

## Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE

### *Hydrological stress estimate in Pontal watershed-PE*

*Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva*

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[bellhannover@hotmail.com](mailto:bellhannover@hotmail.com)

*Rodrigo de Queiroga Miranda*

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[razeayres@gmail.com](mailto:razeayres@gmail.com)

*Pedro dos Santos Ferreira*

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[pedro\\_spe@hotmail.com](mailto:pedro_spe@hotmail.com)

*Viviane Pedrosa Gomes*

Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil  
[veronicameira@gmail.com](mailto:veronicameira@gmail.com)

*Josiclêda Domiciano Galvêncio*

Professora do programa de pós-graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPE, Brasil  
[josicleda@hotmail.com](mailto:josicleda@hotmail.com)

### **Resumo**

A Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal está localizada na região semiárida do Estado de Pernambuco, próxima a importantes polos de fruticultura irrigada como o de Petrolina-Juazeiro, porém, pela baixa disponibilidade hídrica a agricultura irrigada apresenta grandes limitações. Por essa razão, levar-se em consideração apenas a problemática da disponibilidade hídrica da Bacia sem que haja estudos relevantes em relação às mudanças climáticas, pode vir a ocasionar uma série de dificuldades em relação à oferta de água. Dessa forma, utilizou-se uma metodologia empregada em países como Estados Unidos e Austrália para o diagnóstico do estresse hidrológico, que estima através de métodos estatísticos, a vulnerabilidade das mudanças climáticas da Bacia e a demanda da população pelos recursos hídricos. A metodologia leva em consideração a dinâmica natural da Bacia com base na série histórica das vazões naturais de 1935 a 1985, portanto antes das modificações acarretadas pela ação antrópica tais como: obras de regularização de vazões realizadas por reservatórios, desvios de água, evaporações em reservatórios, usos consuntivos, etc. A partir dos resultados obtidos constatou-se que a Bacia apresenta uma alta variabilidade climática, alta não-estacionariedade da série hidrológica analisada, alta vulnerabilidade às mudanças climáticas, alta razão de uso dos recursos hídricos e alto estresse hidrológico, indicando com isso que os sistemas de abastecimento de água da região atuam no limite da capacidade, sendo sujeita a variações nos padrões climáticos, bem como indica a impossibilidade da Bacia ofertar água suficiente para atender as demandas, de forma que a sua integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é a alternativa mais viável para a realidade da região.

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, disponibilidade hídrica, fruticultura irrigada, integração de Bacias hidrográficas.

**Abstract**

The river basin Pontal is localized in the semiarid region of Pernambuco, near to big centers of irrigated fruit growing as the Petrolina-Juazeiro, however, through the low availability of water the irrigated agriculture presents major limitations. For this reason, lead into consideration only the problematic of hydric availability the basin without there is relevant studies on climate changes, can occasion a lot of difficulties in relation to water offer. Thus, was used a methodology housekeeper in countries like the United States and Australia for the diagnosis of the hydrologic stress, what estimate through statistical methods, the vulnerability of climate changes the basin and the demand of the population by hydric resources. The methodology takes into consideration the natural dynamics of the basin based on historical series of natural flow rates from 1935 to 1985, therefore before the modifications brought about by human activities such as: regularization of stream flow realized by reservoirs, water diversions, evaporation in reservoirs, consultive uses, among others. From the results obtained it was found that the basin presents a high climatic variability, high nonstationarity the hydrologic series analyzed, high vulnerability to climate change, high reason of use of the water resources and high hydrologic stress, indicating with it, that the systems the supply of water in the region, operate in the capacity threshold is subject to variations in weather patterns, as well as indicates the impossibility of basin offer enough water to answer the demands, so that their integration with the watershed of the São Francisco River is the most viable alternative to the reality of the region.

**Keywords:** climate change, water availability, irrigated fruit, watersheds integration.

**1. INTRODUÇÃO**

Em termos quantitativos, o Brasil é um dos países com maior disponibilidade hídrica *per capita* no mundo. Tal *status*, no entanto, não inclui o país entre os que se encontram em uma zona de conforto hídrico, sobretudo quando se avalia a condição de disponibilidade de água no Nordeste. Desse modo, o Brasil é enquadrado na categoria de países com escassez econômica de água, pois apesar de contar com quantidade suficiente para atender a sua demanda, o mesmo possui uma região semiárida, com chuvas escassas e mal distribuídas, onde mau gerenciamento dos recursos hídricos contribui diretamente para a configuração de um quadro ambiental insustentável. Como agravante, tem-se verificado um persistente crescimento dos conflitos relacionados ao uso dá água no país, entre os quais, destaca-se a pressão exercida sobre o rio São Francisco, onde observa-se demandas hídricas relacionadas a geração de energia, irrigação, navegação abastecimento humano e de animais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008; SETTI et al., 2001).

Vale ressaltar que apesar da evidente problemática relacionada à escassez de água no semiárido brasileiro, a região vem se destacando na produção de insumos agrícolas devido ao alto investimento para criação e expansão de perímetros irrigados, com destaque para as áreas localizadas na bacia hidrográfica do rio Pontal, inserida no estado de Pernambuco. A região tem sido alvo de projetos de interesse tanto do poder público quanto do setor privado, pela perspectiva de crescimento de seu perímetro irrigado a partir das obras de integração com a bacia hidrográfica do rio São Francisco e pela proximidade com a área de influência do Polo Hidroagrícola Petrolina

(PE) - Juazeiro (BA), o mais importante centro de produção e de exportação de frutas tropicais irrigadas do Brasil (LACERDA; LACERDA, 2004).

Por outro lado, vale salientar que a crescente demanda por água para fins econômicos na região Nordeste tem chamado a atenção de pesquisadores e gestores públicos, face aos possíveis cenários climáticos esperados para as próximas décadas. De acordo com projeções do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o aumento das emissões de gases estufa e as mudanças no uso e cobertura das terras tem contribuído para a intensificação do efeito estufa antropogênico. O recente relatório divulgado pelo grupo revela que até o ano de 2100 a temperatura do planeta deve sofrer um incremento de 2,6°C a 4,8°C em sua média, com extremos de precipitação variando de acordo com a região (IPCC, 2013). Segundo Souza Filho (2003), os efeitos decorrentes das mudanças climáticas devem agravar ainda mais o problema da escassez hídrica em diversas bacias hidrográficas. Nesse sentido, evidencia-se na atualidade a necessidade da adoção de práticas e instrumentos de gestão dos recursos hídricos, adequadas às novas condições climáticas. Com vistas à mensuração da suscetibilidade das bacias hidrográficas frente aos possíveis cenários climáticos futuros, uma gama de metodologias vem sendo criadas e desenvolvidas para esse fim, entre as quais, pode-se destacar a modelagem de sistemas hidrológicos (GALVÃO, 2008; DURÃES, 2010; SILVA; GALVÍNIO, 2011; SILVA, et.al., 2015).

O uso de modelos hidrológicos para representar os processos físicos em bacias hidrográficas vem crescendo entre os pesquisadores de diversas áreas. Uma das grandes vantagens deste instrumento é a possibilidade de predição dos efeitos decorrentes das ações humanas e variabilidades climáticas sobre os recursos hídricos. De posse de tais informações, torna-se possível desenvolver planos de monitoramento e gestão territorial, buscando com isso otimizar o uso da água disponível em bacias hidrográficas. Nesse sentido, o conhecimento sobre a quantidade de água disponível nas referidas unidades de observação, bem como a demanda pelo recurso, é imprescindível para oferecer subsídios para a tomada de decisão por parte do poder público (SILVA et. al., 2015a; SILVA et al. 2015b).

Segundo Brandt et al. (2008), os indicadores de uso consuntivo são determinados com base em análise estatísticas de longas séries fluviométricas capazes de descrever a magnitude e a variação temporal das vazões e do regime. O uso deste tipo de indicador reduz a complexidade do sistema de recursos hídricos, possibilitando comparações espaciais entre bacias ou a verificação de mudanças temporais dentro de uma mesma bacia.

Nesse sentido, uma metodologia adotada pela Comissão de Recursos Hídricos do estado americano de Massachusetts em 2001, pelo Departamento de Recursos Naturais de *New South Wales* desde 2006 (*Macro Water Sharing Plans - MWSP*) e utilizado no Brasil pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2006) e também aplicada por Galvão (2008) na Bacia do Ribeirão

Piripau e por Silva e Galvncio (2011) na Bacia do Ipojuca, torna possível estimar o estresse hidrológico através de métodos holísticos analisando a razão entre a demanda de extrao e a vazão disponível, sendo capaz de trabalhar esses parâmetros e, simultaneamente, se adequar às especificidades da Bacia estudada.

As metodologias holísticas caracterizam-se por identificar os eventos críticos de vazão em funo do critério estabelecido para sua variabilidade ou para os principais componentes ou parâmetros do ecossistema do rio, e utilizam procedimentos distintos entre si ou aplicados conjuntamente. Dessa maneira, o estresse hidrológico apresenta-se quando a quantidade de vazão de um rio foi significativamente reduzida, ou sua qualidade degradada. Através do seu cômputo, torna-se possível, entre outras coisas, manejar o impacto cumulativo de extrao e tornar claros os direitos do meio ambiente, dos usuários e do suprimento de água para as cidades (MWRC, 2001).

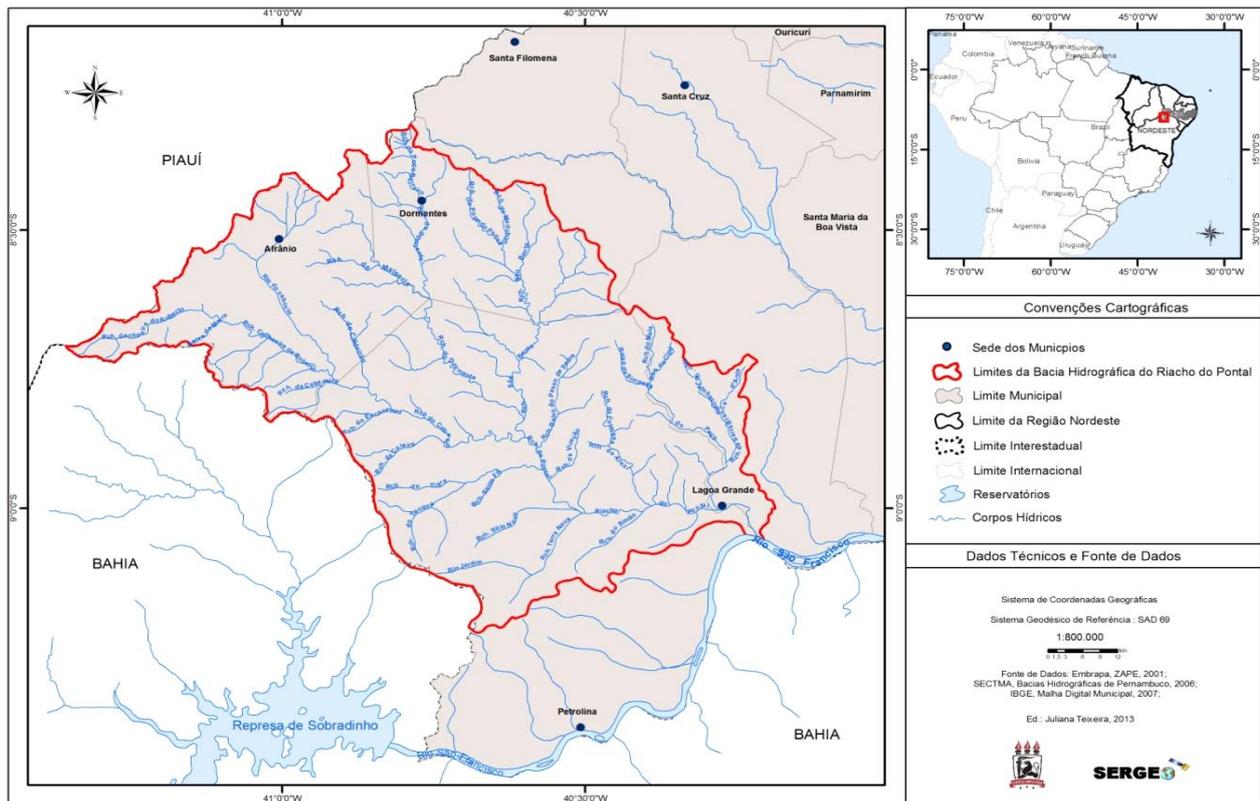
Dessa forma, o objetivo deste trabalho  adequar uma metodologia de escopo global (*The Methodology of Global ScopeMWSP*) para o âmbito local, procurando estimar a relao entre a água disponibilizada para a agricultura irrigada e a demanda hídrica da irrigao na Bacia hidrográfica do riacho do Pontal. Essa metodologia será útil por apresentar dados estatísticos sobre a razão de uso dos recursos hídricos nas áreas irrigadas, dando ênfase  relao entre oferta e demanda de água, identificando, dessa forma, a vulnerabilidade ambiental da bacia em relao às mudanças climáticas e estimando o grau de Estresse Hidrológico a que o corpo hídrico encontra-se submetido. Com base nisso, poder-se-á concluir se a integrao dessa Bacia com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é realmente necessária para o aumento do perímetro irrigado ou se ela ainda pode ofertar água suficiente para a irrigao.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localizao Geográfica

A Unidade de Planejamento Hídrico UP13, que corresponde  bacia hidrográfica do riacho do Pontal, está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 081900 e 091324 de latitude sul, e 401142 e 412039 de longitude oeste. O riacho Pontal tem sua nascente no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre os limites dos estados do Piauí e Bahia, no município de Afrânio (BRITO et al., 2005).

A bacia do riacho Pontal tem na sua foz no rio São Francisco uma área de drenagem de 6334 km<sup>2</sup>, desembocando na margem esquerda do rio São Francisco, depois de percorrer uma distância de aproximadamente 200 km, apresentando como direo predominante o sentido noroeste-sudeste, visto na Figura 1 (APAC, 2015).



**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE.

## 2.2 Descrição da área de estudo

### 2.2.1 Hidrografia

A Bacia do Pontal tem como principais cursos d'água, pela margem direita, os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos do Caboclo, Caldeirão, do Dormente, Baixo, do Areal e da Serra Branca. A área de drenagem do rio envolve quatro municípios, dos quais apenas o município de Afrânio está totalmente inserido na bacia (APAC, 2015).

O tributário principal é o riacho do Dormente no município de mesmo nome e uma área de drenagem correspondente a 34% da bacia hidrográfica do riacho Pontal. Nesses riachos estão construídos pelo Poder Público diversos empreendimentos hidráulicos (açudes), dos quais se destacam: Cruz de Salinas (4.021.375 m<sup>3</sup>), Vira Beiju (11.800.000 m<sup>3</sup>) e Caititu (3.500.000 m<sup>3</sup>). Os açudes listados que fazem parte do Sistema de Barragens Sucessivas do riacho Pontal (açudes públicos) são: Amargosa, Caldeirão II, Comprida, Gavião, Jatobá, Lajedo, Lagoa da Pedra II, Mandim, Poço da Serra e Poço do Canto (CODEVASF, 2007a).

### 2.2.2 Clima

O clima da região é classificado como Semiárido quente (BSwh'), cuja precipitação pluviométrica média anual é de 557,7 mm (BRASIL, 2004), com chuvas concentradas em 4 meses (de dezembro a março). Conforme evapotranspiração potencial média de Hargreaves, para o posto de Petrolina, da ordem de 2.090 mm anuais, o déficit hídrico médio é de 1.689 mm/ano. Abrange uma superfície de 7.540 hectares, sendo 4.029 ha de áreas em estudos ou projetos e 3.511 ha de áreas em produção, distribuídos em duas áreas separadas pelo riacho do Pontal: Área Sul, com 3.511 ha e Área Norte, com 4.029 ha. A ocupação contempla 4.291 ha destinados a 715 lotes para pequenos irrigantes e 3.249 ha a 82 lotes para médias empresas (CODEVASF, 2007a).

### 2.2.3 Cobertura Vegetal

A vegetação da área de influência direta do empreendimento corresponde a um mosaico onde predomina a caatinga arbustiva-arbórea, entremeada a trechos de caatinga arbustiva, geralmente associada, essa última, a alguma ação antrópica anterior. Os municípios de Petrolina e Lagoa Grande apresentam a mesma fitofisionomia, observando-se uma vegetação típica de caatinga com fisionomia predominantemente arbustiva com elementos arbóreos, podendo ser densa ou aberta, com um estrato arbustivo variando 3 a 4 metros de altura (CODEVASF, 2007b).

### 2.2.4 Solos

Segundo a CODEVASF (2007b) há presença na bacia de classes de solos como; Latossolo Amarelo, Argilossolos Vermelho-Amarelo, Planossolos, Cambissolos, Neossolos Areias Quartzosas e Neossolos Litólicos. Para implantação dos perímetros irrigados na área foram estudados cerca de 97.000 ha, dos quais foram considerados irrigáveis cerca de 54.000 ha. Estas áreas irrigáveis constituem-se em locais alternativos para o desenvolvimento de agricultura irrigada.

## 2.3 *Estimativa do estresse hidrológico*

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se como referência principal o estudo de Galvão (2008). O passo mantido neste estudo corresponde ao cálculo do estresse hidrológico para a bacia do Pontal localizada no Sertão de Pernambuco. Este indicador é resultado da combinação de dois parâmetros: Razão de Uso dos Recursos Hídricos (Ru) e a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Figura 2).



**Figura 2.** Parâmetros e subparâmetros que compõem o indicador Estresse Hidrológico – Eh.  
Fonte: adaptado de Galvão (2008).

### 2.3.1 Razão de Uso dos Recursos Hídricos – Etapa 1

O parâmetro Razão de Uso dos Recursos Hídricos 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 ( $m^3/s$ ) no mês mais crítico da série de vazão estudada, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões (Equação 1).

**(Equação 1)**

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

Em que:

Ru = Razão de Uso dos Recursos Hídricos

Qd = Demanda ( $m^3/s$ ) no mês mais crítico

Qmed = Vazão média de longo período ( $m^3/s$ )

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 1).

**Tabela 1** – Parâmetro Razão de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Pontal.

<b>RAZÃO DE USO</b>	<b>% de uso de Ru</b>
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, classificada em três níveis: baixo (B), médio (M) e alto (A). Este parâmetro é calculado a partir de dois subparâmetros, com base no comportamento das vazões: (a) o coeficiente de variação (CV) da série histórica (variabilidade), e (b) do grau de estacionariedade da série histórica.

### 2.3.2 Variabilidade dos fluxos de vazão – Etapa 2

Esta medida de dispersão avalia o grau de variabilidade das vazões no período estudado. Ele é calculado através do desvio padrão (D.P), que é dado pela fórmula abaixo (Equação 2):

#### Equação 2

$$\sigma = \frac{R}{d^2}$$

Em que R é a amplitude média do processo e  $d^2$  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 CV, obtido pela Equação 3, onde o desvio padrão é dividido pela média de vazão da bacia nos anos estudados e multiplicado por 100.

#### Equação 3

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

Em estatística, o coeficiente de variação é uma medida da dispersão de uma amostra em relação à sua média. Ele é útil por estender a análise do desvio padrão, fornecendo uma medida relativa e independente da grandeza com a qual se mede os dados da amostra. Ela é usada para,

dentre outras formas de utilização, comparar as dispersões relativas de duas amostras, mesmo que suas médias ou grandezas sejam diferentes ou medir o risco de um investimento: quanto menor o coeficiente de variação de seus retornos, menor seu risco. O coeficiente de variação é adimensional, uma vez que o desvio padrão da amostra possui as mesmas dimensões da média.

O valor encontrado deve ser comparado àqueles da Tabela 2, 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 2** - Variação do subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões.

VARIABILIDADE	CV
Baixo	< 15%
Médio	$15\% \leq CV \leq 30\%$
Alto	> 30%

### 2.3.3 Não-estacionariedade das vazões – Etapa 3

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 sequência de dados hidrológicos, sejam de vazão ou de precipitação, é estacionária estatisticamente no sentido de que os valores da sequência 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, segundo CLARKE (2003), a série é considerada não-estacionária.

Nesse sentido, o teste de não-estacionariedade de séries de vazões é dado pela Equação 4 derivada de Salas (1993):

#### Equação 4

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

Em que: tc (índice de estacionariedade) = valor de t, r = coeficiente de correlação entre q(i) (parâmetro) e nº de anos estudados (i) (tempo). O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson é chamado coeficiente de determinação ou simplesmente  $r^2$  e é uma medida da proporção da

variabilidade de uma variável que é explicada pela variabilidade de outra. É pouco comum que se tenha uma correlação perfeita ( $r^2 = 1$ ) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis, na vida real.

$N = n^\circ$  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 3.

**Tabela 3.** Variação do subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

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

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

#### 2.3.4 Vulnerabilidade Climática – Etapa 4

Após a obtenção dos valores dos dois subparâmetros (variabilidade climática e não-estacionariedade) ocorrerá a combinação entre estes para a estimativa da vulnerabilidade às mudanças climáticas). Os valores criados 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, contidas na Tabela 4 (SILVA; GALVÍNIO, 2011).

**Tabela 4.** 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

A integração dos subparâmetros anteriores da Variabilidade e da Não-Estacionariedade (Tabela 4), possibilita o cálculo final para o parâmetro de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Tabela 5).

**Tabela 5** - 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

E por meio da combinação dos parâmetros Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas (Tabela 6), torna-se possível a obtenção do indicador de Estresse Hidrológico.

**Tabela 6** - Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

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

### 2.3.5 Estresse hidrológico – Etapa 5

Tomando por base o trabalho de Galvão (2008), quanto maior for 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 à fenômenos climáticos severos.

A partir dos resultados obtidos na Tabela 6, efetiva-se a relação com o Escore correspondente é possível avaliar o valor o indicador EH (Tabela 7).

**Tabela 7.** 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

Aplicando esta metodologia aos dados fluviométricos do posto Bebedouro, localizado no município de Petrolina, na bacia do Pontal, no sertão do estado de Pernambuco, calculou-se o estresse hidrológico pelo qual vem passando o curso d'água nessa área de estudo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

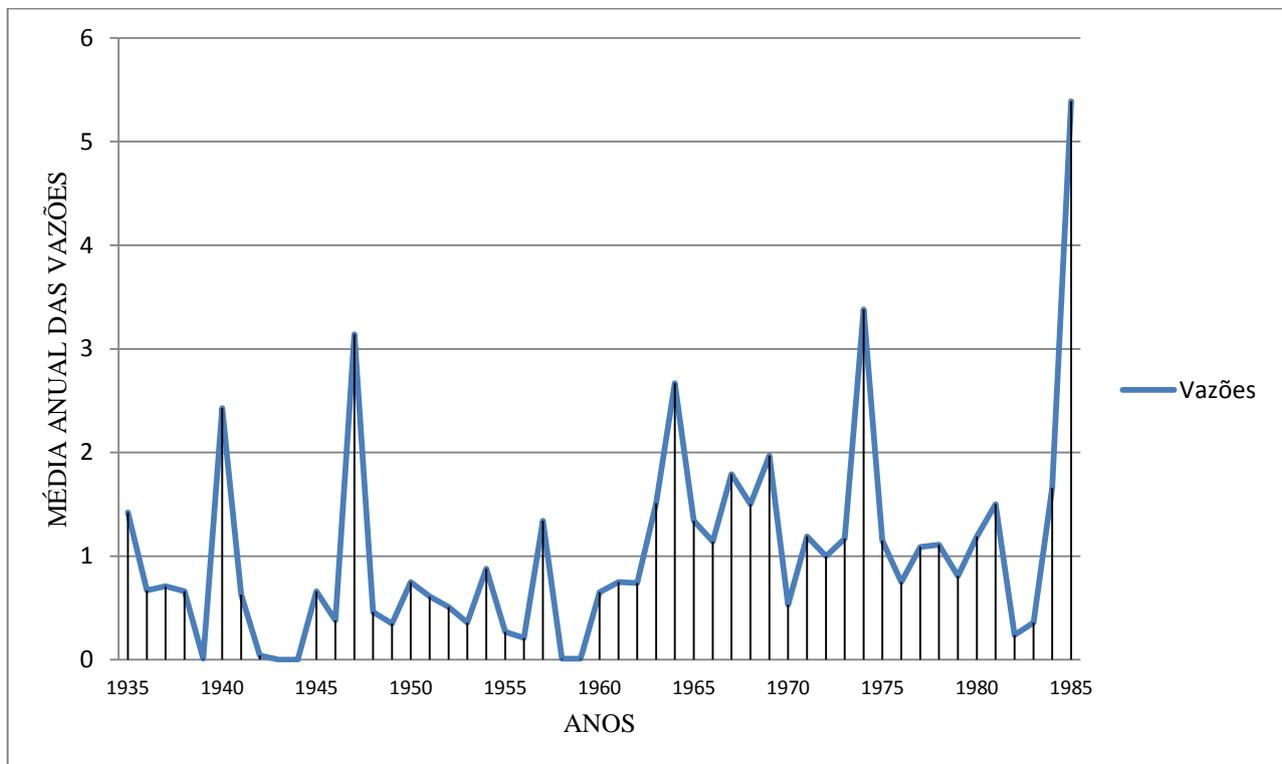
#### 3.1 Aplicação da Metodologia MWSP

A partir do cálculo da razão de uso dos recursos hídricos, salienta-se que não há informações disponíveis sobre a demanda hídrica para o mês considerado mais crítico. Por outro lado, o cálculo referente a demanda anual, que segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/PE 1998) é de  $202,454 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , indica que a demanda, dividida por 12 meses =  $16,87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano} = 5,35 \times 10^{-7} \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s} = 0,535 \text{ m}^3/\text{s}$ , aponta um valor de consumo mensal na ordem de  $0,535 \text{ m}^3/\text{s}$ , com valor de RU de 51,3%. Ou seja, mesmo não se tratando do período mais crítico da série hidrológica analisada, observa-se que o coeficiente RU pode ser classificado entre médio e alto. Dessa forma, vê-se pela utilização do parâmetro de razão de uso dos recursos hídricos que há impossibilidade da bacia hidrográfica do rio Pontal dispor de água suficiente para atender seus usuários, focando principalmente o uso de água para as culturas irrigadas.

A partir dos dados de vazão inferidos pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA) dos anos de 1935 a 1985 (ANEXO I), foi calculada a vazão média anual, resultando numa média de 1,04098. Em seguida foi estimada a variabilidade da série histórica de vazões (Figura 3).

Em seguida, calculou-se a média dos anos, desvio padrão (D.P) e o coeficiente de variação (C.V.), sequencialmente. O resultado apresentado pelo CV é em torno de 94,82%. Desse modo, a variabilidade é considerada alta na Bacia do Pontal em razão do CV variar acima de 30%. Um resultado de alta variabilidade também foi encontrado por Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Ipojuca-PE no Agreste Pernambucano, mostrando que há semelhanças quanto à variabilidade da série histórica de vazões nessas Bacias que receberão águas advinda da transposição do Rio São Francisco. Os resultados são bem diferentes dos encontrados por Galvão (2008) para uma região de

cerrado. O CV encontrado pelo autor para sua série histórica de vazão foi de 34,88%, bem inferior ao encontrado no presente estudo, entretanto, de acordo com a metodologia empregada, esse valor acima de 30% para a variabilidade da série histórica de vazões já é considerada alta.



**Figura 3** - Variabilidade da série histórica de vazões (1935-1985).  
Fonte: adaptado do SECTMA (2015).

Posteriormente, calculou-se o teste de não-estacionariedade (para avaliar se o comportamento da série é estacionário). Deve-se salientar que nos dados obtidos neste trabalho, há um período de amostragem 50 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 foi de 0,013, isso quer dizer que a probabilidade de  $-\infty < t < 0,013$  é de 99%. O r da fórmula, que é a tendência de crescimento ou de redução, é calculado através dos dados de vazão resultando num valor de 0,3439. Dessa forma o tc percebido é demonstrado Tabela 12:

**Tabela 12** - Valores calculados para o método de SALAS (1993).

MÉDIA	1,041
D.P.	0,987
C.V.	94,82%
t	0,013
r	0,3439
Tc	2,53

Sendo assim, de acordo com os valores de  $t_c$  em relação ao  $0,9t$  e ao  $1,1t$ , o  $t_c$  possui valor maior que  $0,9t$  e que  $1,1t$ , podendo-se concluir que a série histórica apresenta um grau alto de não-estacionariedade na Bacia (Tabela 13):

**Tabela 13** - Grau de não-estacionariedade

<b>tc</b>	<b>t(Student)</b>	<b>0,9t</b>	<b>1,1t</b>	<b>Não -estacionariedade</b>
2,53	0,013	0,0117	0,0143	Alta

No caso da Bacia do Riacho do Pontal, a não-estacionariedade foi considerada alta nos períodos de 1935 a 1985, onde o valor de  $t_c$  (que teve um valor acima de  $1,1t$ ) é considerado alta. O mesmo resultado de não-estacionariedade foi encontrado no trabalho de Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Ipojuca-PE, havendo indícios de tendência nas séries históricas em Bacias da região.

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 (9) para o indicador de estresse hidrológico.

Dessa maneira, foi interessante a utilização de uma metodologia que se valeu de métodos estatísticos para, ao mesmo tempo, relacionar a demanda e oferta de água, com parâmetros físicos como o clima. Dessa forma, os resultados de estresse hidrológico auferido por métodos holísticos tendem a indicar um alto estresse hidrológico em Bacias do semiárido brasileiro se comparadas às outras regiões do país. Ora, a Bacia do Pontal-PE, como foi visto ao longo do trabalho, apresenta uma alta variabilidade em termos de vazão interanual e também de vazão intra-anual, como pode ser visualizado no anexo I deste trabalho. Dada a sua intermitência, em alguns meses do ano essa vazão chega a zero, o que prejudica o abastecimento tanto para a agricultura, que é o foco deste trabalho, quanto para os demais usos consuntivos.

Se compararmos estes resultados com os resultados obtidos por Galvão (2008) na Bacia do Rio Piripau (DF/GO) o resultado foi semelhante, todavia neste trabalho o indicador foi 9 e no de Galvão 6, porém o Escore foi o mesmo. Estudo semelhante também foi realizado por Silva e Galvêncio (2011) na Bacia do Rio Ipojuca-PE, que também é uma das Bacias que receberão água proveniente da transposição do Rio São Francisco, nela foi verificado que a Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca-PE apresentava-se com uma alta vulnerabilidade às mudanças climáticas e um alto estresse hidrológico, semelhante ao que foi observado na Bacia do Riacho do Pontal-PE até o ano de 1985.

A Bacia do Riacho do Pontal-PE terá a dinâmica natural de sua Bacia afetada pelas obras de transposição do Rio São Francisco 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 e/ou negativos sobre a natureza. Portanto, esses estudos vêm dar respaldo tanto à parte metodológica quanto à parte propriamente dos resultados em si, pois, diante do exposto, dá-se a entender que essa Bacia tem demonstrado certa fragilidade no que diz respeito à própria dinâmica de vazão e à manutenção das características naturais da vegetação de caatinga, e as mudanças climáticas tendem a acentuar os efeitos sobre a população e a economia das áreas do seu entorno.

Por essa razão, a integração da Bacia do Riacho do Pontal-PE com a do Rio São Francisco é a alternativa mais eficiente para a problemática da intermitência da bacia, este estudo apresentou resultados complementares aos resultados apresentados pelo Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (EIA/RIMA) da Bacia do Pontal-PE, pois se pôde notar que o EIA/RIMA utiliza os dados de vazão da Bacia, mas sem metodologia adequada para auferir resultados que quantifiquem a real necessidade por água das culturas agrícolas e sem mensurar a susceptibilidade às modificações nos padrões climáticos.

Alguns trabalhos desenvolvidos por Silva et al. (2015a) sobre demanda hídrica da cultura da banana na Bacia do Pontal-PE e Silva et al. (2015b) sobre o mapeamento do potencial geoclimático da fruticultura do abacaxi na microrregião de Araripina-PE também demonstraram preocupação acerca da melhor forma de utilizar os recursos hídricos disponíveis, sem abrir mão do potencial agrícola que as respectivas regiões possuem, esse tem sido o grande desafio em áreas semiáridas. E diante dos resultados acerca do estresse hidrológico que a Bacia do Pontal apresenta (tendo em vista a alta vulnerabilidade climática e a constante demanda por água na região) pôde-se perceber que a única alternativa viável é o aumento do aporte hídrico advinda do Rio São Francisco.

Nesse sentido o trabalho merece atenção por se tratar de uma Bacia que receberá água advinda do Rio São Francisco incorporando assim, além da suscetibilidade climática natural da Bacia, impactos negativos decorrentes dessa integração. Diante dessa realidade a transposição do Rio São Francisco se apresenta como uma alternativa viável e benéfica para a agricultura na área de estudo com um aumento da água disponível e diminuição da perda devido aos reservatórios, com potencial aumento da produção agrícola e, conseqüentemente, do dinamismo econômico na região, reduzindo dessa forma, problemas trazidos pela seca, como a escassez de alimentos, baixa produtividade no campo e desemprego rural. Todavia é importante salientar que não se deve apenas estar à mercê de obras de grande porte como a Integração de Bacias, afinal, como o trabalho demonstrou, a Bacia do Pontal tem um regime de vazão altamente vulnerável às mudanças climáticas, sendo necessária a adoção de práticas de cultivo que se adaptem à dinâmica da Bacia, tendo em vista as condições edafoclimáticas da área e dos aspectos fenológicos da cultura (ALVES-CAVALCANTI, 2015), potencializando-se o uso dos recursos hídricos e o uso racional da água.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a área estudada possui uma alta variabilidade climática, o que indica a ocorrência de eventos extremos mais severos que em regiões de menor variabilidade, sinalizando que os sistemas de abastecimento de água estejam atuando, ou prestes a atuar, no limite da capacidade.

Na avaliação estatística dos dados de vazão, obteve-se um resultado de não-estacionariedade alta, denotando uma alta tendência de aumento ou redução da vazão durante a série de anos estudada.

Constatou-se uma alta vulnerabilidade às mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. Esse resultado demonstra que há necessidade de tentar encontrar formas de mitigação dos possíveis impactos ambientais provenientes dessas mudanças na Bacia.

A alta razão de uso dos recursos hídricos indica que é grande a demanda por água em relação à oferta de água que está sendo disponibilizada pela Bacia.

O alto estresse hidrológico verificado na Bacia do Riacho do Pontal sinaliza a impossibilidade da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE ofertar água suficiente para atender as demandas, de forma que a sua integração com a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco é a alternativa mais viável para a realidade da região.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço ao SERGEO pelo apoio nas atividades de pesquisa e à FACEPE pela concessão de bolsa à primeira autora.

#### REFERÊNCIAS

ALVES-CAVALCANTI, E.R.S.; GALVINCIO, J. D. ; BRANDAO NETO, J. L. S. ; MORAIS, Y. C. B. . Space-Time Analysis of Environmental Changes and your Reflection on the Development of Phenological of Vegetation of Mangrove. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, v. 4, p. 245-253, 2015.

APAC. Agência Pernambucana de águas e Clima. Bacias Hidrográficas – Riacho do Pontal. [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=25](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=25). Acesso em 05/07/2015.

BRANDT, S.; VOGEL, R. M.; ARCHFIELD, S. A. Indicators of Hydrologic Stress in ASCE-EWRI, World Water & Environmental Resources Congress., 2008, Massachusetts. **Indicators of Hydrologic Stress...** Honolulu, Hawaii, 2008.

BRITO A.S., LIBARDI, P.L., MOTA, J.C.A., MORAES, S.B.O., 2011. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* v.35 pag. 1939-1948.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, Ministério da Integração Nacional. 2012. Mais Irrigação é lançado por presidenta Dilma com previsão de investimento de R\$ 10 bi em 538 mil hectares e 16 estados. Disponível: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/mais-irrigacao-e-lancado-com-previsao-de-investimento-de-r-10-bi-em-538-mil-hectares-e-16-estados>. Acesso: 03/11/2015. 2007a.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, Ministério da Integração Nacional. 2007. Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projotec. v. 1, estudos preliminares, Brasil. 2007b.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Apostila Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças - Manejo da água de irrigação. Org. Waldir Aparecido Marouelli, Áureo Silva de Oliveira, Eugênio Ferreira Coelho, Luis Carlos Nogueira, Valdemício Ferreira de Sousa. Pág. 159 a 232. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55931/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap5.pdf>. Acesso em 11/09/2014.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional, 2008. A irrigação no Brasil Situação e Diretrizes. Brasília.

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.

DURÃES, M. F. (2010) **Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído**. 2010. 147p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

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, 2008.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D. O Cluster da fruticultura no Polo Petrolina/Juazeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. ISSN 1519-5228. Volume 4 - Número 1- 1º Semestre 2004.

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.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. de M.; PEREIRA, I. de C. (2001). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. – Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações hidrológicas.

SOUZA FILHO, F. A. . Variabilidade e Mudança Climática nos Semi-Áridos Brasileiros. In: Carlos E. M. Tucci; Benedito Braga. (Org.). Clima e recursos Hídricos no Brasil. Porto Alegre: ABRH, 2003.

SILVA, E. R. A. C.; GALVÍNIO, J. D. 2011. 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. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol 4 n° 03 (2011) 602-628.

SILVA, E. R. A. C.; MORAIS, Y. C. B. ; SILVA, J. F. ; GALVINCIO, J. D. . Water consumption irrigation for banana farming in edaphoclimatic conditions of the stream of Pontal basin in Semiarid of Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 921-937, 2015a.

SILVA, J. F. ; FERREIRA, P. S. ; GOMES, V. P. ; SILVA, E. R. A. C. ; GALVINCIO, J. D. . Mapeamento do potencial geoclimático da fruticultura do abacaxi na microrregião de Araripina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 196-210, 2015b.

*Trabalho enviado em março de 2016*

*Trabalho aceito em junho de 2016*