam vias que apresenta “tamanhos” de rotas similares, e em seguir criar outra planilha já com as rotas finais definidas.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O estudo possibilitou o desenvolvimento e a validação de uma metodologia de seleção de rotas de evacuação para o município de Tucuruí até então inexistente. O fato do método ser independente da influência de inundação e dos dados de tráfego facilita sua aplicação, proporciona baixo custo já que não utiliza *softwares* que carecem de licença e elevado custo de aplicação, se mostra um método de fácil aceitação e comunicação entre a população a ser evacuada, outro fator relevante é a aplicação para quaisquer bairro dentro do perímetro urbano do município de Tucuruí, desde bairros planejados com rede viária bem definida, como bairros que se formaram a partir de invasões e/ou apresente uma distribuição viária desordenada.

O zoneamento foi uma ferramenta muito interessante aplicada a metodologia, uma vez que reduz a área de comunicação entre a população que será evacuada, definida como a divisão dos próprios bairros para Tucuruí, facilita o entendimento de saída pois, evita ou minimiza a necessidade de percurso de evacuação em outros bairro, praticamente limita as rotas de evacuação dentro da própria zona e se interliga logo com a saída de vias para outro municípios que não serão atingindo por uma possível ruptura da UHE-Tucuruí.

As vias de saída segura disponíveis, ou seja, que levam a população em risco para outro município são as BR-422 sentido Novo Repartimento e a BR-422 sentido Transcametá, o fator da existência de poucas saídas de evacuação no município pode causar uma sobrecarga de tráfego no momento da evacuação, não é necessário a realização uma pesquisa de capacidade de tráfego para entender que somente duas vias não conseguem suportar o fluxo de veículos durante o processo de evacuação de um município, assim é necessária a aplicação de um programação de saída dos bairros de acordo com a capacidade da BR-422 nos dois sentidos, onde é possível realizar balanceamento de cargas de tráfego entre as diferentes saídas.

A adaptação do método de seleção de rotas proposto por Zhang et al. (2016) se fez necessário, uma vez que o método estabelecido pelos autores não definiu de forma clara sua aplicação para o perímetro urbano de grandes dimensões e complexidade de rede de tráfego, de forma geral o estudo utilizou duas definições da metodologia proposta pelos autores, uma foi a utilização da tabela de interseções (adjacências) e a outra foi a matriz de rotas obtida de forma crescente, onde a rota considerada a melhor opção de evacuação é aquela que apresenta menor número de interseções, o restante das definições e insumos foram obtidos através da tentativa

de aplicação do método de Zhang et al. (2016), ou seja, através dos erros e problemáticas encontradas foi-se moldando o método de seleção de rotas proposto neste trabalho.

Fator relevante para essa metodologia foi a proposta de iniciar a seleção de rotas a partir das vias de saídas segura, sendo comum não só no estudo de Zhang et al. (2016) como para outros autores presente na literatura, que iniciam a seleção de rotas partindo da população a ser evacuada, no caso do estudo da via a ser evacuação. O fato de se iniciar a seleção de rotas partindo das vias responsáveis pelo encaminhamento da população para a áreas seguras facilita o processo de seleção, uma vez que minimiza a quantidade de rotas disponíveis e a quantidade de interseções.

Ressalta-se ainda que as definições de rotas de evacuação em estudo não consideram a capacidade das vias e estado de conservação das mesmas, fator este que poderia interferir na escolha das rotas, mesmo rotas que tivessem maiores quantidades de interseções poderiam ser consideradas opções mais viáveis pelo fato de apresentarem maiores capacidades de tráfego e melhor estado de conservação. Devido a sua complexidade de dificuldade de obtenção desses dados e custos envolvidos não se tornou interessante a aplicação nesse estudo.

Outro fator relevante do método sugerido neste trabalho é a utilização de somente do mapa de Tucuruí fornecido pela prefeitura em ferramenta AutoCad®, todas as considerações para a aplicação foram retiradas dele e das tabelas de interseções, não havendo necessidade de uso de *software*s e também facilita a replicação desta metodologia em outros municípios que apresentem singularidade com o município de Tucuruí.

De forma geral o método atendeu a proposta de seleção de rotas de evacuação, foi possível realizar a otimização das mesmas com a minimização e redução dos cruzamentos, trazendo maior segurança, menor tempo de evacuação aos evacuados.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do presente trabalho é possível sugerir novas pesquisas que auxiliem na melhoria do método de seleção de rotas de evacuação propostos:

- Fazer estudo de capacidade das vias, juntamente com estudo do estado de conservação;
- Realizar estudo de programação de saída de evacuação de acordo com cada bairro do município, assim é possível determinar o tempo necessário para evacuação de cada zona, além de determinar o tempo total de evacuação que se tem disponível para o município;

- Analisar outros métodos de seleção de rotas e comparar com o proposto no presente trabalho;

- Realizar a simulação de evacuação no município, afim de se ter um dado mais real quanto ao roteamento e a comunicação entre os evacuados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Relatório de Segurança de Barragens 2015**. Brasília: ANA, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Dados sobre barragens**. Brasília: ANA, 2018.

ARLIKATTI, S.; LINDELL, M.K.; PRATER, C.S.; ZHANG, Y. Risk area accuracy and hurricane evacuation expectation of coast residents. **Environment and Behavior**, 38: 226-247, 2006.

AGUIAR, D.P.O. **Contribuição ao Estudo do Índice de Segurança de Barragens** – Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2014.

AUTODESK, Inc. **AutoCad 2012**. Version: F.51.0.0, USA. Siemens Industry Software Limited. All Rights Reserved, 2012.

ALMEIDA, M.M.A.; MENDES, R.; AMORIMC, F.N.; CIRANOD, M.; DIAS, J.M. Fundão Damcollapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. **Marine Pollution Bulletin**, 112: 359-364, 2016.

ALSNIH, R.; STOPHER, P. A review of the procedures associated with devising emergency evacuation plans. In: 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board. **Transportation Research Board**, Washington, 2004.

ARLIKATTI, S.; LINDELL, M.K.; PRATER, C.S.; ZHANG, Y. Risk area accuracy and hurricane evacuation expectations of coastal residents. **Environment and Behavior,** 38: 226–247, 2006.

BALBI, D. A. **F. Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens**: estudo de caso Barragem de Peti. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2010.

BALBI, D. A. F. Planos de Ações Emergenciais – A Experiência Brasileira. **In**: SEMINÁRIO PAE DE BARRAGENS – IEP - Paraná – 2016.

BARRET, B.; RAN, B.; PILLAI, R. Developing a dynamic traffic management modelling framework for hurricane evacuation. **Transportation Research**, 1733: 115-121, 2000.

BRASIL. Decreto nº 7.257, de 04 de agosto de 2010**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, Brasil. 06 ago. 2010a.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, Brasil. 21 set. 2010b.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo**, Brasília, DF, Brasil. 11 abr. 2012.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BBC), fevereiro de 2017.

CHENG, C.; QIAN, X.; ZHANG, Y.; WANG, Q.; SHENG, J. Estimation of the evacuation clearance time based on dam-break simulation of the Huaxi dam in Southwestern China. **Natural Hazards**, 57: 227-243, 2011.

CHEN, X.C.; YAN, M.S. Model of risk avoid and safe movement using GIS. **Remote Sensing**, 1: 20-23, 1997.

CHIU, Y.C; ZHENG, H.; VILLALOBOS, J.; GAUTAM, B. Modeling no-notice mass evacuation using a dynamic traffic flow optimization model. **IIE Transactions**, 39: 83-94, 2007.

COLLISCHONN. W.; TUCCI, C.E.M. Análise de rompimento hipotético da barragem de Ernestina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2. Porto Alegre, 1997.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Brasília, DF, 2012.

COSTA, J.P.B. **Mini-rotatórias**: Contribuição na redução de conflitos em interseções urbanas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

COVA, T.J; JOHNSON, J.P. Microsimulation of neighborhood evacuation in the urban-wildland interface. **Envirom. Plann**, 34: 2211-2229, 2002.

COVA, T.J; JOHNSON, J.P. A network flow model for land based evacuation routes. **Transportation Research Part A**, 37: 579-604, 2003.

DAGANZO, C.F.; SO. S. K. Managing evacuation networks. Institute of Transportation Studies, Department of Civil and Environmental Engineering. **Transportation Research Part B**, 45: 1424-1432, 2011.

DAY, C. A. Modeling Potencial of a Breach for a High Hazard Dam, USA. **Applied Geography**, 71: 1-8, Elizabethtown, Kentucky, 24 Apr. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **Manual de Projeto de Interseções**, Brasília, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários/ Instruções para acompanhamento e análise**, Brasília, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE (DNIT). **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço**. Brasília, 2006.

DRABEK, T.E. Human System Responses to Disaster: An Inventory of Sociological Findings. **Springer Series on Environmental Management**, New York, 1986.

EHSAN, S.; MARX, W. Assessment of the Possible Extent of Loss of Life (LOL) Downstream of Large Dams due to Dam Failure Flooding, 2014. **Jounal of River Engineering**, v. 2, n. 5, 2014.

FANG, Z.; LI, Q.; LI, Q.; HAN, L.D.; SHAW, S.L. A space-time efficiency model for optimizing intra-intersection vehicle-pedestrian evacuation movements. **Transportation Research**, 31: 112-130, 2013.

FAVAHEDIFARD, F.; AGHAKOUCHAK, A.; RAGNO, E.; SHAHROKHABADI,S.; MALLAKPOUR, I. **Lessons from the Oroville dam**. Science (print ISSN 0036-8075; online ISSN 1095-9203) is published by the American Association for the Advancement of Science, EUA, 2017.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Federal Guidelines for Dam Safety** – Emergency Action Planning for Dams, p. 63. Washington: DRAFT, 2013.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Specialty Workshop on Risk Assessment for Dams**. Institute for Dam Safety Risk Management Utah State University, Washington: DRAFT, 2001.

FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION (FERC). **Risk-Informed Decision Making Guidelines**. Washington: DRAFT, 2016.

FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION (FERC). **Engineering Guidelines Risk-Informed Decision Making. Estimation of Life Safety Consequences**. Washington: DRAFT, 2014.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures**. Washington: DRAFT, 2013.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Federal Guidelines for Dam Safety: Emergency Action Planning for Dam Owners**, Washington: DRAFT, 2004.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (FEMA). **Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management**, Washington: DRAFT, 2015.

FRANZESE, O.; HAN, L.D. Traffic modeling framework for hurricane evacuation. **Oak Ridge National Laboratory**, 2001.

GRAHAM, W.J. A procedure for estimating loss of life caused by dam failure, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation. **United States Department of The Interior**, Denver Colorado, 1999.

HAN, D.L.; YUAN, F. Evacuation Modeling and operation using dynamic traffic assignment and most desirable destination approaches. **In**: Proceedings of the 84ºth Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, 2005.

HARDY, M.; WUNDERLICH, K.; BUNCH, J.; SMITH, T. Structuring modeling and simulation analyses for evacuation planning and operation. **In**: Proceedings of the 84ºth Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010 do município de Tucuruí- PA,** disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/pa/tucurui/panorama. Brasília, 2017.

KUO, J.T.; HSU, Y.C.; TUNG, Y.K. Dam overtopping risk assessment considering inspection program**. Stoch Environ Res Risk Assess**, 22:303–313, 2008.

LI, Q.; YANG, X.; WEI, H. Integrating traffic simulation models with evacuation planning system in a GIS environment. **In**: Proceeding of the IEEE Intelligent Transportation System Conference. Canada, 2006.

LINDELL, M.K., PERRY, R.W., The protective action decision model: theoretical modifications and additional evidence**. Risk Analysis**, 32: 616–632, 2012.

LINDELL, M.K., PERRY, R.W. Communicating Environmental Risk in Multiethnic Communities. **Sage Publications Inc**., Thousand Oaks, 2004.

LIU, X.; LIM, S. Integration of spatial analysis and an agent-based model into evacuation management for shelter assignment and routing. **Journal of Spatial Science**, 61: 283-298, 2016.

LOPES, D.A. **Influência de dados topobatimétricos detalhados na modelagem hidrodinâmica de canais**: UHE Tucuruí – PA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

MOHD, N.A.K.; UMI, K.Y. A Crowd Modelling Considering Group Cohesion in the Emergency Route Planning Problems. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 8: 33-39, 2014.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de segurança e inspeção de barragens**. Brasília: MIN, 2002.

MORELAND, RICHARD, L.; LEVINE, J.M.; WINGERT, M.L. Creating the ideal group: Composition effects work. **Understanding group behavior**, 2: 11-35, 2013.

MULDER, T., ZARAGOSI, S.; JOUANNEAU, J.M.; BELLAICHE. G.; GUÉRINAUD, S.; QUERNEAU, J. Deposits related to the failure of the Malpasset Dam in 1959. **Marine Geology**, 260: 81–89, 2009.

NAGHAWI, H.; WOLSHON, B. Performance of Traffic Networks during Multimodal Evacuations: Simulation-Based Assessment. American Society of Civil Engineers. **Natural Hazards Review**, 13: 196-204, 2012.

NOGUEIRA, I.C.G**. Segregação Socioespacial Urbana no Entorno de Hidrelétrica**: Produção do Espaço em Tucuruí-Pa. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano). Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

PECK, R.B. **Judgement in Geotechnical Engineering** – The Prodessional Legacy of Ralph B. Peck. New York, 1984.

PEL, A.J.; BLIEMER, M.C.J.; HOOGENDOORN, S.P. A review on travel behaviour modelling in dynamic traffic simulation models for evacuations. **Transportation**, 39: 97-123, 2012.

PENA, H.W.A.; Souza, T.S.; Reis, L.M. **Análise da Dinâmica da Estrutura Produtiva do Município de Tucuruí, Amazônia – BRASIL**. Universidade Estadual do Pará, 2010.

PENG, M.; ZHANG, L.M. Dynamic decision making for dam-break emergency management – Part 1: Theoretical framework. **Natural Hazards and Earth System**, 13: 425-437, 2013.

PENG, M.; ZHANG, L.M. Analysis of human risks due to dam-break floods - Part 1: a new model based on Bayesian networks. **Natural Hazards**, 64: 903-933, 2012.

PENG, M.; ZHANG, L.M. Dynamic decision making for dam-break emergency management – Part 2: Application to Tangjiashan landslide dam failure. **Natural Hazards and Earth System**, 13:439-454, 2013.

PINTO, A.V. Gestão de Riscos e Segurança de Barragens. **In**: 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados. Nov - 2008.

PLOWMAN, T. Danger! Hurricane coming. **Planning**, 67: 16-21, 2001.

QU, Y.; GAO, Z.; XIAO, Y.; LI, X. Modeling the pedestrian's movement and simulation evacuation dynamic on stairs. **Safety Science**, 70: 189-201, 2014.

RADIANTI, J.; GRANMO, O.; BOUHMALA, N.; SAESHAR, P.; YAZIDI, A.; GONZALEZ. Crowd models for emergency evacuation: A review targeting human-centered sensing**. In**: System Science 46th Hawaii International Conference on, 2013.

REVISTA FORE FRONT. **Oroville Dam Highlights Infrastructure Risks**. EUA. Abril, 2017.

SAADATSERESHT, M.; MANSOURIAN, A.; TALEAI, T. Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach. Center of Excellence for Geomatics Engineering and Disaster Management. **European Journal of Operation Research**, 198: 305-314, Iran, 2009.

SANTOS, M.B. **Analise Computacional do Rompimento Hipotetico da Barragem de Tucuruí-PA com o Auxílio do *Software Mike Flood***. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental), Universidade Federal do Pará, 2017.

SCHOKKIN, J.W. **Evaluation of Emergency Evacuation Strategies in case of a Chemical Disaster for an Urban Area using a Traffic Simulation Model**. Dissertation (Master of Science) - Department of Civil Engineering-University of Twente, Netherlands, 2007.

SHEFFI, Y.; MAHMASSANI, H.; POWELL, W.B. A Transportation Network Evacuation Model. **Transportation Research**, 16: 209-218, 1982.

SIMONOVIC, S.P. Two new non-structural measures for sustainable management of floods. **Water Int,** 27:38–46, 2002.

SOUTHWORTH, F. Regional Evacuation Modelling: A State of the art Review. **Oak Ridge National Laboratory**, 1991.

STEPANOV, A.; SMITH, J.M. Multi-objective evacuation routing in transportation networks. **Eur J Oper Res**, 198:435–446, 2009.

TIERNEY, K.J., LINDELL, M.K., PERRY, R.W. Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States. **Natural Hazards and Disasters**. Washington, 2001.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway capacity Manual**. Depatament of Transportation, Washington, 2000.

TUITE, P.M; WOLSHON, B. Evacuation transportation modeling: An overview of research, development, and practice. Department of Civil and Environmental Engineering. **Transportation Research Part C**, 27: 25-45, United States, 2013.

TUCCI, C.E.M.; VILLANUEVA, A.O.N. Flood control measures in União da Vitoria and Porto União: structural vs. non-structural measures. **Urban Water,** 1:177–182, 1999.

URBANIK,T. Evacuation time estimates for nuclear power plants**. J Hazard Mater,** 72:165–180, 2000.

VALIANI, A.; CALEFFI, V.; ZANNI, A. Case Study: Malpasset Dam-Break Simulation using a Two-Dimensional Finite Volume Method. **Journal of Hydraulic Engineering**, n. 128 v. 5, 2002.

VISEU, T.; ALMEIDA, A.B. GESTÃO DO RISCO NOS VALES A JUSANTE DE BARRAGENS. **Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança**. n. 18, 2011.

WILMOT, C.G., MEDURI, N. A methodology to establish hurricane evacuation zones. In: 84th Annual Meeting for the Transportation Research Board. **Transportation Research Board**, Washington, 2005.

WILMOT, C.G.; MEI, B. Comparison of alternative trip generation models for Hurricane evacuation. **Natural Hazards Review**, 5: 170–178, 2004.

WILLIAMS, B.; TAGLIAFERRI, A.; MEINHOLD, S.; HUMMER, J.; ROUPHAIL, N. Simulation and analysis of freeway lane reversal for coastal hurricane evacuation. **Journal Unban Planning**, 133: 61-72, 2007.

WHITEHEAD, J.C.; EDWARDS, B.; WILLIGEN, V. M.; MAIOLO, J.R.; WILSON, K.; SMITH, K.T. Heading for higher ground: factors affecting real and hypothetical hurricane evacuation behavior. **Environmental Hazards,** 2: 133–142, 2000.

WU, H.-C., LINDELL, M.K., PRATEr, C.S. Logistics of hurricane evacuation in Hurricanes Katrina and Rita. **Transportation Research Part F**, 15: 445–461, 2012.

XIE, C.; LIN, D.Y.; WALLER, S.T. A dynamic evacuation network optimization problem with lane reversal and crossing elimination strategies. **Transportation Research**, 46: 295-316, 2010.

XIE, C.; TUNQUIST, M.A. **Integrated evacuation network optimization and emergency vehicle assignment**, PhD Thesis, Scholl of Civil and Environmental Engineering, New York, 2009.

YUAN, F.; HAN, L. D.; CHIN, S.; HWANG, H. “Proposed framework for simultaneous optimization of evacuation traffic destination and route assignment.”. **Transportation Research Record**, 1964: 50–58, 2006.

YUAN, W.; TAN, K.H. **An evacuation model using cellular automata**. Physica A: Statistic Mechanics and its Applications, 384: 549-566, 2007.

ZHANG, N; HUANG, H.; SU, B.; ZHANG, H. Population evacuation analysis: considering dynamic population vulnerability distribution and disaster information dissemination**. Natural Hazards**, 69: 1629-1646, China, 2013.

ZHANG, Y.; PRATER, C.S.; LINDELL, M.K. Intersection origin-destination flow optimization problem for evacuation network design. **Transportation Research**, 2234: 105-115.

ZHANG, Z.; PARR, S.A.; JIANG, H.; WOLSHON, B. Optimization model for regional evacuation transportation system using macroscopic productivity function. Department of Industrial Engineering, Tsinghua University. **Transportation Research Part B**, 81: 616-630, Beijing, China, 2015.

ZHANG, W.; ZHOU, J.; LIU, Y.; CHEN, X.; WANG, C. Emergency evacuation planning against dike-break flood: a GIS-based DSS for flood detention basin of Jingjiang in central China. **Natural Hazards**, 81: 1283-1301, 2016.

APÊNDICE A – TABELA DE INTERSEÇÕES ENTRE VIAS DO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ

Tabela 17 – Tabela de Interseções do Residencial Jardim América.

Ruas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	11A	14A	Av. A	Av. B	Av. C	Av. D	Av. E	BR422/PA156
1						x					x	x	x	x	x	x	x					x			
2	x		x	x	x															x					
3		x																					x	x	
4		x																					x		
5		x																					x	x	
6	x																						x	x	
7	x																						x	x	
8	x																						x	x	
9	x																						x	x	
10	x																						x	x	
11	x																	x					x	x	
12	x																	x					x	x	
13	x																						x	x	
14	x																		x				x	x	
15	x																					x	x		
16	x																						x		
17	x																						x		
11A											x	x									x				
14A														x							x				
Av. A	x	x																					x	x	
Av. B	x																	x	x				x	x	x
Av. C	x																						x	x	
Av. D			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x			
Av. E			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x	x	x		
BR422/PA156																					x				

Tabela 18 – Tabela de Interseções do Bairro Alto Alegre.

Ruas	Roraima	Rio Grande do Sul	Paraiba	B	C	Fortaleza	Laudiceia	Siqueira Campos	Maranhão	Tv. Alagoas	Tv. 4 de Julho	São Pedro	Jaime Pinho	Estrada Porto de Balsas
Roraima			x							x				
Rio Grande do Sul			x							x				
Paraiba	x	x							x					
B									x				x	x
C													x	
Fortaleza													x	
Laudiceia													x	x
Siqueira Campos											x		x	x
Maranhão			x	x										
Tv. Alagoas	x	x												x
Tv. 4 de Julho								x						
São Pedro														x
Jaime Pinho				x	x	x	x	x						
Estrada Porto de Balsas				x			x	x		x		x		

Tabela 19 – Tabela de Interseções do Bairro Supam.

Ruas	Av. Minas Gerais	14 de março	Rua da Paz	Domingos S Silva	Tv. Michael Jackson	Tv. Filadélfia	Tv. Aiton Miranda	Tv. California	Tv. Boa Esperança	Bom Pastor	Porto de Balsas
Av. Minas Gerais		x		x						x	x
14 de março	x				x	x	x	x	x		
Rua da Paz					x						x
Domingos S Silva	x				x	x	x	x	x		x
Tv. Michael Jackson		x		x						x	
Tv. Filadélfia		x		x							
Tv. Aiton Miranda		x		x							
Tv. California		x		x						x	
Tv. Boa Esperança		x		x							
Bom Pastor	x				x			x			
Porto de Balsa	x		x	x							

Tabela 20 – Tabela de Interseções do Bairro Beira Rio.

Ruas	Tv. 4 de Julho	Tv. Betania	Tv. Boa Nova	Av. Minas Gerais	Rua das Mangueiras	Isabel Beliche	Siqueira Campos	Esmaelino Pontes	Abilio Barroso	Adonis Moereira	Tv. Jesus Voltará	Maria Cicera	Passarela Atalaia	Est. Porto de Balsas
Tv. 4 de Julho							x		x	x				
Tv. Betania					x	x	x	x	x	x				
Tv. Boa Nova					x	x	x	x	x	x				
Av. Minas Gerais					x	x	x	x	x	x		x		
Rua das Mangueiras		x	x	x							x			x
Isabel Beliche		x	x	x							x			x
Siqueira Campos	x	x	x	x							x			x
Esmaelino Pontes		x	x	x							x			
Abilio Barroso	x	x	x	x										x
Adonis Moereira	x	x	x	x									x	x
Tv. Jesus Voltará					x	x	x	x						
Maria Cicera				x									x	
Passarela Atalaia										x		x		
Est. Porto de Balsas					x	x	x		x	x				

Tabela 21 – Tabela de Interseções do Bairro Getat.

Ruas	Tv. Rondônia	Piauí	Maranhão	Ceará	Bahia	Goias	Amazonas	Mato Grosso	Paraná	São Paulo	Amapá	Acre	Belém	Av. Brasilia	Roraima	Rio Grande do Sul	Pará	Av. Minas Gerais	Tv. Sergipe	Tv. Pernambuco	Tv. Alagoas	Tv. Paraíba	Estrada Porto de Balsas
Tv. Rondônia		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
Piauí	x													x				x	x	x			
Maranhão	x													x				x	x	x	x		
Ceará	x													x				x	x	x	x	x	
Bahia	x													x				x	x	x	x	x	
Goias	x													x				x	x	x	x	x	
Amazonas	x													x				x	x	x	x	x	
Mato Grosso	x													x				x	x	x	x	x	
Paraná	x													x				x	x	x	x		
São Paulo	x													x				x	x	x	x		
Amapá	x													x				x	x				
Acre	x													x									
Belém	x																						
Av. Brasilia		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
Roraima																		x					
Rio G. do Sul																		x					
Pará																		x					
Av. Minas Gerais		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												x
Tv. Sergipe		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x												
Tv. Pernambuco		x	x	x	x	x	x	x	x	x													
Tv. Alagoas		x	x	x	x	x	x	x	x														
Tv. Paraíba					x	x	x	x															
Estrada Porto de Balsas																		x					

Tabela 22 – Tabela de Interseções do Bairro Nova Conquista.

Ruas	Cametá	Bahia	Ceará	Piauí	Maranhão	Tv. Canuto	Av. João Batista	Chico Mendes	Pio Dias	TV. Darci Ribeiro	João Soares	Paulo Fonteles	Tv. Jericó	Tv. Antônio Vaz	Tv. Hugo Frances	Trav. Apolinário	Tv. Fulgêncio Barroso	Tv. Piauí	Estrada Porto da Balsa
Cametá		x	x	x	x			x											
Bahia	x					x													
Caerá	x					x													
Piauí	x					x				x								x	
Maranhão	x					x				x									
Tv. Canuto		x	x	x	x			x	x		x	x							
Av. João Batista								x			x	x							x
Chico Mendes	x					x				x									
Pio Dias						x	x							x	x	x	x		
TV. Darci Ribeiro				x	x			x	x		x	x							x
João Soares						x	x			x			x	x	x	x	x		
Paulo Fonteles						x	x			x				x					
Tv. Jericó											x								
Tv. Antônio Vaz									x		x	x							x
Tv. Hugo Frances									x		x								
Trav. Apolinário									x		x								
Tv. Fulgêncio Barroso								x	x		x								x
Tv. Piauí				x	x														
Estrada Porto da Balsa							x			x				x			x		

Tabela 23 – Tabela de Interseções do Bairro Terra Prometida.

Rua	Alcobaça	Tv. Goiânia	Tv. Goías	Tv. Pacajá	Tv. Santa Isabel	Rua Nova	15 de novembro	9 de Julho	1 de Maio	7 de Setembro	Rua Paz	São José	Santana	Santa Luzia	Raimundo Ribeiro de Sousa	2 de Agosto	Santa Rosa	Goiânia	Goías	São Sebastião	Lauro Sodré	Brasília	Dom Cornelio
Alcobaça						x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x				x		
Tv. Goiânia			x			x	x	x	x	x	x				x	x	x			x	x		x
Tv. Goías		x		x																			
Tv. Pacajá			x						x														
Tv. Santa Isabel															x								x
Rua Nova	x	x																					
15 de novembro	x	x																					
9 de Julho	x	x							x				x										
1 de Maio		x		x				x														x	
7 de Setembro	x	x										x											
Rua Paz	x	x												x									
São José	x									x													
Santana	x							x															
Santa Luzia	x										x												
Raimundo Ribeiro de Sousa	x	x			x																		
2 de Agosto	x	x																					
Santa Rosa		x																					
Goiás																						x	
Goiânia																						x	
São Sebastião		x																					
Lauro Sodré	x	x																				x	
Brasília									x						x			x	x		x		
Dom Cornelio					x																		

Tabela 24 – Tabela de Interseções do Bairro Nova Tucuruí.

Ruas	Francisco Figueira	Presidente Costa e Silva	Julia Passarinho	Aloísio Chaves	Haway de Abreu	Delphos	Tv. Olinda	Parnaiba	José Alvarenga	Brasilia	Maracanã	Maria Gonçalves	Tv. São Benedito	Brigadeiro Haroldo Veloso	Tucuruí	Ribeiro de Sousa	São João	Cristovão Colombo	Cametá	Pará	Belém	Acre	São Janúario	15 de Novembro	São Pedro	Av. Lauro Sodré	Padre Pedro Herman	Fernando Ghilhon	Magalhães
Francisco Figueira														x													x	x	
Presidente Costa e Silva														x													x	x	
Julia Passarinho														x													x	x	
Aloísio Chaves														x													x	x	
Haway de Abreu												x	x	x													x		
Delphos							x	x		x	x			x															
Tv. Olinda						x				x																			
Parnaiba						x				x	x																		
José Alvarenga										x	x																		
Brasilia						x	x	x	x																				x
Maracanã						x		x	x																				x
Maria Gonçalves					x								x																x
Tv. São Benedito					x							x																	
Brigadeiro Haroldo Veloso	x	x	x	x	x	x									x	x	x	x												
Tucuruí														x	x	x	x												

Ribeiro de Sousa				x											x														
São João				x											x												x			
Tv. Cristovão Colombo				x																							x			
Cametá																											x			
Pará																											x			
Belém																											x			
Acre																											x			
São Januário																											x			
15 de Novembro																											x			
São Pedro																											x			
Av. Lauro Sodré									x									x	x	x	x	x	x	x	x					x
Padre Pedro Herman	x	x	x	x	x																									
Fernando Ghilhon	x	x	x	x																										
Magalhães										x	x	x															x			

Tabela 25 – Tabela de Interseções do Bairro Palmares.

Ruas	Tv Tocantins	Tv. Bom Jesus	Tv. Santa Maria	Tv. Ceará	Santarém	Goiânia	11 de setembro	Canaa	São Paulo	15 de dezembro	Vila Nova	Belo Monte	Tv. Principe de Paz	Tv. São Luis	Tv. Curitiba	Tv. Belo Horizonte	Tv. Bahia	Tv. Porto Alegre	Tv. Boa Vista	Tv. Lovelino Moura	Tv. Rio Branco	Castro Alves	Princesa Izabel	Tv. 13 de Maio	Tv. João Paulo II	Tv. Tucuruí	Tv. Sergipe	Tv. Pernambuco	Altodacolina	Padre Pedro Hermans	MagalhãesBarata	Duque de Caxias
Tv Tocantins						x	x	x	x																							
Tv. Bom Jesus					x	x	x	x	x	x																						
Tv. Santa Maria										x	x	x																				
Tv. Ceará					x	x	x	x	x	x	x																					
Santarém		x		x																				x		x						
Goiânia	x	x		x																					x	x	x					
11 de setembro	x	x		x																			x	x	x	x		x				
Canaa	x	x		x																			x	x	x	x	x	x				
São Paulo	x	x		x																			x	x	x	x	x	x				
15 de dezembro			x	x																				x	x							
Vila Nova			x																					x	x							
Belo Monte			x																				x	x	x							
Magalhães Barata																																
Duque de Caxias																																

Tv. Principe de Paz																													x			
Tv. São Luis																													x			
Tv. Curitiba																													x			
Tv. Belo Horizonte																													x			
Tv. Bahia																													x			
Tv.Porto Alegre																													x			
Tv. Boa Vista																													x			
Tv. Lovelino Moura																					x								x			
Tv. Rio Branco																					x								x			
Castro Alves																						x								x		
Princesa Izabel						x	x	x	x																							
Tv. 13 de Maio					x	x	x	x	x	x	x	x																				
Tv. João Paulo II						x	x	x	x	x	x	x																				
Tv. Tucuruí					x	x	x	x	x																							
Tv. Sergipe						x	x	x	x																							
Tv. Pernambuco						x	x	x	x																							
Alto da colina																																

Tabela 26 – Tabela de Interseções do Bairro Santa Mônica.

Ruas	Santos de Sousa Sá	N	João Wilson	Carlos Magno	Londres	Manoel Valente	Nivia Sousa dos Anjos	Inacio	Pigarreira	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	Pedro Vigia	Av.Veridiano Cardoso	Tv. Alfredo Luis Manoel	Perimetral	Paulo Baia Souza Sá
Santos de Sousa Sá																	x																x
N																	x																x
João Wilson																	x																x
Carlos Magno																x	x							x									x
Londres				Bogotá												x	x																x
Manoel Valente				x												x	x																x
Nivia Sousa dos Anjos				x					x							x	x		x				x	x	x	x	x	x	x		x		x
Inacio				x					x							x	x														x		x
Pigarreira							x		x																								
1																				x	x												
2																					x	x	x										
3																			x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			
4																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			
5																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			
6																					x		x						x			x	
7		x	x	x	x	x	x	x																									
8				x	x	x	x	x																									
A													x	x																			
B							x			x	x	x	x	x								x											
C										x	x	x	x	x						x		x											
D											x	x	x	x	x																		

E											x	x	x	x	x																	
F							x				x	x	x	x	x																	
G				x			x					x	x	x																		
H							x					x	x	x																		
I							x					x	x	x																		
J							x					x	x	x																		
L							x						x	x																		
Pedro Vigia							x				x	x	x	x	x							x										
Av. Varidiano Cardoso							x				x	x	x	x																		
Tv. Alfredo Luis Manoel						x	x																									
Perimetral															x																	
Paulo Baia Souza Sá	x	x	x	x	x	x	x	x																								

Tabela 27 – Tabela de Interseções do Residencial Cristo Vive.

Rua/Interseção	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Avenida Central I	Avenida Central II	Aero
A																				x	x	x	x									
B																			x	x	x	x	x									
C																		x	x	x	x	x	x	x						x	x	
D																		x	x	x	x	x	x	x	x					x	x	
E																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x		
F																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
G											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
H																				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
I												x	x	x	x	x	x	x	x			x	x							x		
J											x	x																				
01							x			x																						
02																																
03							x																									x
04							x																									x
05							x																									x
06						x	x																									x
07						x	x																									x
08			x	x	x	x	x																									x
09		x	x	x	x	x	x																									x
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x																							
11	x	x	x	x	x	x	x	x	x																							
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x																							
13		x	x	x	x	x	x	x	x																							
14				x	x	x	x	x																								
15					x	x	x	x																								
16					x	x	x	x																								
17						x	x	x																								
18						x	x	x																								
19							x	x																								
Avenida Central I			x	x	x	x	x	x	x	x																						
Avenida Central II			x	x	x	x	x	x	x	x																						
Estrada do Aeroporto													x			x			x										x	x	