



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



A Metodologia de Escopo Global MWSP Aplicada no Âmbito Local para Análise do Estresse Hidrológico no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca- PE: uma Contribuição à Temática da Transposição do Rio São Francisco

Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva¹; Josiclêda Domiciano Galvêncio²

¹ Geógrafa pelo Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901. (bellhannover@hotmail.com).

² Professora adjunta do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901 (josicleda@hotmail.com)

Artigo recebido em 30/08/2011 e aceite em 15/09/2011

RESUMO

Este trabalho procura avaliar o grau de Estresse Hidrológico (Eh) na área correspondente ao médio trecho da Bacia do Ipojuca – PE tomando por base dados obtidos de postos pluviométricos e fluviométricos do período de 1973-2008 do município de Caruaru, localizado no agreste do estado de Pernambuco. O valor de Estresse Hidrológico foi obtido a partir da integração dos resultados de cálculos da razão de uso dos recursos hídricos (Ru) e da vulnerabilidade às mudanças climáticas da Bacia. Os resultados obtidos indicam que há um alto estresse hidrológico na Bacia em questão e este estudo pode vir a auxiliar outros que, porventura, possam prestar um auxílio para mitigação dos efeitos decorrentes da falta de gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Palavras-chaves: razão de uso, não-estacionariedade, variabilidade das vazões, vulnerabilidade climática.

The Methodology of Global Scope MWSP Applied Locally for Analysis of Stress in Middle Section of Hydrological Basin of Ipojuca-PE: a Contribution to Theme of Transposition of the São Francisco

ABSTRACT

This paper searches to evaluate the degree of water stress (Eh) in the area corresponding to the middle portion of the Basin Ipojuca - PE based on data obtained from rain gauges and rainfall gauging the period 1973-2008 at Caruaru, located in the rough state Pernambuco. The value of Hydrological Stress was derived from the integration of results of calculations of the rate of use of water resources (Ru) and vulnerability to climate change in the Basin. The results indicate that there is a high hydrological stress in the basin in question and this study might help others that, perhaps, can give a help to mitigate the effects arising from lack of water resources management in the watershed.

Key-words: reasons of use, non-stationarity, variability of flows, climate vulnerability

1. Introdução

O relatório de 2007 do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) afirma que o aumento de temperatura observado desde a metade do século XX é resultado do aumento das

concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, provocados por atividades humanas. Nesse relatório estima-se uma probabilidade maior que 90% de que a ação antrópica na natureza seja a principal responsável pelas mudanças climáticas, que

* E-mail para correspondência: bellhannover@hotmail.com (Silva, E. R. A. C.).

se tornaram cada vez mais intensas nos últimos anos, sendo denominadas atualmente de mudanças climáticas. Para o IPCC, a terminologia mudança climática refere-se a qualquer mudança no clima durante um considerável período de tempo, independentemente se for uma variação natural ou resultado das atividades humanas.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura UNESCO (2006), as mudanças climáticas são alterações em longo prazo, originadas tanto por fatores naturais quanto pelas atividades humanas. Por outro lado a variabilidade climática é um fenômeno inerente ao clima na Terra, ou seja, referente à própria dinâmica terrestre (Galvão, 2008).

Para Souza Filho (2003), as mudanças climáticas influenciam diretamente no sistema de recursos hídricos e essas alterações do clima terminam por provocar a necessidade da adoção de práticas e instrumentos de gestão desses recursos que se ajustem e se adaptem às novas condições climáticas.

Tais alterações do clima influenciam não só em termos de variação do comportamento hidrológico como também na modificação de elementos naturais que proporcionam condições de sustentabilidade ao meio natural tais como: a fauna e a flora, originando, através dessas alterações, diferentes ambientes a partir das transformações ocorridas ao longo do tempo nos padrões de umidade, temperatura e precipitação (Tucci E Mendes, 2006; Allan,

1995).

E com vistas à mensuração da suscetibilidade das bacias hidrográficas diante de uma provável mudança nos padrões climáticos e da necessidade de se conhecer as diversas maneiras de como estão sendo utilizados os recursos hídricos, vários métodos podem ser utilizados para tal fim, inclusive métodos hidrológicos (Galvão, 2008).

Os métodos hidrológicos caracterizam-se por estabelecer vazões de restrição usando somente dados de séries históricas de vazão, entendendo que esta vazão é suficiente para a manutenção de certas características do ecossistema (Galvão, 2008). Vazão de restrição é, segundo a Agência Nacional da Águas (ANA, 2004), a vazão que deve ser mantida no rio de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, dos aspectos da paisagem, além de outros de interesse científico e cultural.

Esses métodos têm a vantagem de serem simples, baratos, de fácil aplicação e necessitar basicamente de dados hidrológicos coletados em estações fluviométricas, que, muitas vezes, são os únicos disponíveis para a região de estudo. Os métodos dessa categoria utilizam ferramentas da hidrologia estatística, como média, mediana e curva de permanência para fornecer as recomendações de vazão mínima garantida (Gonçalves, 2003).

Entretanto, eles apresentam grande especificidade em relação ao local e as

espécies para os quais foram desenvolvidos apresentando assim limitações. Dessa forma devem ser utilizados apenas em nível de levantamento preliminar na gestão de recursos hídricos e identificação de pontos críticos em bacias hidrográficas (Alves & Henriques, 1994).

Nesse sentido, estudos sobre a geração de cenários de previsões climáticas a partir de modelo de balanço hídrico são capazes de prestar auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, desse modo, tornar-se-á possível propor alternativas com alguns anos, ou até mesmo algumas décadas de antecedência, visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis (Tucci, 1998).

É importante salientar que a quantificação dos processos hidrológicos depende da observação de variáveis que possuem comportamento espacial e temporal aleatório e cuja estimativa depende de amostras confiáveis e representativas. O melhor entendimento do comportamento aleatório de uma ou mais variáveis que representam um sistema hídrico depende, em última análise, das informações observadas localmente neste sistema (Reis et al., 2008).

Segundo Marengo (2006), em razão da dificuldade que os modelos têm para representar adequadamente as características do clima regional, a experiência brasileira mostra a necessidade de se ajustar os métodos aplicáveis aos cenários de mudança do clima resultantes de modelos globais para projeções

de escopo regional ou local.

Nesse sentido, o uso de modelos hidrológicos para embasar as observações da dinâmica das bacias estudadas são extremamente importantes para que se quantifique problemas relacionados a possíveis modificações dessa dinâmica, para tal é mister que se busque a utilização de novas metodologias de estudo.

Na Austrália o Departamento de Recursos Naturais de New South Wales vem adotando desde 2006, uma metodologia denominada *Macro Water Sharing Plans* (MWSP) para determinar o grau de estresse hidrológico de determinadas bacias, tomando como parâmetros para se chegar ao resultado final, a vulnerabilidade climática da bacia pesquisada e a razão de uso dos recursos hídricos na área.

Segundo o método MWSP utilizado pelo governo de New South Wales, e no Brasil pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2006), também aplicado por Galvão (2008) na Bacia do Ribeirão Piripau, é possível estimar o estresse hidrológico através da razão entre a demanda de extração e a vazão disponível (chamado de Estresse Hidrológico – Eh), sendo este o primeiro indicador para estimativa do Potencial de Vazão Ambiental, possuindo ele como parâmetros, além do estresse hidrológico, o Valor Ecológico e Cultural e a Dependência Econômica.

Esse método será útil no sentido de apresentar novos dados que possam vir a

auxiliar no entendimento das políticas de manejo, monitoramento e conservação da área correspondente ao médio trecho da Bacia do Ipojuca bem como discorrer acerca da real necessidade por água nessa área, com vistas ao aproveitamento econômico e social avaliando estatisticamente o grau de estresse hidrológico com a aplicação da metodologia MWSP. Esse estudo é importante por se tratar de uma Bacia que receberá água proveniente da transposição do Rio São Francisco.

A mudança do fluxo de parte do leito do Rio São Francisco para áreas onde a seca é mais intensa pode representar para essas áreas um maior dinamismo econômico e social, trazendo desenvolvimento para regiões inteiras. Porém poderá acarretar futuramente impactos ambientais difíceis de serem contornados. Para Sánchez (2006), os processos geradores de impactos ambientais derivam da ação antrópicas ou do conjugado delas realizadas, em um determinado ponto.

Os dados do Ministério da Integração Nacional o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Projeto de Integração da Bacia do Rio São Francisco às Bacias do Nordeste Setentrional detalha os objetivos sociais, econômicos e ambientais do empreendimento, que pretende assegurar o fornecimento de água ao semi-árido nordestino.

Os resultados provenientes da metodologia aplicada procederá uma avaliação ambiental mais consistente para servir como parâmetro para um futuro diagnóstico ambiental. No caso deste

trabalho, procurar-se-á avaliar o projeto da transposição do Rio São Francisco no âmbito do médio trecho da Bacia do Ipojuca, que terá a dinâmica natural de sua Bacia afetada pelas obras e pelo fluxo das águas advindas da implantação desse projeto. Gerando dessa forma, em áreas que não recebiam água ou que recebiam em níveis insuficientes, novas oportunidades de utilização de terras e impactos positivos ou negativos sobre a natureza.

A partir dos resultados obtidos, poder-se-á discorrer acerca das propostas do Ministério da Integração Nacional para a transposição do Rio São Francisco, analisando a necessidade por água da área de estudo e como a transposição poderá auxiliar as populações que se encontram nas áreas beneficiadas pela obra no médio trecho da Bacia, identificando os possíveis impactos decorrentes das obras de transposição do Rio São Francisco sobre a área.

2. Área de estudo

2.1 Características gerais da Bacia do Rio Ipojuca

A Bacia do Ipojuca localiza-se totalmente em território pernambucano estando situada entre os paralelos 8° 09' 50" e 8° 40' 20" de latitude sul, e os meridianos 34° 57' 52" e 37° 02' 48" de longitude oeste do meridiano de Greenwich. Sua área cobre uma superfície de 3.433,58 km, correspondendo a 3,49% do total do estado, e seu perímetro é de 749,6 km. Os trechos superior, médio e sub-

médio da bacia estão localizados nas regiões do Sertão (em pequena porção) e agreste do Estado, enquanto que o trecho inferior tem a maior parte de sua área situada na zona da

Mata Pernambucana, incluindo a faixa litorânea do Estado (CONDEPE, 2005), (Figura 1).



Figura 1. Regiões de Desenvolvimento e Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca.

Fonte: Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – SECTMA. Elaboração: Agência CONDEPE/FIDEM.

Ao longo desse trajeto a área é reconhecida como Unidade de Planejamento Hídrico (UP 3) no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH/PE). A Bacia está limitada ao norte com a bacia hidrográfica do rio Capibaribe (UP2), ao sul com as bacias hidrográficas dos rios Una (UP 5) e Sirinhaém (UP 4); a leste com o segundo e terceiro grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos GL2 (UP 15) e GL3 (UP 16) e o oceano Atlântico e a oeste, com as bacias hidrográficas dos rios Ipanema (UP 7) e Moxotó (UP 8) e o Estado da Paraíba (CONDEPE, 2005).

O rio principal da bacia (rio Ipojuca) nasce nas encostas da serra do Pau d’Arco, no município de Arcoverde, a uma altitude de aproximadamente 900m. Seu percurso é

orientado na direção oeste-leste, com regime fluvial intermitente até seu médio curso onde torna-se naturalmente perene nos municípios de Gravatá e Chã Grande (CONDEPE, 2005), (Figura 2).

O rio Ipojuca banha diversas sedes municipais, destacando-se Sanharó, Belo Jardim, Tacaimbó, São Caetano, Caruaru, Bezerros, Gravatá, Primavera, Escada e Ipojuca (onde seu estuário sofreu enormes alterações nos últimos anos em decorrência da instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape). Sendo Pesqueira (606,79km²), Caruaru (387,62km²), São Caetano (262,37km²) e Sanharó (235,45km²), os quatro municípios com maiores áreas pertencentes à bacia (CONDEPE, 2005).

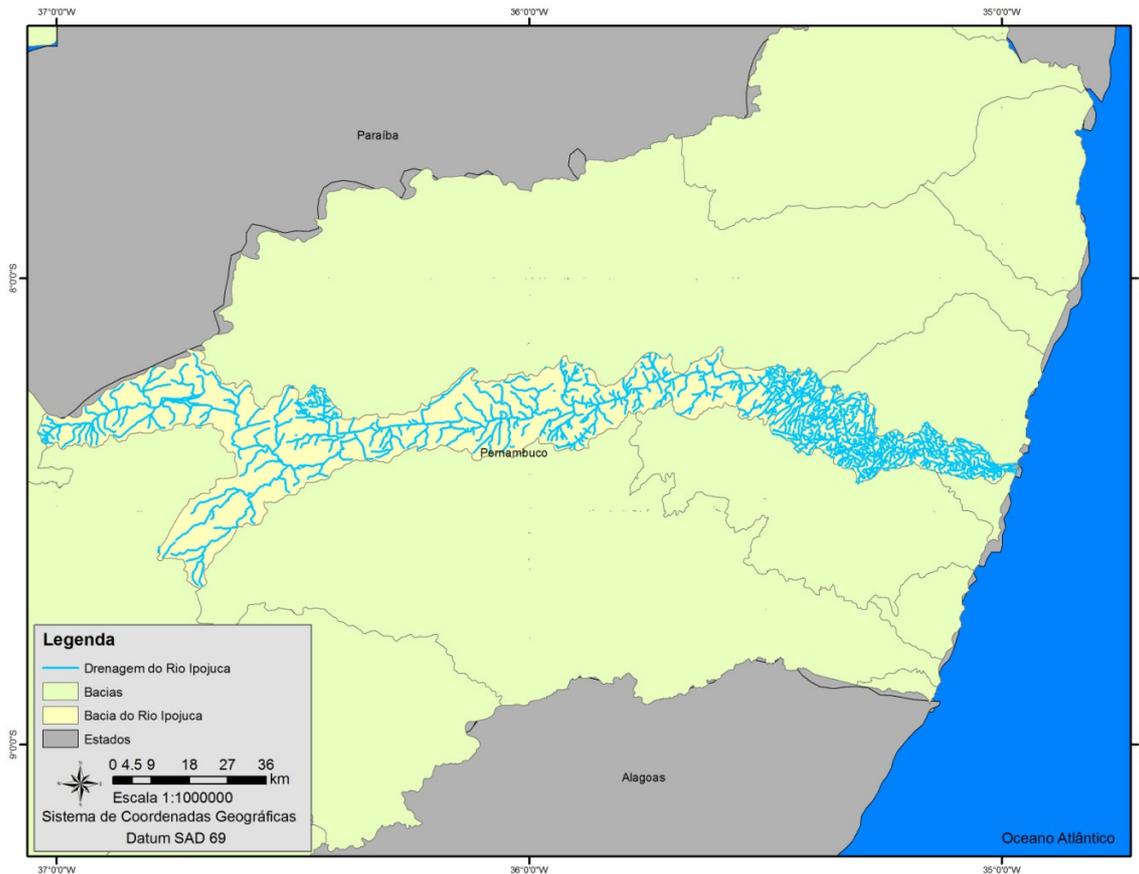


Figura 2. Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE.

2.1.1 Clima

Os trechos médio e sub-médio da bacia estão localizados na região Agreste do Estado de Pernambuco. Do ponto de vista climático, essa região é considerada intermediária entre as áreas de clima úmido (Zona da Mata) e de clima seco (Sertão), apresentando características ora de uma, ora de outra. Assim, nas áreas mais próximas ao Sertão (trechos superior e parte do médio) o clima é quente e seco (Clima Tropical semi-úmido), e o período mais chuvoso vai de fevereiro a junho (chuvas de verão/outono); já no trecho sub-médio (mais próximo da Zona da Mata), a estação chuvosa se estende de março a julho (chuvas de outono/inverno). O trecho inferior da bacia apresenta

características de clima quente e úmido, com médias pluviométricas superiores a 1.000mm anuais, alcançando mais de 2.000mm nas áreas litorâneas. O período chuvoso dura seis meses, indo de março a agosto (período de outono/inverno), (CONDEPE, 2005).

2.1.2 Vegetação

A vegetação dominante apresenta diferenças fisionômicas em consequência dos fatores edafoclimáticos, podendo, de uma maneira geral, ser considerada como uma caatinga “agrestina”, caracterizando-se pela presença de espécies xerófilas, decíduas, em grande número composta por espinhos e abundância de Cactáceas e Bromeliáceas (CONDEPE, 2005).

Nas áreas mais elevadas e expostas aos ventos úmidos (os alísios de sudeste) ocorrem os “brejos de altitude” (destacando-se como áreas de nascentes), sendo considerados ecossistemas diferenciados daqueles predominantes nas áreas mais baixas ou menos expostas. Nesses brejos observa-se a presença da mata serrana, atualmente com elevado estado de degradação sendo substituída pela policultura. Nas áreas mais úmidas da bacia, a vegetação é do tipo Floresta Perenifólia Tropical Atlântica, que hoje se encontra bastante reduzida pela ação do homem. No litoral são encontrados os manguezais, alguns em grande processo de devastação (CONDEPE, 2005).

2.1.3 Solos

Nos trechos superior, médio e sub-médio da bacia hidrográfica do rio Ipojuca predominam e destacam-se, segundo a CONDEPE (2005) e atualizado através da nova classificação dos solos, as classes de solos Planossolos, Neossolos Regolíticos,

Argissolos Amarelo e Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos, além de significativas áreas de Afloramentos de Rocha (AR). Nesses trechos também são encontradas outras classes de solos, como os Neossolos Flúvicos e os Latossolos, mas em áreas de menor expressão.

A Tabela 1 mostra que as terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens, reflorestamento e vida silvestre, que correspondem às classes II, III e IV, totalizam 1.280km² (37,30 % da área total da bacia), enquanto que as terras impróprias para cultivos intensivos e adaptados para pastagens, reflorestamento e vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras dos solos, que compreendem as classes V, VI e VII, alcançam 1.868 km² (54,43%). As terras apropriadas apenas para proteção da flora e fauna silvestres, recreação ou armazenamento d'água (classe VIII) perfazem 284 km² (8,27 %), (CONDEPE, 2005).

Tabela 1. Síntese das Classes de Capacidade de Uso das Terras na Bacia.

Classe de Capacidade de Uso(*) (**)	Trechos da Bacia Hidrográfica				
	Superior (km ²)	Médio (km ²)	Sub-médio (km ²)	Inferior (km ²)	Total (km ²)
II	-	-	11	24	35
III	90	53	22	172	337
IV	448	308	134	18	908
V	299	128	139	129	695
VI	389	158	129	159	827
VII	149	30	75	92	346
VIII	120	75	71	18	284
TOTAL	1.495	752	573	612	3.432

Fonte: Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – SECTMA. Elaboração: Agência CONDEPE/FIDEM.

(*) Foi adotado pelo Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca o esquema classificatório previsto no Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso das Terras.

(**) Classes de capacidade de uso (I a VIII): baseadas no grau de limitação de uso;

- Classe I: terras cultiváveis sem problemas de conservação;
- Classe II: terras cultiváveis com problemas simples de conservação;
- Classe III: terras cultiváveis com problemas complexos de conservação;
- Classe IV: terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação.
- Classe V: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação, cultiváveis apenas em casos muito especiais;
- Classe VI: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas moderados de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;
- Classe VII: terras adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação.
- Classe VIII: terras impróprias para cultura, pastagens ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água.

Já a Tabela 2 demonstra os tipos de uso e ocupação do solo na Bacia do Ipojuca.

Tabela 2. Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Ipojuca.

Classe	Área (km ²)	%
Área Urbana	28,89	0,84
Área explorada com o cultivo da cana-de-açúcar	652,00	19,02
Área de mata	193,78	5,64
Área de mangue	1,94	0,06
Área de vegetação arbustivo-arbórea aberta	14,00	0,41
Área de vegetação arbustivo-arbórea fechada	351,84	10,24
Vegetação arbórea fechada	246,20	7,17
Solo exposto	1,95	0,06
Antropismo	1.912,56	55,70
Açude	17,34	0,51
Uso não identificado (nuvem)	5,15	0,15
Uso não identificado (sombra)	6,93	0,20
Total	3.433,58	100,00

Fonte: Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca – SECTMA. Elaboração: Agência CONDEPE/FIDEM.

2.1.4 Utilização da água

A partir de dados referentes à caracterização da bacia do rio Ipojuca em relação aos diferentes usos da água, realizada pelo Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA (2003) com usuários da água, foi

possível então, em termos de porcentagem, constatar que há predominância primeiramente do uso animal (49,1%), seguido pelo consumo humano (20,8%), limpeza (18,1%), irrigação (6,6%), setor industrial (4,6%) e, em menor parte, geração

de energia (0,7%), conforme pode-se visualizar na Figura 3:

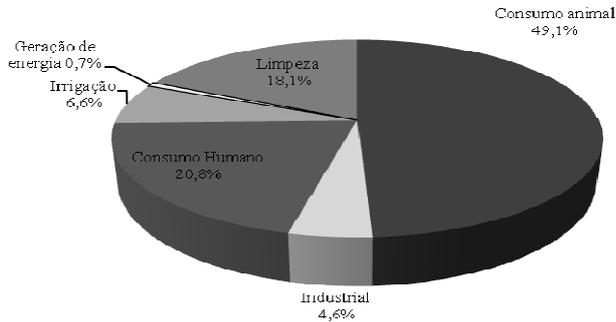


Figura 3. Utilização da água na Bacia do Ipojuca. Fonte: PNMA (2003).

2.2 Obras de transposição do Rio São Francisco

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional é um empreendimento do Governo Federal, sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional. É destinado a assegurar oferta de água, em 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de 390 municípios do Agreste e do Sertão dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (Ministério da Integração Nacional, 2011).

Segundo o Ministério da Integração Nacional, o sistema funcionará nos dois eixos da transposição. O Eixo Norte, com 402 quilômetros (km), levará água captada em Cabrobó (PE) para os rios Salgado e Jaguaribe, no Ceará; Piranhas-Açu, na Paraíba e Rio Grande do Norte; e Apodi, também no Rio Grande do Norte. Segundo o projeto, os volumes excedentes serão armazenados em reservatórios estratégicos existentes nas bacias receptoras: Chapéu e Entre Montes

(PE); Engenheiro Ávidos e São Gonçalo (PB); Atalho e Castanhão (CE); Armando Ribeiro Gonçalves, Santa Cruz e Pau dos Ferros (RN) (Figura 3) .

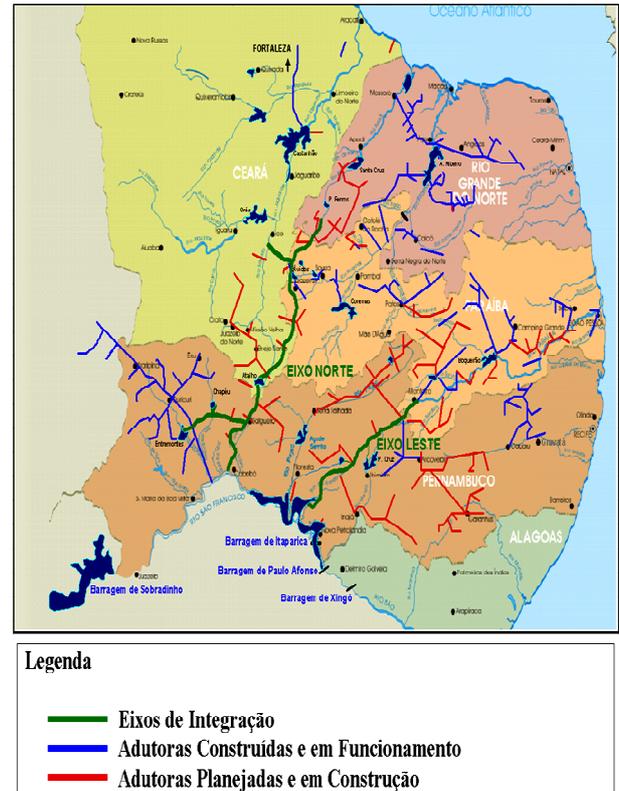


Figura 3. Andamento das obras de Transposição do Rio São Francisco. Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2011.

No Eixo Leste, as águas percorrerão a distância de 220 km, a captação será feita no lago da Barragem de Itaparica (município de Floresta-PE), e será levada até o Rio Paraíba (PB) devendo atingir os reservatórios existentes nas bacias receptoras: Poço da Cruz, em Pernambuco, e Epitácio Pessoa (Boqueirão), na Paraíba. Parte da vazão será transferida antes nas bacias dos rios Pajeú e Moxotó e para a região agreste de Pernambuco, através da existência de um ramal de 70 km que interligará o Eixo Leste à

bacia do rio Ipojuca. A vazão máxima prevista é de 28 m³ /s, mas a vazão média operacional será de 10 m³ /s. O excedente de

água será transferido para reservatórios de Poço da Cruz (PE) e de Epitácio Pessoa (em Boqueirão, PB) (Figura 4).



Figura 4. Canais projetados da transposição do rio São Francisco. Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2011.

A engenharia dos eixos de integração consiste em canais de terra abertos, de seção trapezoidal de 25 metros de largura e cinco de profundidade, com revestimento composto por uma membrana plástica impermeável, recobertos por concreto. Aquedutos estão em construção nos trechos de travessia de rios e riachos, além de túneis para a ultrapassagem de áreas com altitude mais elevada.

Para chegar ao seu destino, as águas devem vencer barreiras impostas pelo relevo. Nove estações de bombeamento para elevar a água serão construídas: três no Eixo Norte, para vencer altitudes de 165 m e seis no Eixo Leste, onde as águas serão elevadas à altitude de 304 m. Está prevista ainda a construção de 30 barragens ao longo dos canais, que funcionarão como reservatórios de

compensação para permitir o escoamento da água mesmo durante as horas em que o bombeamento esteja desligado (3 a 4 horas por dia). Fazer a transposição e manter a estrutura funcionando têm custos altos. Isso encarecerá a água para o consumidor. O custo final da água será R\$ 0,13 por 1000 litros (m³). Fonte: (Ministério da Integração Nacional, 2011).

A integração do rio São Francisco às bacias dos rios temporários do Semi-árido será possível com a retirada contínua de 26,4 m³/s de água, o equivalente a apenas 1,42% da vazão garantida pela barragem de Sobradinho (1850 m³/s), sendo que 16,4 m³/s (0,88%) seguirão para o Eixo Norte e 10 m³/s (0,54%) para o Eixo Leste (Ministério da Integração Nacional, 2011).

Os 27 reservatórios que receberão as águas transpostas do Rio São Francisco e as nove estações de bombeamento da obra terão um sistema automático e integrado de monitoramento que permitirá o acompanhamento do volume de água em cada ponto e o eventual remanejamento das áreas mais cheias para as áreas mais secas. Um centro de controle de operação interligará a tomada de água, os pontos de mudanças de direção dos canais, e a entrada em cada portal do estado para destinar o volume excedente para reservatórios estratégicos (Ministério da Integração Nacional, 2011).

3. Material e Métodos

3.1 Dados coletados

Foram utilizados neste estudo, dados obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA) através do posto fluviométrico denominado Caruaru e tendo como operadora a CPRM (coordenadas: 8°12'39"S, 35°36'10" e Código 39340000).

É importante salientar que nos dados fluviométricos utilizados, alguns anos tiveram que ser descartados, pois apresentavam algumas inconsistências, são eles: 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1993, 1994. Também houve alguns anos que não tiveram seus dados de vazão coletados pela CPRM que foram: 1995, 1996, 1997, 1998 e 1999.

3.2 Softwares utilizados

O software Excel foi utilizado na elaboração das figuras dos dados

fluviométricos bem como na tabulação dos demais dados da pesquisa. Também se utilizou o software ARCGIS 9.3 para localização espacial da Bacia.

3.3 Cálculo do Estresse hidrológico – Eh

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se como parâmetro o estudo de Galvão (2008), que se propôs a desenvolver um método de determinação de vazões ambientais mínimas em rios não regulados, levando em consideração aspectos ecológicos, hidrológicos, sociais, econômicos e culturais da região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (DF/GO). O método desenvolvido no trabalho dele é uma modificação da Metodologia australiana *Macro Water Sharing Plans* - MWSP (NSW, 2006) do Governo de New South Wales - Austrália. Este método possibilita o cálculo do Potencial de Vazão Ambiental (PVA) para uma unidade de manejo (rio, trecho de rio, etc.) e possui três níveis (baixo, médio e alto correspondendo aos valores 1, 2 e 3). O PVA foi definido como sendo o produto de três indicadores: i) o Estresse Hidrológico (Eh); ii) o Valor Ecológico e Cultural (Vec); e iii) a Dependência Econômica (De).

O passo mantido para a idealização deste trabalho corresponde ao cálculo do estresse hidrológico em parte da Bacia do Ipojuca localizada na região agreste de Pernambuco. O hidrológico é o indicador que estima o nível de impacto ao qual o curso d'água está sendo submetido e é considerado

um importante indicador da competição entre usuários de água. É calculado por meio do balanço entre oferta e demanda, levando em conta tanto os efeitos da extração de água, como também impactos climáticos nos corpos hídricos (Galvão, 2008).

Este indicador é resultado da combinação de dois parâmetros: Razão de Uso dos Recursos Hídricos (Ru) e a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Figura 5).



Figura 5. Parâmetros e subparâmetros que compõem o indicador Estresse Hidrológico – Eh. Fonte: Galvão, 2008.

3.3.1 Razão de Uso dos Recursos Hídricos – Etapa 1

O parâmetro Razão de Uso dos Recursos Hídricos é uma importante medida de impacto na extração, pois relaciona a quantidade de água disponível à quantidade de água extraída do curso d’água, critério semelhante é utilizado pelo MWSP e pelo PNRH, (Galvão, 2008). Esse parâmetro leva em consideração a demanda na extração, que neste trabalho será considerada como a demanda de água para irrigação (m³/s) no mês

mais crítico da série de vazão estudada, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões (Equação 5).

A determinação da vazão média é importante em uma bacia, por representar a disponibilidade hídrica máxima. Ela é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades (Tucci, 2002).

(Equação 5)

$$Ru = Qd / Qmed \times 100$$

Em que: Ru = Razão de Uso dos Recursos Hídricos, Qd = Demanda (m³/s) no mês mais crítico, Qmed = Vazão média de longo período (m³/s).

Depois de calculada a razão de uso, examinou-se seu valor, se a porcentagem de uso dos recursos hídricos for menor que 20%, sua razão de uso é considerada baixa, se o valor estiver no intervalo entre 20 e 50%, a razão de uso é média e se for acima de 50%, ela é alta, como mostrado a seguir (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado para o parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Ipojuca.

RAZÃO DE USO	% de uso de Ru
Baixo	RU < 20%
Médio	20 ≤ RU ≤ 50%
Alto	RU > 50%

Fonte: GALVÃO, 2008.

O segundo parâmetro para mensuração do estresse hidrológico é o parâmetro relativo à Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas, que caracteriza a vulnerabilidade da bacia hidrográfica frente às mudanças climáticas, classificando-a em três níveis: baixo (B), médio (M) e alto (A).

Ele é calculado por meio de dois subparâmetros que verificam o coeficiente de variação da série histórica de vazões (variabilidade), e do grau de estacionariedade da série histórica de vazões. Esses subparâmetros são a variabilidade climática e a não-estacionariedade da série histórica de vazões.

3.3.2 Variabilidade Climática – Etapa 2

A variabilidade das condições hidrológicas é um processo estocástico no tempo e no espaço em decorrência da combinação de vários fatores como: condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, entre outros; relevo; geologia, geomorfologia e solos; cobertura vegetal e uso do solo; ações antrópicas sobre o sistema fluvial (Tucci e Clarke, 2003 *apud* Paiva, 2003).

Sendo assim, a variabilidade hidrológica pode ser entendida como as alterações que possam ocorrer nas entradas e saídas dos sistemas hidrológicos onde as principais entradas são: a precipitação e a evapotranspiração (que depende de outras variáveis climáticas), e a principal variável de saída é: a vazão do rio (Tucci, 2003).

A variabilidade, neste caso, é estimada

por meio do coeficiente de variação das vazões no período estudado. Ele é calculado através do desvio padrão (D.P), que é dado pela fórmula abaixo (Equação 6):

Equação 6

$$\sigma = \frac{R}{d2}$$

Em que R é a amplitude média do processo e d2 é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos. Uma vez obtida a série histórica de vazões médias anuais para o curso d'água estudado, é calculado o coeficiente de variação (CV), obtido pela Equação 7, onde o desvio padrão é dividido pela média de vazão da bacia nos anos estudados e multiplicado por 100.

Equação 7

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} . 100$$

O valor encontrado deve ser comparado àqueles da Tabela 4, definindo-se assim o nível de variabilidade para a unidade de manejo avaliada. Se o valor encontrado for menor que 15% o valor é baixo, se for entre 15 e 30%, o valor é médio e maior que 30%, alto.

Tabela 4. Variação do subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões.

VARIABILIDADE	CV
Baixo	< 15%
Médio	15% ≤ CV ≤ 30%
Alto	> 30%

Fonte: Galvão, 2008.

A variabilidade climática elevada está associada à ocorrência de eventos extremos mais severos que em regiões de menor variabilidade (Souza Filho, 2003). Com a alteração de condicionantes climáticas como esta, o escoamento proveniente dessas bacias tende também a se alterar (Tucci & Mendes, 2006). Portanto, uma alta variabilidade climática e conseqüentemente hidrológica torna a região mais vulnerável a esses eventos, necessitando de rigorosos critérios de outorga e gestão de recursos hídricos (Galvão, 2008).

O segundo subparâmetro a ser avaliado é a estacionariedade da série de vazões, que pode ser estimada utilizando-se o teste de Salas (1993). Segundo este, uma série de vazões é considerada estacionária se for livre de tendências, variações ou periodicidades.

Ou seja, uma série estacionária significa que os parâmetros estatísticos das séries, como média e variância, permanecem constantes através do tempo. Desse modo, supõe-se que a seqüência de dados hidrológicos, sejam de vazão ou de precipitação, é estacionária estatisticamente no sentido de que os valores da seqüência flutuam aleatoriamente em torno de um valor médio que permanece constante no tempo, e que a dispersão dos dados em torno da média também permanece constante. Caso contrário, a série é considerada não-estacionária (Clarke, 2003).

3.3.3 Não-estacionariedade da série histórica de vazões – Etapa 3

O teste de não-estacionariedade de séries de vazões é dado pela Equação 8 derivada de Salas (1993):

Equação 8

$$tc = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} > t_{1-\frac{\alpha}{2}, v}$$

Onde:

tc (índice de estacionariedade) = valor de t

r = coeficiente de correlação entre q(i) (parâmetro) e n° de anos estudados (i) (tempo)

N = n° de anos da série

v = N- 2 graus de liberdade

$t_{1-\alpha/2, v}$ = t de *Student* a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de Student para um grau de liberdade n = N-2). O valor obtido no teste é avaliado segundo a Tabela 5.

Tabela 5. Variação do subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

NÃO-ESTACIONARIEDADE	
BAIXO	$tc < 0,9 t$
MÉDIO	$0,9 t \leq tc \leq 1,1 t$
ALTO	$tc > 1,1 t$

Fonte: Galvão, 2008.

Em que um tc menor que 0,9t (0,9 x t de *Student*) representa uma não-estacionariedade baixa, ou seja, ou a série é estacionária ou seu grau de não-estacionariedade é pequeno. Se o tc estiver num intervalo entre 0,9t e 1,1t, ela é considerada de média não-estacionariedade e se for acima de 1,1t (1,1 x t de *Student*), a

série histórica de vazões apresenta um alto grau de não-estacionariedade. É importante salientar que quando o t_c é menor que t , a série não apresenta tendência significativa de aumento ou redução, sendo considerada desse modo estacionária (Chaves et al., 1997).

3.3.4 Vulnerabilidade Climática – Etapa 4

Após encontrar os valores desses dois

subparâmetros haverá sua combinação para realização do parâmetro de vulnerabilidade às mudanças climáticas. Esses valores (Tabela 6) foram criados por meio dos três níveis e seus escores correspondentes para cada indicador (Baixo = 1, Médio = 2 e Alto = 3), parâmetro e subparâmetro. Cada elemento da tabela é o produto dos escores correspondentes aos níveis da linha e coluna (Galvão, 2008).

Tabela 6. Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

		NÃO-ESTACIONARIEDADE		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
VARIABILIDADE	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Fonte: Galvão, 2008.

A integração dos subparâmetros anteriores da Variabilidade e da Não-Estacionariedade (Tabela 6), possibilita o

cálculo final para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Tabela 7).

Tabela 7. Variação do Nível e Escore para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	ESCORE
BAIXO	1 - 2
MÉDIO	3 - 4
ALTO	6 - 9

Fonte: Galvão, 2008.

Quanto maiores forem os subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade maior será a vulnerabilidade

dos ecossistemas, e da sociedade que faz uso desses recursos, a eventos extremos (Galvão, 2008).

E por meio da combinação dos parâmetros Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças

Climáticas (Tabela 8), torna-se possível a obtenção do indicador de Estresse Hidrológico.

Tabela 8. Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

		RAZÃO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ru		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Fonte: Galvão, 2008.

3.3.5 Estresse hidrológico – Etapa 5

Tomando por base o trabalho de Galvão (2008), quanto maiores forem a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas e a Razão de Uso dos Recursos Hídricos, maior será o Estresse Hidrológico – Eh e mais vulnerável a bacia hidrográfica se encontra com relação à oferta e à demanda de água e a

susceptibilidade a fenômenos climáticos severos.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 8, efetiva-se a relação com o Escore correspondente, dessa forma, é possível avaliar o valor final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh (Tabela 9).

Tabela 9. Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

NÍVEL Eh	ESCORE	VALOR
BAIXO	1 - 2	1
MÉDIO	3 - 4	2
ALTO	6 - 9	3

Fonte: Galvão, 2008.

Embasados por essa metodologia, e após serem trabalhados os dados fluviométricos do posto CARUARU, localizado no município de Caruaru, no médio curso da bacia do Ipojuca correspondente a região agreste do estado de Pernambuco, foi possível realizar o cálculo do estresse

hidrológico pelo qual vem passando o curso d'água nessa área de estudo.

4. Resultados e Discussão

4.1 Aplicação da metodologia MWSP

Com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) –

Produção Agrícola Municipal (2002) apud PERNAMBUCO (2004) a vazão em m³ por hectare para os municípios com área irrigada situados no Agreste de Pernambuco que fazem parte da Bacia do Ipojuca foi de 19.000 m³/ha. Atualmente, o abastecimento apenas de Caruaru demanda uma vazão contínua próxima a mil litros por segundo ou 1m³/s, para o atendimento de uma população de cerca de 300 mil habitantes.

No presente trabalho, considerou-se a análise do consumo de água por parte das

populações dos municípios de São Caetano, Caruaru, Bezerros e Sairé, na utilização de água destinada para irrigação. Essas informações levantadas acerca do consumo de áreas irrigadas servem de alicerce para o primeiro cálculo a ser efetuado que é o de Razão de Uso dos Recursos hídricos que foi dado pela Equação 5. Nela o valor de Ru foi de aproximadamente 31%. Isso leva à conclusão de que a Razão de Uso obteve um padrão médio como mostrado na tabela abaixo (Tabela 10).

Tabela 10. Valor hachurado da variação do parâmetro de Razão de Uso dos Recursos Hídricos.

RAZÃO DE USO	% de uso de Ru
Baixo	RU < 20%
Médio	20 ≤ RU ≤ 50%
Alto	RU > 50%

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Deve-se salientar que não foi quantificada a razão de uso dos recursos hídricos no trecho superior da Bacia, para que o estudo contemplasse apenas o médio trecho, mas de nenhuma forma pode-se deixar de levar em consideração a água que é destinada à irrigação no trecho superior.

Segundo Ross (1992), as informações climáticas, sobretudo as de chuvas (intensidade, volume, duração), também são importantes tanto para a análise da potencialidade como para avaliação da fragilidade natural dos ambientes.

Por isso, em estudo realizado por Salgueiro (2005) demonstrou que a precipitação na Bacia do Ipojuca apresenta uma forte dependência espacial. E que a Bacia do Ipojuca possui baixa variabilidade temporal da precipitação em relação à variabilidade espacial, demonstrada para análise dos anos de média, alta e baixa variabilidade.

A partir dos dados coletados junto a ANA do posto fluviométrico CARUARU dos anos de 1973 a 2008, foi calculada a vazão média anual (Figura 6).

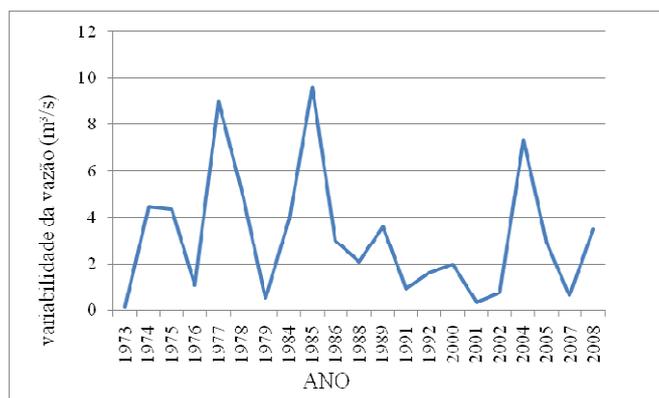


Figura 5. Parâmetros e subparâmetros que compõem o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

Nota-se pela Figura 8 que, conforme o gráfico da variabilidade da vazão nos anos compreendidos entre 1973 e 2008, a vazão na Bacia do Ipojuca é bem variável hidrológicamente, porém nada se pode afirmar antes que se proceda aos cálculos de variabilidade que a metodologia MWSP permite mensurar.

Em seguida efetuou-se o cálculo do desvio padrão (D.P) e do coeficiente de variação (C.V.), em que o desvio padrão (D.P.) é dividido pela média de vazão dos anos em estudo e multiplicado por 100, resultando num C.V. em torno de 86,59% (Tabela 11).

Tabela 11. Valores de vazão média anual em m³/s ofertada no posto no período (1973-2008).

ANO	VAZÃO
1973	0,138183
1974	4,452208
1975	4,340556
1976	1,091182
1977	8,99389
1978	5,035929
1979	0,500255
1984	3,953351
1985	9,622021
1986	3,008478
1988	2,098384
1989	3,592545
1991	0,93164
1992	1,588845
2000	1,964701
2001	0,313202
2002	0,752737
2004	7,321267
2005	2,940758
2007	0,617488
2008	3,493978
MÉDIA	3,17865
D.P.	2,75247
C.V.	86,59%

Desse modo, a variabilidade é considerada alta no médio trecho da Bacia do

Ipojuca em razão do CV estar acima de 30% (Tabela 12).

Tabela 12. Resultado (hachurado) para o subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões na Bacia Hidrográfica do Ipojuca.

VARIABILIDADE	CV
Baixo	< 15%
Médio	15% ≤ CV ≤ 30%
Alto	> 30%

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Posteriormente foi feito o teste de não-estacionariedade (para saber se a série é ou não estacionária) calculado pela fórmula da equação 8. Deve-se salientar que nos dados obtidos neste trabalho, há um período de amostragem de 21 anos, como o teste acima é baseado no teste t de *Student* a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de

Student para um grau de liberdade n = N-2), o grau de liberdade obtido foi de 0,0127. O r da fórmula, que é a tendência de crescimento ou de redução, é calculado através dos dados de vazão resultando num valor de 0,033. Dessa forma o tc percebido é demonstrado na tabela (Tabela 13):

Tabela 13. Valores calculados para o método de SALAS (1993).

MÉDIA	3,17865
D.P.	2,75247
C.V.	86,59%
T	0,0127
R	0,033
Tc	0,143922052

Sendo assim, de acordo com os valores de tc em relação ao 0,9t e ao 1,1t, o tc possui valor maior que 0,9t e que 1,1t, podendo-se concluir que a série histórica

apresenta um alto grau de não-estacionariedade no médio trecho da Bacia (Tabela 14).

Tabela 14. Grau de não-estacionariedade.

tc	T(<i>Student</i>)	0,9t	1,1t	Não - estacionariedade
0,1439	0,0127	0,0114	0,0139	ALTA

A partir do cálculo acima (Tabela 14) deve ser efetuado o hachuramento do valor correspondente na tabela de não-estacionariedade a seguir (Tabela 15). No caso do médio trecho da Bacia do Ipojuca,

como abordado na tabela anterior, a não-estacionariedade foi considerada alta nos períodos de 1973 a 2008, sendo assim, o valor de t_c (que teve um valor acima de $1,1t$) é considerado alto (Tabela 15).

Tabela 15. Resultado (hachurado) para o subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões Qmed (1973-2008) na Bacia Hidrográfica do Ipojuca.

NÃO-ESTACIONARIEDADE	
BAIXO	$t_c < 0,9 t$
MÉDIO	$0,9 t \leq t_c \leq 1,1 t$
ALTO	$t_c > 1,1 t$

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

A não-estacionariedade pode ocorrer por um ou mais dos seguintes fatores: variabilidade climática no período amostrado, mudança climática ou modificação do uso do solo (Tucci & Braga, 2003).

No método utilizado os valores para as tabelas que combinam parâmetros ou subparâmetros, como mostrados na Tabela 6, foram criados por meio dos três níveis e seus

escores correspondentes para cada indicador (Baixo = 1, Médio = 2 e Alto = 3), parâmetro e subparâmetro.

A partir desses dois subparâmetros (de variabilidade e de não-estacionariedade) podemos realizar seu cruzamento (ou integração) e calcular o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas da Bacia. (Tabela 16).

Tabela 16. Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

		NÃO-ESTACIONARIEDADE		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
VARIABILIDADE	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Tanto a variabilidade climática quanto a não-estacionariedade foram consideradas

altas, sendo representado pelo produto dos dois ($3 \times 3 = 9$) como mostrado na Tabela 17:

Tabela 17. Resultado (hachurado) para o parâmetro vulnerabilidade às mudanças climáticas no período de 1973-2008.

VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	ESCORE
BAIXO	1 - 2
MÉDIO	3 - 4
ALTO	6 - 9

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

A partir da integração dos parâmetros climáticas (Tabela 18), pode-se avaliar o Razão de Uso e Vulnerabilidade às mudanças estresse hidrológico (Eh) da Bacia.

Tabela 18. Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

		RAZÃO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ru		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Como a Ru foi média (2) e a vulnerabilidade foi alta (3), o produto dessas duas é o número 6, daí se comparar esse número com o nível de Estresse hidrológico, seguindo a tabela apresentada abaixo (Tabela 19):

Tabela 19. Resultado (hachurado) da Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

NÍVEL Eh	ESCORE	VALOR
BAIXO	1 - 2	1
MÉDIO	3 - 4	2
ALTO	6 - 9	3

Fonte: adaptado de Galvão (2008).

Portanto, combinando-se a variabilidade com a não-estacionariedade obteve-se Escore alto (9) para vulnerabilidade às mudanças climáticas, e unindo-se a Razão de Uso dos recursos hídricos com a vulnerabilidade, obteve-se o Escore geral alto (6) para o indicador de estresse hidrológico (Eh = 3).

É bom salientar que como se tratou da Razão de uso dos recursos hídricos apenas em alguns municípios do médio trecho da Bacia, por falta de dados acerca do consumo de água

nos municípios do Agreste do Estado inseridos na área de drenagem da Bacia, o impacto na Bacia Hidrográfica do Ipojuca pode ser bem maior do que os resultados deste trabalho, já que a Ru foi considerada mediana apenas pela demanda de alguns municípios, mas mesmo assim, resultando num Estresse Hidrológico alto na Bacia.

Se compararmos estes resultados com os resultados obtidos por Galvão (2008) na Bacia do Rio Piripau (DF/GO) nota-se que nesta pesquisa utilizou-se praticamente da mesma metodologia empregada pelo autor. As principais diferenças deste trabalho para o dele, em se tratando da metodologia, foi a de que ele trabalhou com dados de vários trechos da bacia.

Estudo realizado diretamente na Bacia em questão por Silva et al.(2009) verificou a situação da Bacia frente a um aumento de temperatura na ordem de 1° C. No estudo, os autores fizeram essa simulação no sentido de avaliar como um leve aumento neste parâmetro poderia afetar o escoamento superficial da região em estudo. É importante salientar que o valor da temperatura simulada foi inclusive, abaixo dos cenários previstos pelo IPCC (2001), que para a região Nordeste do Brasil indica aumentos na temperatura que podem variar de 1,4 a 5,8°C.

Através desse estudo, Silva et al. (2009) concluiu que não foram observadas tendências na precipitação, pois o comportamento da evapotranspiração foi o esperado, ou seja, acompanhou a tendência de

aumento de temperatura tanto durante os períodos de menor disponibilidade hídrica quanto nos de maior.

Mas, quanto aos resultados da vazão, observou-se que durante os períodos de maior vazão num cenário de aumento da temperatura, há uma tendência de sua diminuição em todos os postos estudados (no total, foram utilizados cinco postos pluviométricos: Pesqueira, Caruaru, Poção, Sanharó e São Caetano. Cada uma com séries concomitantes de dados entre (1963-1992), com exceção dos anos de 1964, 1965, 1968, 1979 e 1984, totalizando uma série de 25 anos de dados), (Silva et al., 2009).

Nestes postos, a vazão para o cenário foi sempre menor que a normal, indicando que com o aumento de 1° C, a vazão seria menor. Este resultado indica uma tendência de que os rios possam secar mais cedo do que o normal. Já em se tratando dos períodos de menor vazão ocorreram variações, com períodos simulando aumento de vazão e em outros, diminuição de vazão (Silva et al., 2009).

Diante desse resultado obtido por Silva et al. (2009) e em comparação com o resultado obtido neste trabalho acerca do alto estresse hidrológico, pode-se verificar que, apesar da metodologia adotada diferir daquela adotada pelo autor citado, e também por não trabalhar com tendências futuras, houve resultados que se corroboram, pois, indicam a vulnerabilidade às mudanças climáticas da Bacia em questão. Nesse sentido surge certa

preocupação por se tratar de uma Bacia que receberá água advinda da transposição do Rio São Francisco incorporando assim, além da suscetibilidade climática da Bacia, impactos negativos decorrentes dessa transposição.

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2011), estudos científicos realizados em diversas áreas do Nordeste revelaram que, em curto prazo, o Nordeste mais seco enfrentará um estresse hídrico que se agravará ao longo deste século. Por essa e outras razões, a Bacia do rio Ipojuca, que banha diversos municípios desde o Sertão até o litoral pernambucano será uma das Bacias que receberão água advinda da transposição do Rio São Francisco.

O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Projeto de Integração da Bacia do Rio São Francisco às Bacias do Nordeste Setentrional divulgado pelo Ministério da Integração Nacional detalha os objetivos sociais, econômicos e ambientais do empreendimento de Transposição do Rio São Francisco, que pretende assegurar o fornecimento de água ao semi-árido nordestino.

O objetivo da Transposição é o fornecimento de água para diversos fins, mas é necessário citar que a maioria da água será dedicada à irrigação (equivalente a 70% da água fornecida), 26% para uso industrial e 4% para população difusa. Sendo prevista a operação do sistema de transposição entre 15 e 20 anos do início das obras.

O RIMA relatou 44 impactos

ambientais previstos devido à obra. Destes 23 foram considerados os principais, sendo 11 positivos e 12 negativos. Dentre eles citam-se como positivos principalmente: o aumento da água disponível e a diminuição da perda devido aos reservatórios; abastecimento de até 12,4 milhões de pessoas das cidades, através de sistemas de abastecimento urbano já implantados, em implantação ou em planejamento pelas autoridades locais; irrigação de áreas abandonadas e criação de novas fronteiras agrícolas, podendo-se viabilizar, de acordo com os estudos realizados, aproximadamente, 161.500 hectares, em 2025, sendo 24400 hectares para irrigação difusa ao longo dos canais e 137.100 hectares para irrigação planejada e o aumento a renda e o comércio das regiões atingidas pois durante a obra, haverá grande incremento no comércio e renda nas cidades que abrigarão os canteiros de obra pois a longo prazo, a elevação do emprego e renda deverão vir da agricultura irrigada e da indústria, sendo consequência da transposição.

Alguns dos principais impactos negativos citados foram: a modificação nos ecossistemas dos rios da região receptora, alterando a população de plantas e animais aquáticos. A criação de ambientes aquáticos distintos dos existentes, a alteração dos volumes de água nos rios receptores promoverá uma seleção das espécies; risco de redução da biodiversidade das comunidades biológicas aquáticas nativas nas bacias receptoras. A seleção entre as espécies

exóticas e nativas das regiões receptoras pode impactar na redução de espécies nativas; Introdução de espécies de peixe prejudiciais ao homem na região, como piranhas e pirambebas, que se alimentam de outros peixes e se reproduzem em água parada; a diminuição dos volumes dos açudes provocará a redução da biodiversidade de peixes; alguns rios não têm capacidade para receber o volume de água projetado, inundando os riachos paralelos; e o desmatamento de 430 hectares de terra com flora nativa e possível desaparecimento do habitat de animais terrestres habitantes destas regiões. As espécies da flora mais relevantes são Caatinga Arbórea e a Caatinga Arbustiva Densa.

Os demais impactos citados no relatório são: o aumento da recarga fluvial dos aquíferos (impacto positivo), modificação no regime fluvial do Rio São Francisco, perda das receitas municipais que são pagas como compensação aos municípios onde se concentram as usinas hidrelétricas, redução da geração de energia elétrica no Rio São Francisco, diminuição da diversidade de fauna terrestre, perda de terras apropriadas para agricultura, instabilização das encostas no entorno dos corpos d'água, geração ou incremento da erosão e carreamento de sedimentos durante a construção, início ou aceleração dos processos de desertificação durante a operação do sistema, alteração do comportamento hidrossedimentológico dos corpos d'água, risco de eutrofização dos

novos reservatórios, especulação imobiliária ao longo das várzeas por onde passarão os canais.

É importante salientar que os dados acima citados se referem ao relatório de impactos ambientais (RIMA) divulgados pelo governo. Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, esse relatório de impacto ambiental se refere somente aos eixos a serem implementados. Os estudos sobre os impactos na Bacia doadora, e nos seus afluentes, e nas bacias receptoras não foram efetuados. E a ausência de estudos sobre os impactos na foz também é questionada.

5. Conclusões

Diante dos resultados obtidos neste estudo quanto ao alto estresse hidrológico na Bacia hidrográfica do Ipojuca em complementação com estudo anterior realizado por outros autores sobre as condições reais e as tendências futuras de alteração dos padrões de vazão na Bacia do Ipojuca, considera-se que para efeito de estudo preliminar os resultados foram satisfatórios principalmente no sentido de identificar novos parâmetros e novas metodologias para observação de possíveis modificações num sistema hidrológico.

É aconselhável dar-se continuidade a este trabalho ampliando-se o escopo de observação da área de estudo bem como o número de postos estudados para ter uma visão mais geral do território levando-se em

consideração tanto o trecho superior, o médio e o inferior da Bacia do Ipojuca e não apenas partes dela, tendo em vista que esta é uma das bacias que receberão água advinda da transposição do rio São Francisco.

Diante do Relatório de Impactos Ambientais (RIMA) realizado pelo Ministério da Integração Nacional, observa-se que os benefícios trazidos ao meio ambiente e à população que vive nas áreas abarcadas pelo projeto de Transposição do Rio São Francisco, estão aquém dos impactos negativos originados pelo empreendimento.

6. Agradecimentos

Ao doutorando Antônio Marcos dos Santos por ter me auxiliado na interpretação dos dados e dos cálculos, a José Gustavo da Silva Melo por ter auxiliado na tabulação dos dados de uso do solo, à ANA pela disponibilização dos dados fluviométricos e, por último ao laboratório SerGeo pelo incentivo aos trabalhos acadêmicos dos seus integrantes no Departamento de Ciências Geográficas. Ao CNPq pelo apoio financeiro através do projeto/processo 577356/2009-0.

7. Referências

Allan, J. D. (1995). Stream ecology: structure and function of running waters. Chapman e Hall, London, 388p.

Alves, M. A.; Henriques, A. G. (1994). O caudal ecológico como medida de minimização: métodos para a sua determinação. In: Actas do 6º

SILUSB/1ºSILUSBA, Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos países de Língua Portuguesa, Lisboa, APRH/ABRH, pp. 177-190.

ANA, 2004. Nota Técnica ANA Nº 600/2004/SOC. Brasília, DF. Meio ótico. 14p.

Chaves, H.M.L; Rosa, J.W.C.; Santos, V.M. (1997). Evaluation of the trapping efficiency of Gallery Forests through sedimentation modeling. In: Imaña-Encinas, J. & Christoph Kleinn (orgs.). Proceedings: the international symposium on assessment and monitoring of forests in tropical dry regions with special reference to gallery forests. Brasília: University of Brasília. 378p. : il.

Clarke, R. T. (2003). Análise de frequência de eventos hidrológicos e o uso de modelos de longa memória. In: Tucci, C.E.M. e Braga, B. (orgs). Clima e recursos hídricos no Brasil. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 243-264.

CONDEPE. (2005). Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca: Série Bacias hidrográficas de Pernambuco. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento, Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco. 64 págs.

Galvão, D. M. O. (2008). Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do Ribeirão Piripau (DF/GO). Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.

DM – 096/08, Brasília, DF.

Gonçalves, M. V. C. (2003). Metodologia para determinação de vazões Mínimas garantidas em cursos d'água. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Publicação MTARH-DM – 061/03, Brasília, DF, 129p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). Impacts, Adaptation and Vulnerability. J. M. McCarthy et al., editors. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1032 pp.

IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). Novos Cenários Climáticos. Relatório do IPCC/ONU.

New South Wales. (2006). Macro Water Sharing Plans: the approach for unregulated rivers. Australia: Department of Natural Resources – NSW. 56p.

PERNAMBUCO. (2004). Diagnóstico dos Recursos Hídricos da bacia GL-2, consolidação de estudos existentes, elaboração do Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste pernambucano e modelo de gerenciamento integrado de recursos hídricos: Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste Pernambucano – Tomo III Estudos de Demanda de Água da Região

Estudada. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente, PROÁGUA Semi-árido, TECHNE Engenheiros Consultores, Recife-PE, 266p.

PNMA, (2003). Atualização e complementação dos usos da água na Bacia do Rio Ipojuca. Projeto: Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco, Recife, PE, 13p.

Reis, J. A. T; Guimarães M. A.; Barreto Neto, A. A. Bringhenti, J. (2008). Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapoana. Geociências (São Paulo) [online]. 2008, vol. 27, n° 4, pp. 509-516. ISSN 0101-9082.

Ross, J. L. S. (1992). O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. In: Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP, n° 6, São Paulo.

Salas, J.D. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. In: Maidment, D.R. (ed.) Handbook of hydrology. MacGraw-Hill, United States of America, pp. 19.1-20.1.

Sánchez, L. E. (2006). Avaliação de impactos ambientais: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.495 p.

Silva, I. F.; Nóbrega, R. S.; Galvêncio, J. D. (2009). Impacto das mudanças Climáticas nas

Respostas Hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – Parte 2: Cenários de Aumento de Temperatura. *Revista Brasileira de Geografia Física*. vol. 2, nº2, pp. 19-30.

Souza Filho, F. A. (2003). Variabilidade e mudança climática nos semi-áridos brasileiros. In: TUCCI, C.E.M. e Braga, B. (orgs.). *Clima e recursos hídricos no Brasil*. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 77-116.

Tucci, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Editora Universitária UFRGS, Porto Alegre.

Tucci, C. E. M. (2002). *Regionalização de vazões*. Editora da Universidade. UFRGS. 1ª edição. Porto Alegre.

Tucci, C. E. M.; Braga, B. (2003). *Clima e recursos hídricos*. In: Tucci, C.E.M. e Braga, B. (orgs.). *Clima e recursos hídricos no Brasil*. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 1-22.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T., (2003). *Regionalização hidrológica*. In: Paiva, J. B. D. e Cauduro, E. M. (eds). *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 169-222.

Tucci, C. E. M.; Mendes, C. A. (2006). *Avaliação ambiental integrada da Bacia Hidrográfica*. MMA/SQA, Brasília, DF, 300p. UNESCO. *Water: a shared responsibility*. 2006. *The United Nations World Water Development Report 2*, UNESCO, Oxford-UK, 584p.