

# RECUPERAÇÃO DA SÉRIE DE DADOS DE VAZÃO PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA-CHAVE NO SERTÃO DO MOXOTÓ

*Solange Cavalcanti de Melo<sup>1</sup>; Cristiane Ribeiro de Melo<sup>2</sup>; Fábio Araújo da Costa<sup>3</sup> & Paulo Abadie Guedes<sup>4</sup>*

**RESUMO:** A bacia do Moxotó está localizada na região conhecida como Submédio do São Francisco. É monitorada no âmbito da parceria entre Agência Nacional de Águas – ANA e Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. As estações de Caroolina (cód. 49100000) e Inajá (cód. 49160000) estão localizadas a montante e a jusante, respectivamente, do maior açude do Estado de Pernambuco (Açude Francisco Sabóia ou Poço da Cruz). Até o final da década de 1980, a prática de medição de vazões durante as cheias era de muitas medições em um único mês. Com o passar dos anos a prática foi extinta e em seu lugar são realizadas 04 medições anuais e medições extras. O presente trabalho vem apresentar a retomada das práticas de medição realizadas na década de 1980, com o objetivo de determinar as curvas de descarga das estações fluviométricas de Caroolina (cód. 49100000) e Inajá (cód. 49160000) que apresentam insuficiência de medição de vazão.

**KEYWORDS:** The Moxotó basin is located in the area known as the Lower Basin of the São Francisco region. It is monitored through the partnership between the Agência Nacional de Águas - ANA and Serviço Geológico do Brasil - SGB / MRCP. The stations of Caroolina (code 49100000) and Inajá (code 49160000) are located upstream and downstream, respectively, of the largest dam in the state of Pernambuco (Açude Francisco Sabóia or Poço da Cruz). Until the late 1980s, the practice of measuring flows during floods, was to do many measurements in a single month. Over the years the practice was abandoned and in its place 04 annual measurements and some extra measurements are performed. The present work presents the resumption of measurement practices performed in the 1980s, with the objective of determining the discharge curves of fluviometric stations Caroolina (code 49100000) and Inajá (code 49160000), which have insufficient flow measurement.

**PALAVRAS CHAVE:** *MEDIÇÃO DE VAZÃO, CURVA DE DESCARGA LÍQUIDA, RIO MOXOTÓ*

---

1) Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. SUREG-RE, Av. Sul, 2291 – Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.: (81) 3316-1468; e-mail: solange.melo@cprm.gov.br.

2) Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. SUREG-RE, Av. Sul, 2291 – Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.: (81) 3316-1468; e-mail: cristiane.melo@cprm.gov.br.

3) Serviço Geológico do Brasil SGB/CPRM. SUREG-RE, Av. Sul, 2291 – Afogados, CEP 50.770-011, Recife, PE; Tel.: (81) 3316-1489; e-mail: fabio.araujo@cprm.gov.br.

4) Instituto Federal de Pernambuco IFPE. Campus Recife, Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária, CEP: 50740-540, Recife, PE; e-mail: paulo.guedes@recife.ifpe.edu.br.

## **1 - INTRODUÇÃO**

A bacia do rio São Francisco está dividida em 04 regiões fisiográficas. A bacia do rio Moxotó está localizada na região conhecida como Submédio do São Francisco. Na área as chuvas são irregularmente distribuídas ao longo do ano. O período chuvoso é de março a julho. No restante do ano, predomina a seca (MELO, 2010).

O monitoramento hidrológico na bacia do Moxotó é realizado através de 03 estações fluviométricas: Caroalina, Inajá e Samambaia. As campanhas para medição de descarga líquida nas estações fluviométricas, operadas no âmbito da parceria entre Agência Nacional de Águas – ANA e Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, são programadas para ocorrer quatro vezes por ano.

As estações de Caroalina e Inajá estão localizadas a montante e jusante, respectivamente, do Açude Poço da Cruz. O açude é o maior do Estado de Pernambuco, com capacidade máxima de 504 milhões de metros cúbicos.

Até o final da década de 1980, a prática de medição de vazões durante as cheias era de muitas medições em um único mês. Durante os períodos de maior vazão as equipes ficavam de plantão medindo as descargas incessantemente para melhor caracterizar o evento.

Com o passar dos anos a prática foi extinta e em seu lugar são realizadas medições extras em períodos não programados, sistema de alerta dado pelos observadores ou monitoramento via Plataforma de Coleta de Dados - PCD, mas que apresentam vazão em cota ainda não medida. As medições quadrimestrais programadas em escritório são ajustadas para que as mesmas possam coincidir com o período chuvoso das regiões.

Infelizmente, dependendo das características regionais onde a estação fluviométrica está localizada, as medições anuais programadas nem sempre conseguem ser realizadas. Isso ocorre devido às respostas rápidas dos rios, sendo quase impossível que a equipe de hidrometristas esteja a postos para executar a medição, até mesmo em expedições para realização de medições extra.

O presente trabalho vem apresentar a retomada das práticas de medição realizadas na década de 1980, com o objetivo de determinar as curvas de descarga das estações fluviométricas de Caroalina (cód. 49100000) e Inajá (cód. 49160000) que apresentam insuficiência de medição de descarga, comprometendo a série histórica de vazão na bacia.

## **2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA**

O rio Moxotó nasce no município de Sertânia próximo à localidade de Passagem da Pedra, no limite do Estado de Pernambuco com o Estado da Paraíba, com a denominação de riacho Passagem da Pedra. A bacia do rio Moxotó, com área de drenagem de 9.619 km<sup>2</sup>, apresenta 03 estações de

monitoramento fluviométrico operadas no âmbito da parceria entre ANA e CPRM, como apresentado da Tabela 1.

Excetuando a estação de Inajá, as demais constituem uma pequena série de informações, o que vem acentuar a necessidade da qualidade dos dados gerados através da estação Inajá. A Figura 1 apresenta a localização da bacia hidrográfica do rio Moxotó.

Tabela1- Estações fluviométricas instaladas na bacia do rio Moxotó

| <b>Estação</b> | <b>Código</b> | <b>Rio</b> | <b>Instalação</b> | <b>Localização</b>               |
|----------------|---------------|------------|-------------------|----------------------------------|
| Caroalina      | 49100000      | Moxotó     | 12/2002           | A montante do açude Poço da Cruz |
| Samambaia      | 49130000      | Copiti     | 03/2011           | A jusante da barragem de Copiti  |
| Inajá          | 49160000      | Moxotó     | 04/1972           | A jusante do açude Poço da Cruz  |

O açude Poço da Cruz foi projetado pela Inspeção Federal de Obras Contra as Secas - IFOCS, atualmente Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. As finalidades principais eram a irrigação das terras a jusante e a montante do vale, a piscicultura e a geração de energia. O reservatório de Copiti (2,90 milhões de m<sup>3</sup>) tem a função de acumulação e transporte para o reservatório de Poço da Cruz, que está fora do ramo principal do Eixo Leste da Transposição do rio São Francisco (MELO, 2010).

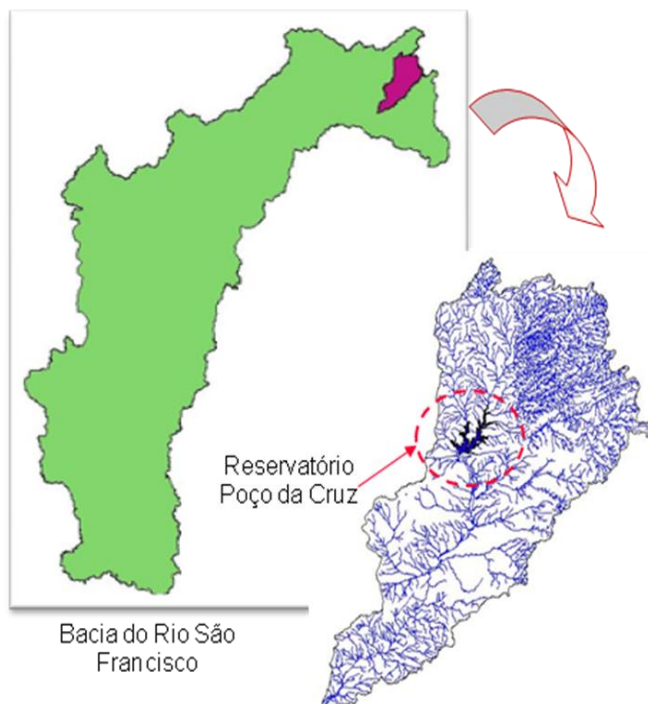


Figura 1- Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Moxotó

A precipitação anual média determinada para a bacia é de 566 mm. O volume armazenado nos açudes interanuais da bacia do rio Moxotó é da ordem de 550,78 milhões de m<sup>3</sup>, dispondo de dois açudes com capacidade superior a 10 milhões de m<sup>3</sup>: o açude de Poço da Cruz (o maior do Estado), e o de Custódia (PERH-PE, 1998).

Segundo as recomendações da Organização Meteorológica Mundial – OMM, a densidade da rede fluviométrica é definida de acordo com as características fisiográficas da região onde ela é instalada, conforme mostra a Tabela 2. A rede fluviométrica em operação na bacia do rio Moxotó, através da cooperação ANA/CPRM, apresenta a densidade de 3.206 km<sup>2</sup>/estação. Ou seja, suficiente para a extensa área em questão.

Tabela 2 - Densidade da rede fluviométrica - Recomendações da OMM

| <b>Unidade Fisiográfica</b>  | <b>Densidade Mínima Recomendada<br/>(Km<sup>2</sup>/estação)</b> |
|------------------------------|--|
| Áreas costeiras              | 2.750  |
| Áreas montanhosas            | 1.000  |
| Planícies Interiores         | 1.875  |
| Relevo ondulado, acidentado. | 1.875  |
| Pequenas ilhas               | 300  |
| Regiões polares / áridas     | 20.000   |

### 3 – ESTUDO DE CASO

A estação de Inajá sofre influência do barramento de Poço da Cruz, enquanto a estação de Caroolina, localizada 6 km a montante do reservatório, sofre influência de remanso durante as cheias. Tal situação, aliada ao clima semiárido da região, intensifica os períodos sem água para medição de vazão nas estações.

Mesmo durante os períodos chuvosos existem características regionais que dificultam as medições de descarga. Nessas regiões os rios apresentam respostas rápidas, sendo quase impossível que a equipe de hidrometristas esteja a postos para executar a medição exatamente no momento do pico de cheia.

No ano de 2004, na tentativa de salvar as séries históricas das estações, utilizou-se a metodologia de medição contínua no período de inverno. Prática comumente utilizada nas décadas anteriores a 1990, que foi substituída com o passar dos anos pelas 04 medições anuais. Durante o mês de fevereiro e abril, as equipes puseram-se a medir o rio em várias cotas (enchente e recessão) na tentativa de construir uma curva de descarga.

Para caracterizar o considerável ganho na determinação das curvas de descarga após as medições realizadas em 2004, foram utilizados os dados disponíveis no sistema HIDROWEB no site da ANA. A estação de Samambaia (cód. 49130000) não foi analisada, pois não apresenta registro de medição de vazão em toda a série.

A curva-chave apresentada foi determinada de acordo com as recomendações da Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA, de 30 de setembro de 2011. A determinação de curvas-chave foi feita buscando-se ajustar os pares de valores cota (h) x vazão (Q) a uma equação do tipo potencial, uma das formas mais utilizadas para representar a relação nível x descarga, segundo Jaccon e Cudo (1989). A equação potencial é dada pela seguinte equação:

$$Q = a(h - h_0)^n \quad (1)$$

Em que: Q é vazão em m<sup>3</sup>/s; h é o nível d'água em m (leitura na régua); a, n e h<sub>0</sub> são constantes para o posto, a serem determinados; h<sub>0</sub> corresponde ao valor de h para vazão Q = 0. O valor do desvio médio das medições em relação à curva-chave traçada, tolerando-se um desvio máximo é de 20%.

#### 4 - RESULTADOS

As estações localizadas na bacia do rio Moxotó têm como característica a ausência de medições de descarga por longos períodos, o que leva a vazões geradas através das curvas-chave pouco precisas ou a ausência das mesmas. A Figura 2 ilustra os cotagramas das estações no período de 2000 a 2013.

Em regiões áridas e semiáridas, caracterizar os períodos secos é muito importante, entretanto, os períodos úmidos necessitam ser muito bem caracterizados. No cotagrama das estações fluviométricas da bacia, observa-se que os períodos com água nas réguas linimétricas é pequeno. Em média, as estações de Caroalina e Samambaia não apresentam registro de cota em 80% de toda a sua série.

As curvas-chave foram determinadas com o auxílio do programa Curva-chave (CPRM, 2001), versão 2.0, a partir das medições de descarga, perfis transversais e cotas médias, disponíveis no Sistema Hidroweb.

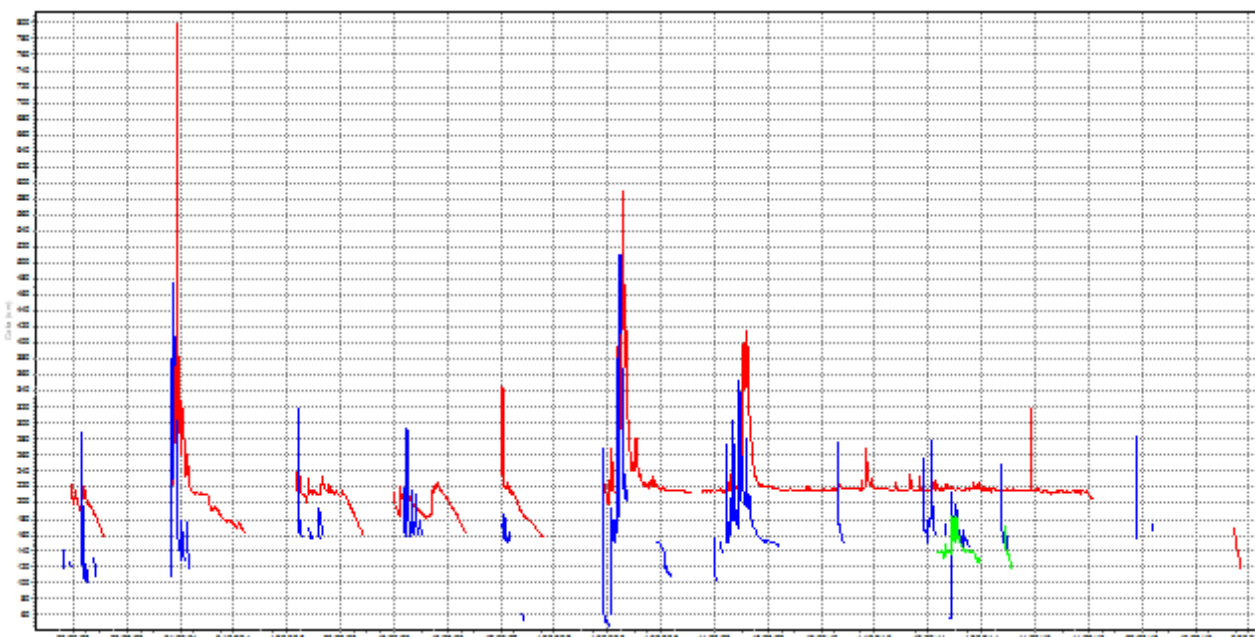


Figura 2 - Cotograma de 2000 a 2013 das estações fluviométricas de Caroolina (em vermelho), Samambaia (em azul), e Inajá (em verde)

#### 4.1.1 – Estação Caroolina

Em relação às medições de descarga, destaca-se que a estação de Caroolina, com 12 anos de operação, apresenta apenas 06 medições de descarga. Destas, 04 foram obtidas em regime especial de medição em 2004. Sem a campanha realizada nos moldes da década de 1980 a primeira curva só seria possível após os anos de 2008/2009, ficando a estação sem série de vazão por pelo menos 07 anos após a sua implantação.

As medições realizadas no ano de 2008 também ocorreram em caráter especial no mês de abril. Na ocasião a equipe de medição chegou à estação, mas não foi possível efetuar a medição tamanha a velocidade da água e o bloqueio da estrada, invadida pela enchente. Passado o pico de cheia, algumas horas depois, infelizmente a medição foi realizada em uma cota baixa. No dia seguinte já não havia velocidade para medição.

Os bons resultados das medições para a estação de Caroolina podem ser vistos na Figura 3. A Tabela 3 apresenta as equações das curvas de descarga apresentadas na Figura 3.

Considerando que o período chuvoso estende-se por 05 meses, março a julho, nem sempre a chegada da equipe de hidrometristas coincide com a presença de vazão. Isto reforça a necessidade da criação de uma logística específica para programação das campanhas de medição na região.

Após o ano de 2009 não há registro de medição de vazão na estação de Caroolina, trazendo graves consequências aos estudos hidrológicos pela total falta de informação e agravando os problemas decorridos da insuficiência de dados.

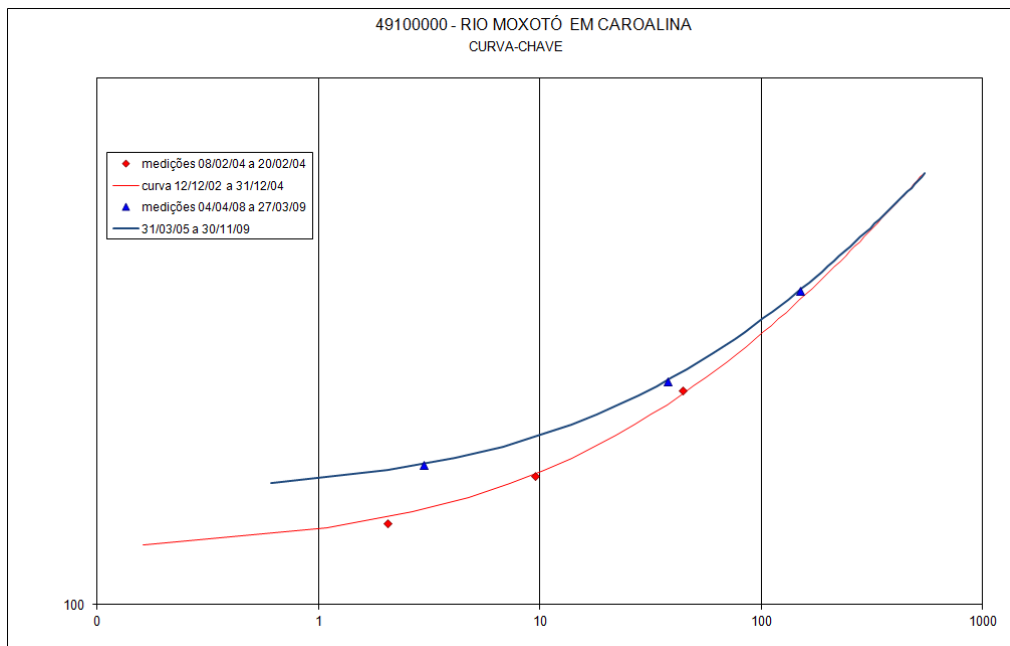


Figura 3 - Curva de descarga da estação Caroalina (cód. 49100000)

Tabela 3 - Curvas de descarga para estações de Caroalina (cód. 49100000)

| Estação   | Validade            | Equação                        | Desvio Médio |
|-----------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| Caroalina | 12/12/02 a 30/03/05 | $Q = 29,28 (h - 1,25)^{1,738}$ | -8,03%       |
|           | 31/03/05 a 31/12/13 | $Q = 33,45 (h - 1,60)^{1,738}$ | -0,05%       |

#### 4.1.2 – Estação Inajá

A estação fluviométrica de Inajá, entre as décadas de 1970 a 1980, apresenta medições de descarga suficientes para determinação da curva de descarga líquida para o período. A época coincide com a prática de muitas medições em um único mês através de campanha contínua e ininterrupta durante o inverno.

Na década de 1990 é iniciada a fase de escassez de medições, 03 medições de descarga em todo o período: 1992, 1993 e 1996. Parte da deficiência de medições na década é explicada pela transição da operação da rede hidrometeorológica nacional entre as agências responsáveis.

Os anos sem informação foram causados pela falta de coincidência entre os picos de cheia, os longos períodos de seca, a programação para as 04 campanhas de campo e a impossibilidade da execução de medições extra. Infelizmente, o ocorrido trouxe como consequência a não atualização da curva-chave durante todo o período.

Tentando mitigar a deficiência de medição durante os 07 anos consecutivos (1997 a 2003), optou-se por atualizar as curvas com base apenas no cotograma e no perfil transversal. Este é um

procedimento inadequado que tem como consequências a geração de vazão com baixa confiabilidade.

O resultado positivo no ano de 2004 para medições em cotas altas e o retorno às atuais práticas para programar os períodos de medição, trouxe a retomada do quadro já existente: a insuficiência de medições. Criando-se uma nova lacuna de 2005 a 2008, com uma única e última medição em 2009. A curva de descarga com as medições é ilustrada pela Figura 4. A Tabela 4 apresenta as equações das curvas de descarga apresentadas na Figura 4.

Nas curvas-chave da estação Inajá, observa-se que as medições em cotas altas durante o inverno ajudam, mas não substituem a falta de vazão nos trechos baixo e médio da curva. Isto mostra a fragilidade da curva e reforça a necessidade das campanhas para medição em cotas mais baixas.

Após a campanha de 2004, não houve medição nos anos seguintes e a medição de 2009 retoma a antiga tendência que é justificada pela mudança do  $h_0$  em 2007. Tal modificação na cota de secamento é justificada pela mudança no perfil transversal e retomada da vazão depois de um longo período de seca, como apresentado na Figura 2.

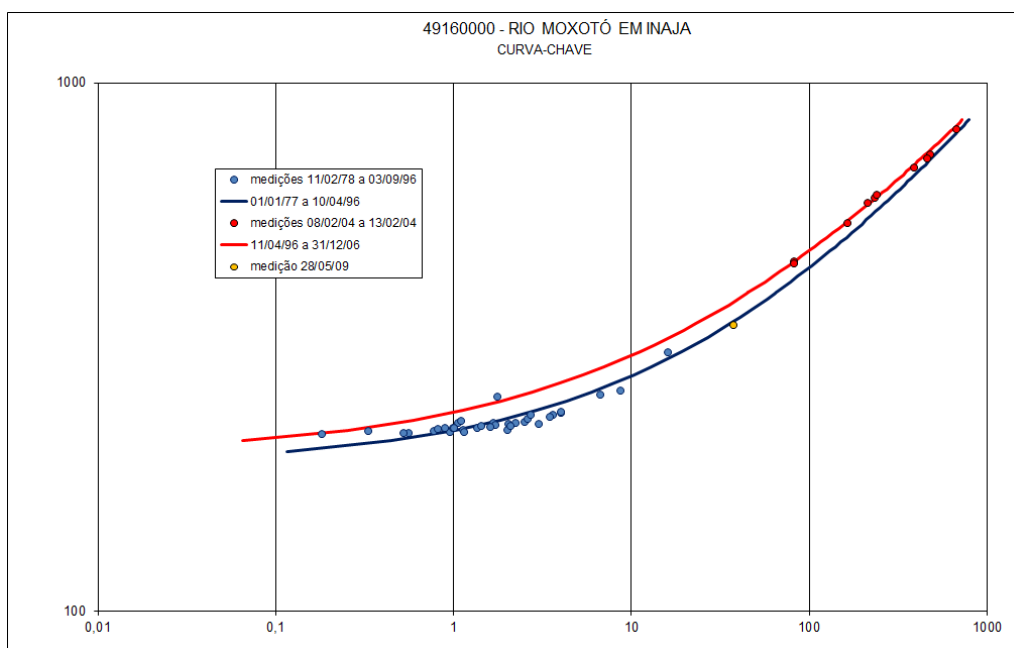


Figura 4 - Curva de descarga da estação Inajá (cód. 49160000)

Sem medição desde 2009, a região é um exemplo de bacias hidrográficas que apresentam grande fragilidade e necessitam de atenção especial. Torna-se claro que sem as medições de 2004 a situação seria mais delicada, e o risco de total ausência de dados das estações seria agravado.



Tabela 4 - Curvas de descarga para estações de Caroolina e Inajá

| Estação | Validade            | Equação                        | Desvio Médio |
|---------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| Inajá   | 01/01/77 a 10/04/96 | $Q = 12,35 (h - 1,88)^{2,18}$  | 6,14%        |
|         | 11/04/96 a 13/07/07 | $Q = 08,33 (h - 1,97)^{2,381}$ | -0,19%       |
|         | 14/07/07 a 31/12/13 | $Q = 12,35 (h - 1,88)^{2,18}$  | -8,00%       |

A Figura 5 apresenta a vazão média anual para as estações de Caroolina e Inajá, calculadas a partir das curvas de descarga apresentadas.

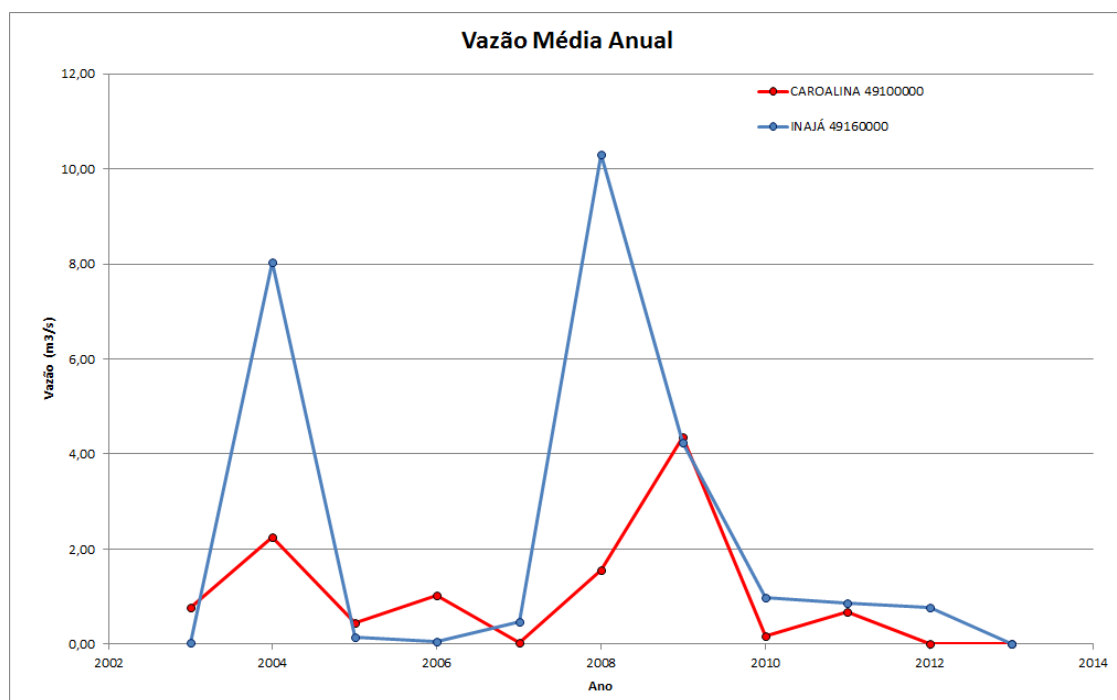


Figura 5 - Vazão média anual (período 2003 a 2013) das estações fluviométricas de Caroolina (em vermelho) e Inajá (em azul)

A ausência de medições de descarga nas estações após o ano de 2009 foi agravada, provavelmente, pela ocorrência de uma seca prolongada na região Nordeste, o que vem reforçar os longos períodos sem registros de dados. A vazão apresentada para o período (Figura 5) foi definida em função do período de curva-chave estendido com base na permanência das características físicas nas estações desde 2009 ( $h_0$  e perfil transversal).

## 5 - CONCLUSÃO

Com as dificuldades naturais e a localização das estações fluviométricas, a região apresenta uma queda significativa no número de medições de descarga. Esta chega a ficar muitos anos sem medição, o que traz como consequência a diminuição na confiabilidade das curvas de descarga.

Considerando o exemplo da estação de Inajá, foi possível a determinação da curva na parte alta com base nos dados levantados nas diversas medições realizadas em 05 dias. Conclui-se que o planejamento de medições extras em momentos de pico de cheias permitirá a construção de curvas chaves mais confiáveis, sendo uma atividade que trará mais ganhos do que simplesmente realizar as campanhas planejadas trimestralmente.

Observa-se que mesmo existindo um período específico para o inverno, de março a julho, os picos de cheia são rápidos e nem sempre é possível medi-los durante as quatro campanhas anuais.

Sugere-se a retomada das campanhas especiais na bacia do rio Moxotó, nos moldes realizados na década de 1980 e a realizada no período de 08/02/2014 a 13/02/2014, objetivando a recuperação das séries de vazão. As medições realizadas durante estas campanhas podem fazer total diferença na qualidade da vazão gerada.

Entretanto, é importante ressaltar que, para tal finalidade os custos financeiros e logísticos são altos. Implicam em exclusividade das equipes de hidrometristas à área, em detrimento de outras bacias, o que nem sempre é possível. Este tipo de campanha deve ser inserido no planejamento anual, considerando a ocorrência de eventos esporádicos. Para que seja possível mobilizar as equipes, priorizando a realização desta atividade e, assim, realizar um maior numero de medições, em diferentes cotas.

## **BIBLIOGRAFIA**

ANA, 2011. Nota Técnica nº 245/2011/SGH-ANA, de 30 de setembro de 2011. Assunto: Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas na bacia hidrográfica do Rio Purus (sub-bacia 13).

HIDROWEB. Dados hidrológicos. Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: junho/2014.

JACCON, G.; CUDO, K.J. Curva-chave. Análise e traçado. Brasília: [s.n.], 1989.

Melo, 2010. Análise do eixo Leste da Transposição do Rio São Francisco Face aos Cenários de Uso Previstos. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Centro de Tecnologia e Geociências. UFPE – Recife, dezembro de 2010.

PERH-PE, 1998. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Diretoria de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Recife – PE, 1998.