

ESTADO DO PIAUÍ
PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA – PMT
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO –
SEMPPLAN
Unidade de Gerenciamento do Programa Lagoas do Norte - UGP

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

Etapas II

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA E
ESTABILIDADE DO DIQUE PARNAÍBA

RELATÓRIO TÉCNICO

CONSULTORES:

José Roberto Thedim Brandt
Mário Cicareli Pinheiro
Roneí Vieira de Carvalho

CONTRATO PMT/SEMPPLAN/UGP LAGOAS DO NORTE Nº 15/2016

- NOVEMBRO DE 2017 -

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. CARACTERÍSTICAS DOS DIQUES DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS	5
2.1. Aspectos Gerais	5
2.2. Conceito de Segurança dos Diques.....	6
2.3. Exemplos de Diques no Mundo	8
2.4. Importância da Estanqueidade	9
2.5. A Experiência Brasileira.....	11
2.6. Causas de Aumento do Risco de <i>Piping</i>	12
3. DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DO DIQUE PARNAÍBA	13
4. PROGRAMA LAGOAS DO NORTE.....	21
5. ALTERNATIVAS PARA A DUPLICAÇÃO DA AVENIDA BOA ESPERANÇA	23
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	27

1. INTRODUÇÃO

O presente documento foi elaborado com a finalidade de apresentar as questões relacionadas à segurança e estabilidade do dique do rio Parnaíba, procurando contextualizar as obras existentes e as análises dos consultores do Painel de Segurança do Programa Lagoas do Norte com as solicitações do Ministério Público Estadual.

O Programa Lagoas do Norte baseia-se na implantação de medidas de saneamento básico, urbanização e controle de cheias em uma área ocupada com cerca de 92.000 habitantes, junto à foz dos rios Parnaíba e Poti. A área alvo do Programa Lagoas do Norte é vulnerável às inundações causadas pelas enchentes dos dois rios e atualmente encontra-se protegida por diques, que se desenvolvem ao longo da margem direita do rio Parnaíba e da margem esquerda do rio Poti. O dique do rio Parnaíba, denominado Dique Boa Esperança, ou simplesmente Dique Parnaíba, foi construído pelo DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento, na década de 1970. Já o dique do rio Poti, denominado Dique Mocambinho, foi construído pelo Estado do Piauí, após a grande cheia de 1985.

As análises efetuadas pelos consultores abrangem a segurança hidrológica, hidráulica e a estabilidade geotécnica da estrutura do dique, como requisito básico para atender as salvaguardas técnicas, que incluem as normas nacionais e internacionais para barragem (dique), para aprovação do Banco Mundial, órgão financiador do Programa. Nos trabalhos desenvolvidos pelos consultores do Painel de Segurança, são feitas recomendações específicas de alterações de projeto ou de adequação das obras implantadas, quando se identifica uma não conformidade em relação aos padrões de segurança.

Aproveitando o traçado e o greide do Dique Parnaíba, foi implantada a Avenida Boa Esperança, que progressivamente foi incorporada ao traçado viário dos bairros que se expandiram na área. Com o desenvolvimento espontâneo, foram sendo construídas várias benfeitorias (casas e estabelecimentos comerciais) ocupando os taludes de montante e jusante do dique, transformando-o em uma via urbana, em muitos trechos de seu perfil longitudinal.

Em 2015, na atual etapa do Programa Lagoas do Norte, dentre obras complementares de drenagem e de urbanização da área, projetou-se também a duplicação da Avenida Boa Esperança. Nesta obra, torna-se necessária a relocação das benfeitorias instaladas no talude de montante do dique, para permitir o alargamento das pistas de rolamento, ao mesmo tempo em que se implantam obras de adequação aos padrões de segurança requeridos. Essa medida de relocação de benfeitorias compatibiliza-se com as recomendações dos consultores do Painel de Segurança, que identificaram diversos problemas relacionados à ocupação irregular dos taludes dos diques que poderiam vir a comprometer a integridade das estruturas.

Nesse momento, surgiram demandas sociais contra o projeto por parte da população a ser relocada e as ações foram acatadas pela 44ª Promotoria de Justiça do Ministério

Público do Estado do Piauí (MPE). Através do Ofício 330/2016, após reunião realizada no Palácio Episcopal da Arquidiocese de Teresina, o MPE solicitou à Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação de Teresina que ***“determine realização de novo Painel de Avaliação das Condições de Estabilidade e Segurança do Dique Parnaíba a fim de responder que obras e cuidados devem ser realizados/adotados a fim de assegurar a estabilidade daquele.”*** Informou, adicionalmente que ***“o novo Painel de Segurança deve levar em consideração a não realização da duplicação da Avenida Boa Esperança, mas ao contrário, a permanência das famílias com recuo das casas em ambos os lados.”***

Nesse sentido, promoveu-se a contratação do 3º Painel de Segurança¹ com o objetivo principal de responder aos questionamentos do MPE e acrescentar elementos às análises de segurança e estabilidade feitas anteriormente.

Compondo o presente documento, no Capítulo 2 são feitas considerações sobre o projeto, a construção e manutenção de diques de proteção contra cheias e no Capítulo 3 são apresentadas as condições atuais de operação do Dique Parnaíba, com o respectivo diagnóstico de sua segurança.

No Capítulo 4 são apresentadas as principais características do Programa Lagoas do Norte, com ênfase na atual Etapa II, que prevê a duplicação da Avenida Boa Esperança. A resposta à solicitação do MPE é feita no Capítulo 5, analisando-se as alternativas de não implantação do projeto de duplicação e a permanência das famílias no talude de montante do dique, encerrando-se com conclusões e recomendações no Capítulo 6.

¹ 1º Painel de Segurança - 2006; 2º Painel de Segurança – 2015; 3º Painel de Segurança – 2017

2. CARACTERÍSTICAS DOS DIQUES DE PROTEÇÃO CONTRA CHEIAS

2.1. Aspectos Gerais

Os diques são estruturas de solo, concreto ou enrocamento (rocha) que têm por objetivo manter determinadas porções de terra secas, em relação a áreas externas que estejam com elevados níveis de água passíveis de produzir inundações, conforme mostrado na Figura 2.1. Ou seja, os diques têm a função de impedir a passagem de água de mares, lagoas e rios para terrenos adjacentes a serem mantidos secos, geralmente cidades ou estradas, localizadas em áreas sujeitas a inundações. Essa definição foi obtida de um especialista holandês e data do ano de 1100.



Figura 2.1 – Conceito de dique de proteção contra inundações.

Para alcançar a finalidade de manter seca a área protegida, dois conceitos básicos devem ser observados no projeto e construção:

- **CONCEITO HIDRÁULICO**

O dique deve ser dimensionado hidraulicamente para suportar uma determinada cheia ou nível de água elevado. Cheias acima das definidas no projeto poderão significar que o dique seja galgado e a área seca seja inundada.

- **CONCEITO ESTRUTURAL**

Independentemente do material de construção do dique, ele deve ser estanque, ou seja, não deve deixar a água passar e deve apresentar estabilidade equivalente à de uma barragem.

Esses dois conceitos devem ser muito bem resguardados e cuidadosamente definidos e a população deve estar ciente que o dique não significa uma proteção total ao longo de toda a sua vida útil. Embora exista uma probabilidade de falha de um dique caso ocorra uma vazão maior que o valor de projeto, aceitável e implícita no dimensionamento hidráulico, o dique é construído para não falhar (ou romper) sua estrutura em condições normais de operação, isto é, na ocorrência de vazões de cheias inferiores à vazão de projeto. No caso dos diques de proteção da cidade de Teresina e conforme será explicado adiante, a probabilidade de falha pelo conceito hidráulico é de apenas 1% em um ano qualquer.

Para garantir a segurança das áreas secas para as condições estabelecidas em projeto, é fundamental que haja manutenção preventiva do dique e que seja reduzido ao máximo o risco de rompimento de sua estrutura. Sobre esse assunto, o Professor da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Dr. Alberto Sayão, em entrevista à Revista Veja, em janeiro de 2012, comentou acerca do rompimento de um dique na cidade de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro: *“a combinação de fortes chuvas com a falta de manutenção e a construção irregular em barragens é muito perigosa”*.

2.2. Conceito de Segurança dos Diques

A segurança dos diques está relacionada aos conceitos hidráulico e estrutural do dimensionamento, acima destacados. No caso de um dique de proteção contra cheias de rios, o **conceito hidráulico** de dimensionamento é dado pelo estabelecimento de uma cota de coroamento para o dique, que é fixada a partir do nível da enchente de projeto, acrescida de uma folga, chamada de borda livre. Este conceito está ilustrado na Figura 2.2.

A enchente de projeto corresponde a um evento de grande magnitude, normalmente a cheia com 1% de probabilidade de ocorrência, que tem período de retorno de 100 anos; ou seja, que poderia ocorrer uma vez a cada 100 anos, em média. A borda livre mínima recomendada é de 1,00 m, podendo ser adotados valores maiores, dependendo de critérios do projetista ou do nível de proteção exigido pela instituição responsável pela implantação do projeto. Geralmente a proteção de áreas urbanas requer maior segurança, em relação a áreas rurais pouco habitadas.

Na Figura 2.3 tem-se uma representação didática do significado da enchente com 100 anos de período de retorno, ou 1% de probabilidade de ocorrer em um ano qualquer. A figura mostra uma urna com 100 bolas, sendo 1 preta (a enchente de projeto) e as demais 99 brancas (enchentes menores que a de projeto). O sorteio é feito todos os anos, repondo-se a bola retirada na urna para repetir o sorteio no ano seguinte. Assim, tem-se em todos os anos a mesma probabilidade: 1% de sair a bola preta (que seria a enchente de projeto) e 99% de sair qualquer bola branca (que seriam enchentes menores que a de projeto). Na verdade, 1% representa a probabilidade de ocorrerem enchentes iguais ou maiores que a de projeto, que poderiam levar ao galgamento da cota de coroamento do dique e inundação da parte seca.



Figura 2.2 – Conceito hidráulico de dimensionamento e de segurança dos diques.

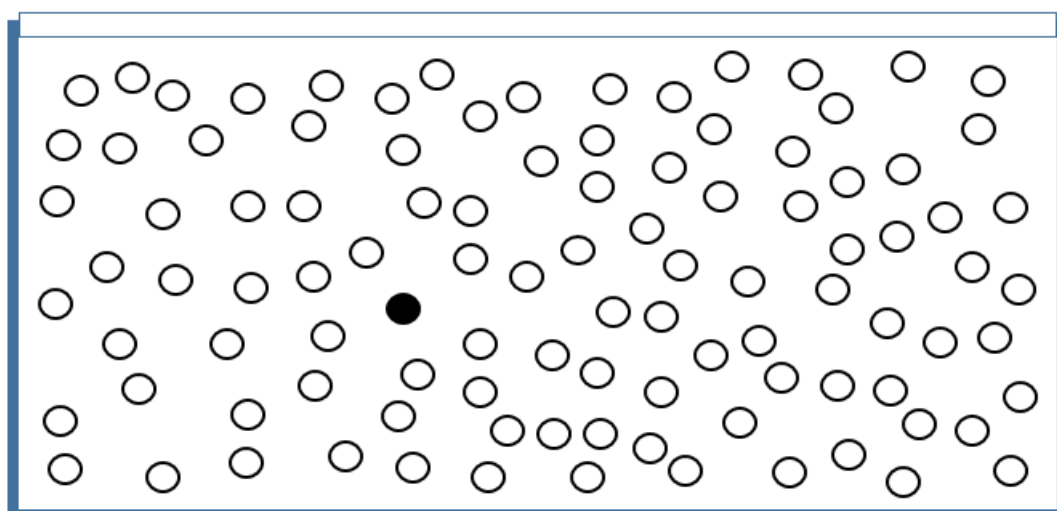


Figura 2.3 – Conceito didático da cheia com 1% de probabilidade de ocorrência ou 100 anos de período de retorno.

Quanto ao **conceito estrutural** de segurança, os diques são submetidos à presença de água na parte externa de contato com as enchentes do rio, devendo ser estanques e, mesmo que a água atravessasse o maciço, as linhas de fluxo não podem aflorar pelo talude da parte seca, conforme mostrado na Figura 2.4. Para que seja mantida a segurança estrutural, é importante evitar o crescimento de árvores nos taludes e a implantação de edificações, principalmente no talude da parte molhada, do lado do rio (lado de montante).

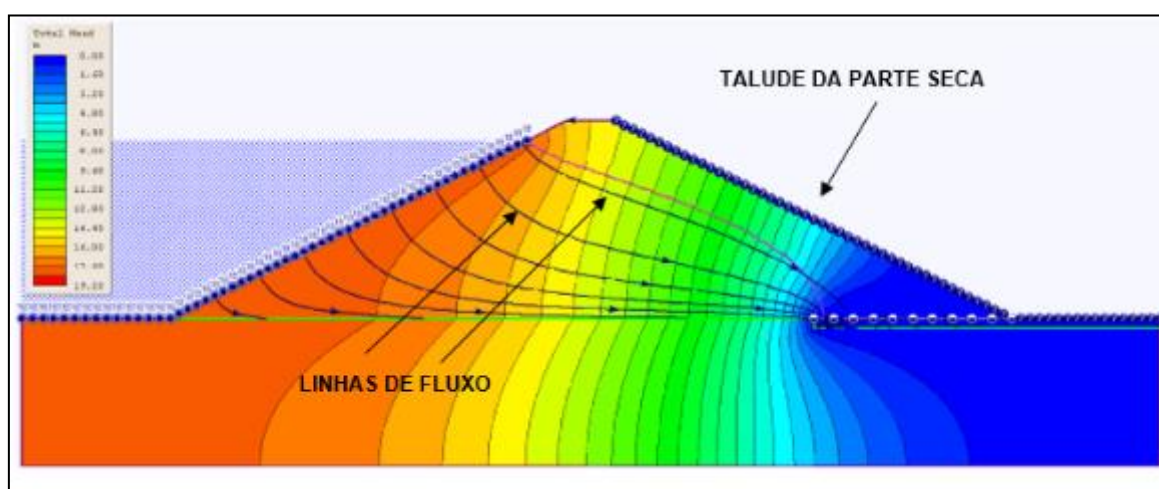


Figura 2.4 – Conceito de segurança estrutural dos diques.

Os diques, em particular os diques dos rios Poti e Parnaíba, não são submetidos a ações da água de forma permanente. Esses diques foram concebidos para proteger as áreas secas durante os períodos de grandes vazões dos rios, o que não ocorre todos os anos.

Assim, pelo fato de não serem observados problemas durante a maior parte do tempo, quando as vazões são mais baixas, podem ocorrer problemas com a manutenção das estruturas, sob a falsa impressão de que existe segurança total na proteção. Além disso, o problema principal refere-se à ocupação dos taludes dos diques com edificações, situação que é totalmente indesejável dentro das práticas de boa engenharia, pois pode comprometer a estabilidade dos maciços e criar caminhos preferenciais de percolação da água.

Muitas vezes, a aparência da estrutura, quando vistoriada visualmente, não mostra potenciais problemas, mas eles existem ou podem existir, e devem ser reparados, sob pena de ocorrência de uma vazão extrema acompanhada de chuva intensa que o dique, com a estabilidade comprometida, pode não resistir.

2.3. Exemplos de Diques no Mundo

A nação com maior conhecimento sobre diques é, sem dúvida, a Holanda. Sessenta por cento do território da Holanda está abaixo do nível do mar e o país vem travando essa luta contra as águas há mais de 900 anos.

Na Figura 2.5 estão mostrados alguns exemplos de diques de solo, construídos na Holanda. Esses são apenas dois exemplos de diques construídos utilizando solo como material de construção. O primeiro trata-se de um dique em área rural, cuja crista não tem utilização como sistema viário. Já o segundo é utilizado como uma importante rodovia, implantada na crista.

O que há de comum nessas duas fotos é a ausência de qualquer tipo de construção no corpo do dique, denotando que essa prática não é recomendada, por razões de segurança.



Figura 2.5 – Diques construídos em solo na Holanda.

Também podem ser citados como exemplo os diques de proteção ao longo do rio Mississippi, nos Estados Unidos, com extensão total de 5000 km, protegendo áreas rurais e importantes cidades, como New Orleans.

2.4. Importância da Estanqueidade

Como acima mencionado, a principal garantia que o dique de solo oferece aos usuários da área seca é a estanqueidade. Qualquer interferência no corpo do dique pode levar à perda ou redução da estanqueidade.

Essas interferências são coisas que parecem inofensivas, tais como, o plantio de uma árvore com suas raízes, a execução da escavação para uma fundação de uma edificação, a construção de um poço para retirada de água, entre outras.

Apenas como exemplo dos cuidados a serem tomados, recentemente os responsáveis por um importante dique da Holanda publicaram o seguinte artigo no Jornal “The New York Times” referindo-se à ação de animais escavadores:

Lelystad, Holanda – Para garantir que a Holanda nunca sofra com calamidades como a que devastou Nova York após a passagem do furacão Sandy, Willem van Dijk, guardião dos diques de Flevoland, província holandesa que fica mais de 3 metros abaixo do nível do mar, envia 11 homens todos os dias para combater uma grave ameaça à mais avançada rede de proteção contra tempestades do planeta.

Sua missão é matar ratos-almiscarados. Utilizando gaiolas de metal e armadilhas com cenouras, os caçadores dos roedores de Flevoland realizam um serviço simples, mas vital para o eficiente sistema de defesa holandês, composto por técnicas de controle de enchente desenvolvidas desde a Idade Média e por futurísticas estruturas de aço operadas por computadores, que se movem para controlar as enchentes causadas pelo aumento no nível da água após as tempestades.

Fonte: **Lessons for U.S. From a Flood-Prone Land**, The New York Times, By ANDREW HIGGINS, 2012. <<http://www.nytimes.com/2012/11/15/world/europe/netherlands-sets-model-of-flood-prevention.html>>

Esses roedores são os ratos almiscarados como abaixo definidos:



Os ratos-almiscarados parecem-se com um cruzamento de rato com castor. Eles vivem na água. — Scott Hansen/Bruce Coleman Inc.

O rato-almiscarado é um roedor que se parece com um pequeno castor. Os ratos-almiscarados constroem suas casas perto de lagos, rios e represas. O nome científico do rato-almiscarado é *Ondatra zibethicus*.

O rato-almiscarado é nativo da América do Norte. No início do século XX, porém, os ratos-almiscarados foram levados para o norte da Europa e para a Ásia. Logo eles se adaptaram a essas regiões.

O rato-almiscarado tem pelagem densa, quente e castanho-avermelhada, mede cerca de 33 centímetros de comprimento e possui membranas nas patas que o auxiliam a nadar. O rato-almiscarado tem esse nome porque exala um forte odor de almíscar.

O rato-almiscarado é mais ativo no final da tarde e à noite. Ele se alimenta de plantas aquáticas.

Os ratos-almiscarados vivem em grupos familiares. Sua casa pode ser uma toca ou um buraco nas margens do rio. Eles também vivem em bancos de lodo ou em plantas nas águas rasas. A fêmea do rato-almiscarado pode dar à luz várias ninhadas em um ano. A cada ninhada nascem de um a onze filhotes. Os filhotes nascem cegos, mas depois de um mês já são capazes de se cuidar sozinhos. O rato-almiscarado em geral vive por três anos em seu ambiente.

O que leva os agentes a caçarem os ratos são as suas casas que, de acordo com a definição acima “pode ser uma toca ou um buraco nas margens do rio”. Esse buraco caracteriza a redução ou perda da estanqueidade e, em consequência, redução na segurança do dique.

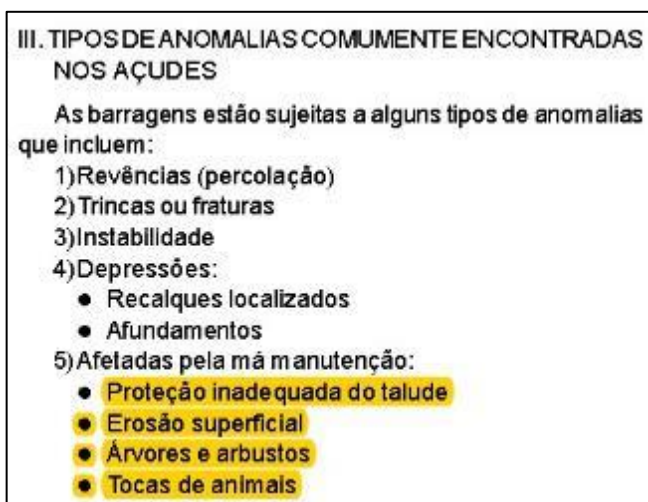
2.5. A Experiência Brasileira

A experiência brasileira em barragens e outras estruturas de contenção de águas, tais como diques, é muito ampla. O Brasil foi um dos países que mais construiu grandes obras de Usinas Hidrelétricas entre as décadas de 1970 e 1990 e continua sendo um dos países onde mais se constroem PCH (Pequenas Centrais Hidrelétricas).

Dessa forma, várias publicações importantes foram disponibilizadas, tanto pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, como por outros órgãos correlatos.

A Secretaria de Infraestrutura Hídrica do Ministério da Integração Nacional desenvolveu um Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), dentro do programa PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO – UGPO, financiado pelo Banco Mundial. Esse Manual apresenta uma sequência de ações que deve ser adotada para se fazer inspeções de estruturas de retenção de água, inclusive diques, sejam elas inspeções de rotina, formais, de especialistas ou de emergência, conforme o caso.

Em particular para estruturas construídas com terra (barragens ou diques construídos com solo), o Manual tece as principais preocupações no que diz respeito à segurança.



Importante ressaltar que a percolação (passagem de água pelo maciço do barramento) é uma importante causa de redução da segurança de um barramento.

A percolação não controlada pode causar o fenômeno de “*piping*” ou em português, “entubamento”, assim descrito no Manual:

1. PERCOLAÇÕES

A passagem da água pelo maciço e fundação é chamada de percolação.

A percolação torna-se um problema quando o solo do maciço ou da fundação é carregado pelo fluxo de água, ou quando ocorre um aumento de pressão na barragem ou na fundação. A percolação, quando não controlada pela drenagem interna incorporada na barragem e fundação, é geralmente chamada de percolação não controlada.

1.2 Problemas de Percolação:

Problemas de saturação: aumento de poropressões e saturação no maciço e na fundação causa perda de resistência.

Piping: quando a erosão começa a remover material no ponto de saída, ela progride para a direção do reservatório, dando origem ao *piping*.

Indicação de percolação: áreas molhadas com excesso de vegetação.

O “*piping*” como acima descrito é causado pelo fluxo de água no interior do maciço que começa a remover o material. A remoção do material ocorre em função da “força de percolação” que vem a ser uma força causada pelo fluxo de água sobre as partículas de solo. Essa força é função do chamado “gradiente hidráulico (i)” que é definido com a carga hidráulica (H) dividida pelo caminho de percolação (L).

A carga hidráulica é a coluna de água existente à montante do barramento. Já o caminho de percolação é a distância que a água vai percorrer até sair do interior do maciço. Assim:

$$I = H/L$$

Ou seja, quanto maior for L menor será o gradiente hidráulico e, conseqüentemente menor será a força que provoca o deslocamento das partículas. Da mesma forma, quanto menor for o L, maior será o gradiente hidráulico e, conseqüentemente maior será a força que causa o deslocamento das partículas. Assim quanto menor for o L, maior o risco de desenvolvimento de “*piping*” e mais inseguro será o barramento.

2.6. Causas de Aumento do Risco de *Piping*

Considerando que o aumento do gradiente hidráulico (i) é o principal fator de aumento do risco de piping, e que esse aumento de “i” é causado pela redução do comprimento de percolação “L”, é importante avaliar quais as causas da redução de “L”.

Em condições normais de manutenção, o comprimento “L” corresponde à largura do barramento. Quando efeitos externos ocorrem, criando buracos ou enraizamentos, esse caminho é reduzido. O Manual, anteriormente citado, mostra que:

13.6 Ecologia

CONDIÇÃO RELEVANTE: A barragem deve ser monitorada quanto à presença de animais, vegetação de porte e outros organismos, e ações de proteção da barragem deverão ser tomadas, caso necessário.

Em geral, as árvores e a mata devem ser removidas dos maciços da barragem e esses podem ser gramados, especialmente para pequenas barragens, a fim de protegê-las contra os seguintes riscos em potencial:

- redução na seção transversal da barragem
- redução da borda livre
- erosão interna (*piping*) originada pelo apodrecimento de raízes de árvores mortas, tocas escavadas por insetos ou animais etc.

Ou seja, deve-se evitar a presença de árvores ou arbustos nos taludes, em função da possibilidade de redução do caminho de percolação causado pelas raízes. Já havia sido reportado, na experiência da Holanda, o aumento de risco causado por roedores nos diques em função das tocas que fazem. Essas tocas têm efeito similar às raízes das árvores.

Em resumo, pode-se concluir que quaisquer interferências que alterem as condições geométricas nos taludes de um barramento têm influência nefasta na segurança desse barramento.

Nesse contexto, é evidente que a ocupação humana nos taludes é a mais desastrosa para a segurança dos barramentos, pois, ao se construírem edificações, são feitas escavações para as fundações, são abertos poços para captação de água, para enterrar lixo, fossas de esgoto, são feitas plantações, entre outras ações negativas que são normalmente associadas às ações do homem sobre a terra.

3. DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DO DIQUE PARNAÍBA

Nos trabalhos desenvolvidos por este Painel de Segurança, no decorrer da Etapa II do Programa Lagoas do Norte, o diagnóstico das condições atuais da estabilidade do Dique Parnaíba foi feito com base em análises das disciplinas de Hidrologia, Hidráulica Fluvial e Geotecnia. Para tanto, foram solicitados levantamentos específicos do perfil longitudinal do dique, nivelamento de marcas de cheias históricas e execução de sondagens ao longo das estruturas. Os trabalhos foram precedidos por visitas de inspeção ao campo, com participação da equipe de consultores do Painel, especializados em cada uma das disciplinas envolvidas.

Nos campos das disciplinas de Hidrologia e Hidráulica Fluvial, os estudos e análises feitos pelo Painel, em 2015, levaram à conclusão de que a enchente de 1985 e seus respectivos perfis de escoamento ao longo dos rios Parnaíba e Poti, acrescidos de uma borda livre de 1,20 m, representariam o critério consistente para avaliação da segurança do Dique Parnaíba. A enchente de 1985 apresenta um período de retorno próximo de 100 anos e a borda livre de 1,20 m, acima do valor mínimo recomendado de 1,00 m, estaria compatível com o fato de as áreas protegidas apresentarem uma alta densidade populacional e, principalmente, pelo fato de que ainda havia incertezas no levantamento das marcas de cheia ao longo do estirão fluvial do rio Parnaíba.

Entretanto, no decorrer do corrente ano, a Prefeitura Municipal de Teresina procedeu ao cadastramento das marcas da cheia de 1985 em uma ampla área, incluindo a margem esquerda do rio Parnaíba, no estado do Maranhão. Adicionalmente, foram levantadas novas seções batimétricas nos trechos fluviais de interesse, amarradas topograficamente ao perfil dos diques implantados. Os perfis de escoamento da cheia de 1985 foram reconstituídos a partir de marcas indicadas em locais específicos, como aquela marcada na calçada próxima ao Restaurante Pesqueirinho (Figura 3.1), procedendo-se aos ajustes necessários para o cálculo da declividade da linha de água. Esses ajustes foram feitos com base em estudos de Hidráulica Fluvial atuais, desenvolvidos especificamente com as

novas seções batimétricas, simulando-se diversos perfis de escoamento de vazões de cheias, empregando o modelo matemático HEC-RAS: River Analysis System, desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers.

Estes estudos adicionais promoveram a consolidação de uma base técnica de dados bastante confiável, minimizando as incertezas dos levantamentos anteriores, e permitindo a adoção de uma borda livre de 1,00 m ao invés de 1,20m como anteriormente recomendado.

As análises efetuadas podem ser sintetizadas no diagrama da Figura 3.2, que mostra os seguintes elementos: **(i)** perfil atual do coroamento do Dique Parnaíba, **(ii)** perfil de escoamento da cheia de 1985, atualizado com os levantamentos recentes e com os estudos de Hidráulica Fluvial e **(iii)** perfil recomendado para o projeto de adequação do dique, com 1,00 m de borda livre acima do perfil de escoamento da cheia de 1985. Nota-se que nas condições atuais o perfil longitudinal da cota de coroamento do dique não atende ao critério de segurança fixado, sendo necessário proceder ao alteamento do greide em praticamente toda a extensão da estrutura, no trecho representado na Figura 3.2.



Figura 3.1 – Marca da enchente de 1985 na calçada do Restaurante Pesqueirinho.

Quanto aos aspectos geotécnicos, na visita de inspeção ao campo não foram identificados indícios de instabilidade das estruturas, manifestados por trincas ou caminhos de percolação aparentes. Destaca-se que essas observações em campo são limitadas, pelo fato de grande parte da extensão do dique estar ocupada com benfeitorias, podendo encobrir eventuais indícios de instabilidade. Ademais, o dique

opera somente durante a ocorrência de grandes cheias, não estando assim submetido a esforços constantes que pudessem evidenciar possíveis rotas de percolação.

Todas essas obras incrustadas no corpo estrutural do dique representam intrusões que fragilizam a segurança do maciço quanto à estanqueidade, podendo facilitar a ocorrência de erosão interna e o colapso da estrutura, durante a ocorrência de cheias nos rios Parnaíba e Poti.

Entretanto, mesmo com essas ressalvas, pode-se constatar que a obra não se apresenta em conformidade com critérios de segurança, em razão das interferências existentes nos taludes, tais como construção de fundações para suporte a residências e estabelecimentos comerciais, perfuração de poços de abastecimento de água e fossas para águas servidas, além da existência de árvores com sistemas radiculares penetrantes e profundos. Todas essas interferências podem comprometer a estanqueidade do dique, a sua finalidade principal, que é a proteção das populações que habitam a área interna da parte seca. A Figura 3.3 mostra um exemplo típico de fundação perfurada no corpo do dique.



Figura 3.3 – Fundação construída no talude de montante do Dique Parnaíba.

Em suma, o Dique Parnaíba não apresenta garantias de segurança quanto aos aspectos hidrológicos, hidráulicos e geotécnicos, devendo passar por adequações que observem:

- Alçamento com regularização da cota de coroamento, segundo a indicação mostrada na Figura 3.2, para atender ao critério de segurança para a cheia com período de retorno de 100 anos e borda livre de 1,00 m;
- Remoção de todas as intrusões do paramento de montante, com execução de aterro de reforço para regularizar o perfil de coroamento com a borda livre recomendada e garantir a devida condição de estanqueidade durante a ocorrência de grandes cheias. Com esse aterro de reforço, resolve-se o problema de estanqueidade, podendo-se manter as benfeitorias do lado interno de jusante, com proibição de novas construções e execução de escavações de quaisquer naturezas no maciço do dique. Ademais, o reforço por montante aumenta o caminho de percolação da água, agregando a segurança relativa à estanqueidade.

O dique do rio Parnaíba foi concebido nos moldes do exemplo mostrado na Figura 2.5, na Holanda, pois serviu de base para a implantação de uma rua (na Holanda é uma rodovia). Esse tipo de utilização, se feita resguardando algumas restrições, não tem implicações negativas na segurança. A principal restrição seria: nada deve ser enterrado no corpo do dique – postes, árvores, caixas de drenagem, fossas sépticas. De fato, como

pode ser observado nas Figuras 2.1, 2.2 e 2.5, não há qualquer interferência no corpo dos diques, inclusive árvores.

No caso da Avenida Boa Esperança, construída sobre o Dique Parnaíba, observou-se uma ocupação desordenada, com construções em locais inadequados, a montante, sobre e a jusante do barramento. A Figura 3.4 mostra um poço no paramento de jusante do dique. A Figura 3.5 mostra casas construídas sobre e no paramento de montante do dique.

Existem outras inúmeras interferências a montante, sobre e a jusante do dique, tais como construções com fundações escavadas, árvores de grande porte colocadas a montante e a jusante, quase alinhadas, com raízes que se espalham (Figura 3.6), escavações para a construção de acessos que removeram parte do espaldar de montante do dique (Figura 3.7), entre outras. Esse fenômeno é sistêmico e pode ser observado em vários trechos ao longo do dique. Todas essas interferências devem ter reduzido em muito a estanqueidade do dique, impactando, conseqüentemente, na sua segurança.

Nessa medida, o reforço do dique com a remoção das referidas interferências do lado de montante deve ser considerado, de forma a restabelecer a condição de estanqueidade prevista no projeto original.



Figura 3.4 – Poço existente no paramento de jusante do dique.



Figura 3.5a – Construção sobre o dique.



Figura 3.5b – Construção a montante do dique.



Figura 3.6 – Árvores plantadas do lado montante e jusante no mesmo alinhamento.



Figura 3.7 – Escavação do talude de montante para implantação de acesso.

4. PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

O Programa Lagoas do Norte está sendo implantado pela Prefeitura Municipal de Teresina com a finalidade de promover o saneamento global de toda a área de baixada junto à confluência dos rios Parnaíba e Poti. A área apresenta terrenos baixos e alagadiços, em uma planície aluvial formada sobre paleocanais do rio Parnaíba, estando sujeita a inundações frequentes, causadas pelas enchentes dos rios, ou pela drenagem lenta das águas pluviais, quando ocorrem chuvas intensas localizadas sobre a área.

Denomina-se paleocanal aos entalhes de leitos fluviais que foram abandonados em eras geológicas passadas, apresentando depressões que são inundadas pelas enchentes, assim formando lagoas marginais ou leitos temporários de escoamento das vazões mais elevadas. As lagoas existentes na área alvo do Programa Lagoas do Norte (lagoa dos Oleiros, lagoa da Piçarreira) foram formadas sobre paleocanais do rio Parnaíba, tendo as suas características naturais alteradas por dragagens, extração de argila cerâmica, aterramentos e aberturas de canais. A Figura 4.1 mostra testemunhos de paleocanais, entalhados entre a calha atual do rio Parnaíba e a linha do Dique Parnaíba.

Para proteger as áreas vulneráveis às inundações, a partir da década de 1970 foram sendo implantadas as obras dos diques, iniciando-se pela estrutura que hoje é a Avenida Boa Esperança, ao longo da margem direita do rio Parnaíba. Na época, a ocupação urbana na área ainda não estava adensada e o traçado do dique acompanhou as faixas de terrenos mais firmes entre as linhas de paleocanais, mostradas na Figura 4.1, para evitar a remoção de solo mole e o gasto de material de construção, bem como assegurar maior garantia de estabilidade.

Após a grande enchente de 1985, as obras dos diques foram estendidas para a margem esquerda do rio Poti, completando assim a proteção total à área urbana da zona norte da cidade de Teresina.

Em 2006, iniciou-se a Etapa I do Programa Lagoas do Norte, que tinha como metas principais o saneamento dos bairros, a adequação das benfeitorias vulneráveis às inundações, a dragagem e conformação das margens das lagoas e o aumento da capacidade de bombeamento da Estação Elevatória Boa Esperança. Foram realizados estudos por um grupo de especialistas em Hidrologia, Hidráulica e Geotecnia – intitulado de Painel de Segurança de Barragem (dique é uma modalidade de barragem). Esse Painel analisou principalmente a segurança das obras de proteção contra inundações, representadas pelo sistema de polder formado pelos diques, lagoas, canais de interligação e estações de bombeamento associadas.

Nos últimos 10 anos, as obras projetadas na Etapa I do Programa Lagoas do Norte foram sendo progressivamente implantadas, destacando-se o reassentamento de benfeitorias e edificações localizadas em áreas de risco, a interceptação de esgotos, a urbanização das orlas das lagoas, criação de parques e praças, e o aumento da capacidade das estações de bombeamento. Ou seja, nessa fase as intervenções concentraram-se basicamente na área interna da região, protegida pelos diques.



Figura 4.1 – Testemunhos de paleocanais na margem direita do rio Parnaíba, em Teresina.

Atualmente, o Programa alcançou a sua Etapa II, que tem como meta ampliar ainda mais a segurança hidráulica da região através da implantação de um conjunto de intervenções, composto por:

- Alçamento dos diques nos trechos em que a altura dos mesmos não estiver atendendo aos padrões de segurança compatíveis com o tipo de obra e com a importância das áreas por eles protegidas;
- Relocação de populações situadas em áreas de risco;
- Obras de macrodrenagem (grandes bueiros / melhoria de canais / construção de comportas e implantação de um sistema de vasos comunicantes entre as lagoas de forma a amortecer o impacto das grandes chuvas);
- Melhorias nos sistemas viário e de micro drenagem;
- Construção de redes de esgoto, entre outras.

Para a implantação dessas intervenções e como consequenciadas obras requeridas, preveem-se:

- Construção de conjuntos habitacionais, para atendimento à população relocada, como uma das alternativas de reassentamento;
- Apoio às atividades do pólo cerâmico;

- Melhorias complementares do sistema viário da região, possibilitando a redução do tempo de deslocamento;
- Adequação urbanística e paisagística de toda a orla ribeirinha;
- Construção de escola de tempo integral na região;
- Melhoria e Ampliação da ETE Pirajá – Estação de Tratamento de Esgoto.
- Consolidação do pólo turístico.

5. ALTERNATIVAS PARA A DUPLICAÇÃO DA AVENIDA BOA ESPERANÇA

Conforme mencionado, dentre as intervenções previstas para a Etapa II do Programa Lagoas do Norte está a duplicação da Avenida Boa Esperança. A duplicação envolveria também a adequação do perfil de coroamento do Dique Parnaíba para cotas que garantam a segurança contra enchentes, a continuidade do reassentamento das benfeitorias localizadas em áreas de risco e a conformação urbanística e paisagística de toda a orla ribeirinha. Na Figura 5.1 pode ser visto o projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança, um dos objetos de análise no presente documento.

Para o desenvolvimento do projeto de duplicação, foram cadastradas as benfeitorias construídas no lado de montante (área externa) do dique, conforme mostrado na Figura 5.2. Todas essas benfeitorias foram consideradas como ocupando área de risco, em razão da exposição às cheias do rio Parnaíba e ao comprometimento da segurança da estrutura do dique. Logicamente, o projeto de duplicação foi desenvolvido sob a hipótese de que todas essas benfeitorias deverão ser relocadas, para permitir o traçado adequado da avenida, mas, principalmente, para agregar segurança para a população residente na região.

Em contestação a essa necessidade de relocação das benfeitorias, foram propostas as alternativas de não se implantar o projeto de duplicação ou de alterar o traçado, buscando um eixo mais próximo à calha do rio Parnaíba. As questões relacionadas a essas alternativas são analisadas detalhadamente nos subitens 5.1- Não Implantação do Projeto de Duplicação e 5.2 - Alteração do Traçado do Eixo do Projeto de Duplicação a seguir, ressaltando-se, de antemão, que a remoção das incrustações no dique está posta como uma questão de segurança, independentemente da duplicação da avenida.



Figura 5.1 – Traçado em planta da duplicação da Avenida Boa Esperança.

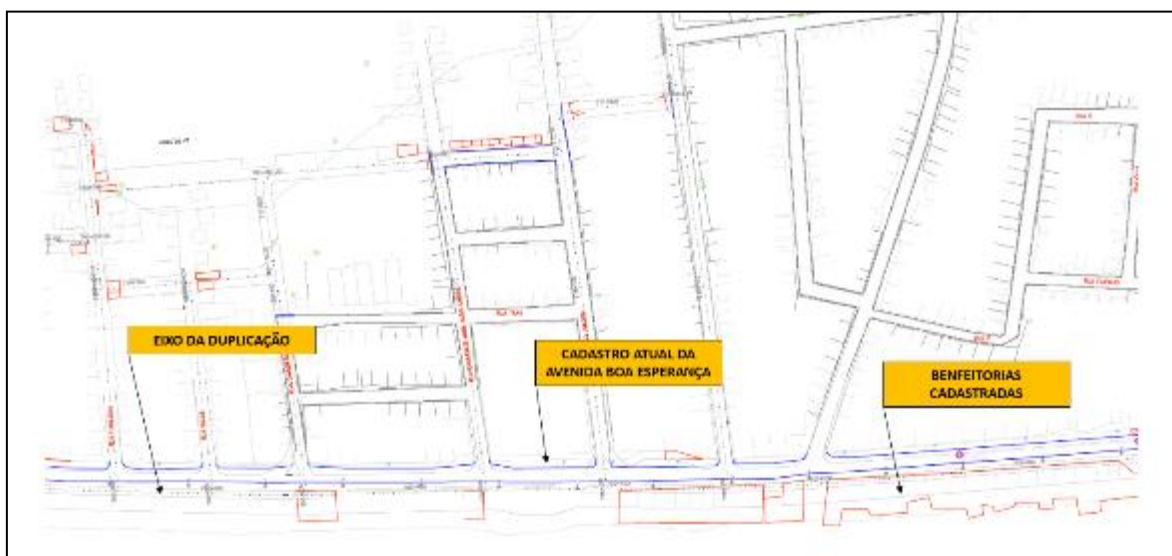


Figura 5.2 – Cadastramento de benfeitorias ocupando os taludes do Dique Boa Esperança.

5.1. Não Implantação do Projeto de Duplicação

A primeira solução alternativa proposta foi a de não implantação do projeto de duplicação da Avenida Boa Esperança, supondo que não haveria necessidade de reassentamento de benfeitorias.

O problema básico dessa alternativa é que a retirada das benfeitorias independe do projeto de duplicação, sendo imperiosa para a segurança das estruturas. Ou seja, mesmo que não se construa a nova avenida duplicada, o dique deverá ser necessariamente alteado, seguindo o perfil indicado na Figura 3.2, para ficar adequado aos critérios de projeto recomendados (cheia de projeto com 100 anos de período de retorno e borda livre de 1,00 m).

Os estudos apontam que as benfeitorias / moradias expostas ao maior risco são as que estão situadas no lado de montante do dique (lado inundável) e também são estas edificações além das árvores e outras interferências existentes que mais contribuem para o risco de desestabilização do dique.

Logo, a retirada de todas estas estruturas (edificações / árvores / postes / poços / cisternas) se faz necessária além do alteamento para que a estrutura do dique adquira os parâmetros preconizados pelas Normas Técnicas de Barragem.

A segurança, no caso, tem duas vertentes:

- Segurança para as pessoas que ocupam as benfeitorias, por estarem em uma área não protegida pela estrutura; e
- Segurança estrutural do dique, que vem tendo o maciço alterado por intrusão de fundações de casas, retirada de material para construção e plantio de árvores. Nesse caso, a segurança visa a proteção de todas as famílias que vivem nas áreas secas protegidas pelo dique e que abrange uma extensa área da região norte da cidade

Ademais, a permanência das atuais benfeitorias ao longo do tempo, como se pode verificar, estimula a ocorrência de novas ocupações nos vazios existentes, contribuindo para a progressiva subtração dos elementos que garantem a segurança estrutural do dique. Em todos os exemplos conhecidos de construção de diques para proteção contra cheias, não se conhece caso similar. Definitivamente, a ocupação dos taludes do dique, principalmente na parte de montante, representa um procedimento condenável, do ponto de vista da engenharia de segurança.

5.2. Alteração do Traçado do Eixo do Projeto de Duplicação

Como forma de evitar as relocações das benfeitorias localizadas nos taludes de montante do Dique Boa Esperança, foi sugerido um traçado alternativo para o eixo do projeto de duplicação da avenida, conforme indicado pela linha tracejada mostrada na Figura 5.3.



Figura 5.3 – Traçado alternativo para a duplicação da Avenida Boa Esperança.

Embora seja um traçado preliminar, o desenvolvimento não poderia ser muito distinto desse indicado na figura, pelas seguintes razões:

- O dique atual foi construído sobre a segunda plataforma da planície de inundação do rio Parnaíba, para efeito de garantir a estabilidade do maciço e reduzir o emprego de material de empréstimo, pois as cotas dessa plataforma são mais elevadas em relação aos terrenos adjacentes.
- O aterro do eixo proposto deverá ter a estrutura de um dique, com a devida estanqueidade e segurança geotécnica.
- Qualquer desvio do eixo em direção à calha menor do rio implica em maiores alturas de construção e, por conseguinte, maiores extensões dos taludes, cujas saias devem estar afastadas dos quintais das residências, sendo inevitável deslocar o eixo para as proximidades da orla da calha menor do rio.
- O traçado alternativo proposto deve estar deslocado em relação aos paleocanais, para evitar a sobreposição com os depósitos de solo mole que deveriam ser necessariamente removidos, para garantir a segurança estrutural e geotécnica do maciço.

Diante destas considerações, não se recomenda alterar o traçado do projeto de duplicação para mais próximo da margem do rio, pelas seguintes razões:

- Será necessário construir um novo dique muito mais complexo, com maior altura, que provavelmente demandará revestimento com enrocamento de proteção, por conta das maiores velocidades do escoamento do rio Parnaíba gerado pela redução da calha do rio. Os estudos de hidráulica fluvial indicam que as velocidades junto ao paramento de montante do dique nesse traçado alternativo seriam cerca de 5 a 6 vezes maiores que aqueles experimentados pela condição da implantação atual do dique.
- Com a construção do novo dique será necessário que a parcela do terreno localizada entre o traçado alternativo e o eixo atual da Avenida Boa Esperança seja todo aterrado ou adequado com a implantação de um novo polder, com estação de bombeamento e esquema operativo de segurança para não atingir as residências não relocadas. Isto funcionaria como uma barreira entre as atuais residências e o rio.
- A construção do novo dique poderá fazer com que o rio se desloque para a outra margem gerando impactos no outro município – o que poderá ser cobrado de Teresina. Logo será necessário adotar medidas de mitigação deste impacto, o que tornaria a obra de caráter metropolitano e não apenas municipal, dificultando enormemente a ação da Prefeitura.
- Os rios estão na alçada Federal e a Prefeitura não poderia atuar na sua calha sem a devida autorização e, por via de consequência, o processo de licenciamento também seria federal.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Desde a sua construção, na década de 1970, o Dique Boa Esperança vem sendo ocupado por benfeitorias diversas, que estão sendo incrustadas nos taludes de montante (parte molhada) e de jusante (parte seca). Até onde se tem conhecimento, esse tipo de ocupação é inédito em obras similares no Brasil e em outros países, sendo totalmente condenável, por comprometer a segurança estrutural dos maciços dos diques e podendo causar rompimentos por erosão progressiva através do aterro.

Para a implantação da Etapa II do Programa Lagoas do Norte, a Prefeitura Municipal de Teresina previu a desocupação de toda a faixa de montante do dique (área externa), de acordo com as recomendações do Painel de Segurança. Visando dar destinação útil à área desocupada e ao mesmo tempo dar a esta destinação um caráter inibidor de novas ocupações e ações predatórias, foi previsto o alargamento da Avenida Boa Esperança e a reurbanização da área, trazendo também o benefício da mobilidade na região. Se realizado com os devidos cuidados, esse alargamento pode se configurar numa utilização adequada sob o ponto de vista da segurança.

As alternativas propostas para a alteração do traçado da Avenida Boa Esperança, dentre elas a de deslocamento do eixo para a proximidade da margem do rio Parnaíba, apresenta inúmeros problemas relacionados à segurança da obra e aos custos envolvidos. Quanto à hipótese de não se implantar a duplicação da avenida, como forma de preservar as benfeitorias existentes, a mesma não se aplica ao caso, por não ser propriamente uma alternativa, já que as benfeitorias deverão ser necessariamente removidas, para as obras de nivelamento do coroamento do dique e recuperação dos taludes para adequação aos critérios de segurança indicados por este Painel e em conformidade com padrões nacionais e internacionais de segurança de obras hidráulicas.

As lições que devem ser tiradas do presente relato, tendo como base publicações científicas e dados de obras são:

- Os diques são obras que demandam manutenção sistemática e frequente. O Manual de Segurança e Inspeção de Barragens, publicado pelo Ministério da Integração, deve ser utilizado como a principal fonte de informação sobre como, quando e de que forma as inspeções devem ser feitas.
- As principais preocupações com a segurança dos diques são: estabilidade e estanqueidade. A estabilidade deve ser preservada com uma manutenção preventiva, evitando-se a implantação de edificações sobre o dique, a deterioração dos materiais e a execução de escavações dos taludes, entre outras ações. Já a estanqueidade deve ser garantida evitando-se a execução de obras sobre o dique que causem perfurações e escavações (fundações, poços e retirada de material), o plantio de árvores, a proliferação de animais cavadores, etc.

Com base nas discussões acima, pode-se reafirmar que *“o dique de proteção do rio Parnaíba, mesmo com a ocupação desordenada, não mostra sinais de instabilidades ou erosões que possam comprometer sua estabilidade, em função da distância do dique à*

margem do rio". Esse é um fato. Entretanto, nada foi dito sobre a estanqueidade. Esse é um problema que existe e compromete a segurança do dique e, por conseguinte, dos moradores das áreas internas, motivo da construção do dique. Quanto a isso, não resta dúvida.

Entende-se que os exemplos de como assegurar as obras de proteção da população resguardada por um dique são claros e vêm, na sua maioria, do país com a maior experiência nesse assunto: a Holanda.

É fundamental que sejam realizadas obras de recuperação do Dique Parnaíba, de forma a restabelecer a segurança original do projeto. Essas obras devem incluir um reforço do dique que faça frente às interferências que foram introduzidas à obra original, que reduziram, de forma clara e significativa, a estanqueidade do dique, comprometendo a segurança da população que deveria ser protegida.

Entende-se também que esse reforço deve ser executado no lado externo do dique, por se tratar da obra de maior efetividade. Trata-se de uma obra de terraplenagem, com aterro compactado, formando um novo espaldar de montante que terá como função, no mínimo, restabelecer o caminho de percolação do projeto original, além de permitir a regularização do perfil para assegurar a borda livre de 1,00 m acima da cheia de 1985.

Não se trata aqui de definir se há ou não justificativa para se fazer uma nova Avenida Boa Esperança. Trata-se de executar uma obra que garanta a segurança das famílias que deveriam estar protegidas pelo dique e que, na situação atual da obra, não está garantida.

Nessa medida, entende-se que tal ação deva ser estendida ao dique do rio Poti, ao menos no trecho entre o encontro dos rios e a Ponte Mariano Gayoso Castelo Branco. Nesse trecho, o rio apresenta uma curva que vem solapando a margem esquerda do rio, causando erosões de grande proporção. Nesse trecho, já deficiente, há diversas árvores de grande porte plantadas que comprometem, assim como no Dique Parnaíba, a estanqueidade desse outro dique.

Nesse caso, na opinião deste Painel de Segurança, existem dois problemas: de estabilidade, pelo solapamento do espaldar de montante (fenômeno que não afeta o Dique Parnaíba) e de estanqueidade, problema comum aos dois diques, em função de ocupações ou plantios, ou ambos, nos espaldares dos diques.

Como toda a segurança da área interna da região depende da integridade e eficiência dos diques, enfatiza-se a necessidade das obras de complementação das cotas de coroamento, de reforço de estanqueidade e de remoção das diversas interferências mencionadas, hoje existente no maciço dessas estruturas.

Teresina-PI, 28 de novembro de 2017.



José Roberto Thedim Brandt



Mário Cicareli Pinheiro



Ronei Vieira de Carvalho