

# **AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE EROSIÃO DE MARGENS EM RIOS SEMIÁRIDOS: ESTUDO NA SUB-BACIA DO BAIXO JAGUARIBE – CEARÁ – BRASIL**

*Evaluation of the processes of erosion of riverbank in semiarid rivers: study in the sub-basin of the Bass Jaguaribe – Ceará – Brazil*

**José Hamilton Ribeiro Andrade\***  
**Celsemy Eleutério Maia\*\***

**\*Universidade Estadual do Ceará - UECE / Fortaleza, Ceará**  
hamilton.meioambiente@yahoo.com.br

**\*\*Universidade Federal Rural do Semi-árido - Ufersa / Mossoró, Rio Grande do Norte**  
celsemy@ufersa.edu.br

## **RESUMO**

A erosão de margens de rio é um processo natural que pode ser intensificado pelas atividades humanas, produzindo efeitos catastróficos para o ambiente fluvial. O entendimento deste processo é fundamental, para os estudos relacionados a geomorfologia fluvial, pois além de proporcionar desequilíbrios ambientais, podem acarretar problemas de ordem social e econômica. O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica dos processos de erosão de margens no rio Jaguaribe, no seu baixo curso, precisamente no município de Quixeré. O rio Jaguaribe é um dos principais mananciais do estado do Ceará, sendo um rio semiárido e tendo suas vazões controladas por açudes. Para o monitoramento das margens foram selecionadas ao longo de um trecho de 10 km do rio nove seções, que foram agrupadas em três tipos de áreas, Área Conservada (AC), Área Parcialmente Conservada (APC) e Área Degradada (AD). Para quantificar as taxas erosivas foi utilizado a metodologia dos pinos de erosão. Os resultados obtidos mostram que as áreas degradadas apresentaram valores de recuo de 13,5 cm ano<sup>-1</sup> e volume erodido de 7,77 m<sup>3</sup>, sendo os maiores valores observados, já as conservadas apresentaram valores de recuo de 3,05 cm ano<sup>-1</sup> e volume de 1,39 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, acompanhado das áreas parcialmente conservadas que obtiveram valores de recuo de 4,85 cm ano<sup>-1</sup> e volume de 1,52 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Para o período avaliado (junho/2014 a maio/2015), a principal condicionante responsável pela erosão marginal foram as precipitações, mesmo sendo um ano de chuvas abaixo da média histórica.

**Palavras-chave:** Dinâmica fluvial. Erosão de margens. Rio Jaguaribe.

## **ABSTRACT**

Erosion of riverbanks is a natural process that can be intensified by human activities, producing catastrophic effects on the river environment. The understanding of this process is fundamental, for the studies related to fluvial geomorphology, beyond providing environmental imbalances, can cause problems of social and economic order. The present study had the objective of analyzing the dynamics of the riverbank erosion processes in the Jaguaribe river, in its low course, precisely in the municipal of Quixeré. The Jaguaribe River is one of the main springs of the state of Ceará, being a semiarid river and having its flows controlled by dams. For the monitoring of the margins, nine sections were selected along a 10 km section of the river, which were grouped into three types, Conserved Area (CA), Conserved Partially Area (CPA) and Degraded Area (AD). In order to quantify the erosive rates, the methodology of the erosion pins was used. The results obtained show that the degraded areas presented values of retreat 13,5 cm year<sup>-1</sup> and eroded volume of 7,77 m<sup>3</sup>, with the highest values observed, and those that were conserved had retreat values of 3,05 cm year<sup>-1</sup> and volume of 1,39 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>, accompanied by partially conserved areas that obtained values of retreat of 4,85 cm year<sup>-1</sup> and volume of 1,52 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>. For the period evaluated (June / 2014 to May / 2015), rainfall was the main condition responsible for marginal erosion, even though rainfall was below the historical average.

**Keywords:** Fluvial dynamics. Riverbank erosion. Jaguaribe River.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ambientes fluviais são muito dinâmicos com alterações constantes nos seus mecanismos de produção, transporte e deposição de sedimentos. Isto desperta o interesse para entender tais processos, pois ao longo da história das sociedades humanas, estes espaços foram e continuam sendo a base para a fixação das cidades e um meio de desenvolvimento econômico, sendo ambientes cobijados por apresentarem os requisitos básicos para sobrevivência humana, disponibilizando água em abundância e solos férteis, propícios as atividades agropecuárias.

A inclusão das atividades humanas nestes espaços ao longo do tempo tem contribuído para metamorfosear suas paisagens, além de romper com o equilíbrio ambiental. O desmatamento da vegetação ciliar, assim como as grandes obras de engenharia como construções de hidrelétricas e açudes são algumas destas atividades que comprometem o fluxo de matéria e energia nos ambientes fluviais.

Segundo Cunha e Guerra (2011), os processos naturais como a formação do solo, lixiviação, erosão, deslizamentos, mudanças no comportamento da cobertura vegetal, alterações hidrológicas, entre outros ocorrem no ambiente natural, sem a necessidade da intervenção humana. Porém, quando o homem modifica estes processos, ditos naturais, estes passam a serem intensificados de forma descontrolada e suas consequências na maioria das vezes trazem sérios prejuízos para as sociedades humanas.

Dentre os diversos processos naturais que atuam no ambiente fluvial, destacamos a erosão das margens dos rios ou erosão marginal, que é um processo muito dinâmico e passível de ser acelerado pelas ações humanas. De acordo com Casado *et al.* (2002), a erosão marginal é representada pelo recuo das margens dos rios, desempenhando importante papel no alargamento do canal fluvial. Segundo Fernandez (1990), o recuo linear das margens fluviais, é devido à remoção dos materiais do barranco pela ação fluvial (correntes, ondas) ou pelas forças de origem externa como a precipitação.

O entendimento da erosão de margens é fundamental para os estudos relacionados à geomorfologia fluvial, pois este processo desencadeia diversas mudanças no canal fluvial e atua na destruição da planície de inundação, além de proporcionar problemas de ordem social e econômica. Diante de sua dinâmica, os processos de recuo de margens devem ser compreendidos, a fim de possibilitar um planejamento adequado quanto ao uso das margens pelas atividades humanas (HOOKE, 1980).

Apesar da importância da compreensão dos processos de recuo de margens, ainda são poucos os estudos desenvolvidos sobre tal temática. Conforme Rocha e Souza Filho (2008), a maioria dos estudos sobre erosão de margens foram desenvolvidos em rios de regiões temperadas e em rios de pequenas bacias de drenagem. Em território brasileiro, alguns trabalhos nesta temática foram desenvolvidos, principalmente, na bacia do rio Paraná, a exemplos, destacamos os trabalhos de Fernandez (1990, 1993) e Rocha e Souza Filho (2008).

O comportamento da erosão de margens é muito variável, podendo ser relacionado ao tipo climático no qual está inserida a bacia hidrográfica. De acordo com Hook e Mant (2002), os rios situados em regiões semiáridas apresentam como características marcantes as grandes variações de descarga em intervalos de tempo muito curto, o que lhes conferem grande mobilidade de forma de leito. Tais rios, modificam-se após cada evento de fluxos de maior magnitude, mesmo àqueles que ocorrem a cada 10 anos.

Conforme Andrade (2006), nos rios semiáridos os processos erosivos são observados com maior magnitude em épocas de chuvas acima da média, o que favorece a ocorrência do nível de margens plenas, contribuindo para o alargamento do canal. Nos rios situados em regiões de climas mais úmidos, no qual as vazões e precipitações são mais regulares, os processos de alargamento dos rios são mais frequentes.

Diante da carência de estudos sobre os processos de erosão de margens em rios semiáridos, o presente trabalho procurou avaliar o comportamento da erosão marginal no rio Jaguaribe, situado no estado do Ceará, precisamente, no seu baixo curso fluvial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo apresenta como recorte espacial um trecho do rio Jaguaribe, situado no seu baixo curso. Para alcançar seus objetivos, a pesquisa apoia-se na análise sistêmica, para assim, compreender os diferentes condicionantes que atuam de forma direta e indiretamente nos processos de erosão de margens na área estudada. Portanto, o trabalho estruturou-se das seguintes etapas: caracterização da área de estudo por meio de pesquisas bibliográficas, etapa de campo e de gabinete. Estas etapas serão apresentadas detalhadamente a seguir.

### 2.1. Caracterização da área de estudo

O rio Jaguaribe é um dos mais importantes do estado do Ceará, com extensão de aproximadamente 610 km desde sua nascente na Serra da Joanhina (município de Tauá), até sua desembocadura no Oceano Atlântico no município de Fortim. Sua bacia hidrográfica com área de 74.000 km<sup>2</sup>, ocupa quase 50% do território cearense. Segundo Cavalcante e Cunha (2011), a Bacia do Jaguaribe é formada por cinco sub-bacias: Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Bacia do Banabuiú e Bacia do Salgado.

Não fugindo da realidade da grande maioria dos rios do Nordeste, o rio Jaguaribe apresenta trechos controlados por reservatórios artificiais de pequeno, médio e grande porte (CAVALCANTE; CUNHA, 2011). A exemplo disto, destacamos o Açude Castanhão (6,7 bilhões de m<sup>3</sup>) que é o maior reservatório do estado e que fica localizado no seu médio curso.

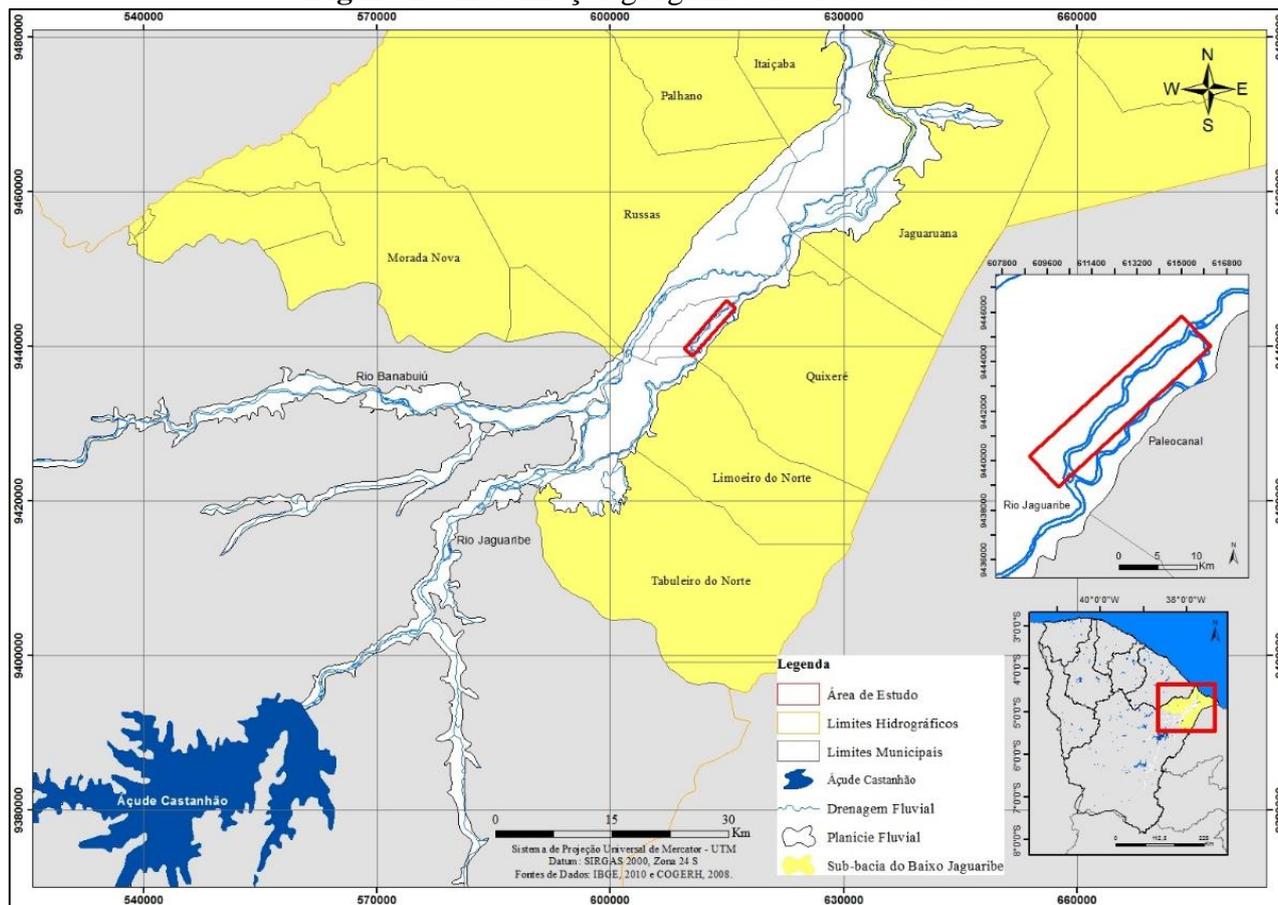
O presente trabalho foi realizado na sub-bacia do Baixo Jaguaribe, no município de Quixeré. O trecho em estudo apresenta uma extensão de 10 km, contando a partir da passagem molhada de Quixeré (Lat. 5°5'3.88"S Long. 37°59'57.14"O) localizada na sua zona urbana, até a passagem molhada de Sucurujuba (Lat. 5°1'16.98"S Long. 37°57'40.62"O) situada na zona rural do município em questão (Figura 1).

A sub-bacia do Baixo Jaguaribe apresenta a menor área de drenagem (7.021 km<sup>2</sup>) quando comparada as cinco sub-bacias que compõe a Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, representando apenas 4% do território cearense. Tal unidade apresenta terrenos com altimetria inferior a 200 metros, com predominância de relevo plano a moderadamente dissecado em interflúvios tabulares intercalados com setores de planícies fluviais. Nesta área predominam amplas extensões de sedimentos holocênicos que proporcionam grandes áreas aluvionares com potencialidade de água subterrânea (CEARÁ, 2009).

O clima predominante nesta sub-bacia é o clima Semiárido Quente e Subúmido que propicia temperaturas anuais médias em torno dos 26°C a 28°C, apresentando uma média pluviométrica anual de 838 mm. A sub-bacia apresenta sedimentos cenozóicos do período quaternário nas aluviões do rio Jaguaribe, onde predominam os solos Neossolos Flúvicos (CEARÁ, 2009).

Vale destacar que no trecho estudado o rio Jaguaribe tem sua vazão regularizada pelo Açude Castanhão, isso mantém uma vazão mínima ao longo do ano, descaracterizando a sua intermitência que é uma característica básica dos rios situados em regiões semiáridas.

Na área em estudo a vegetação ciliar é composta pela Floresta Mista Dicótilo-Palmacea, apresentando como espécie dominante a carnaúba (*Copernícia prunifera*), e outras espécies como à oiticica (*Licania rígida*), mulungu (*Erithrina velutina*), juazeiro (*Zyziphus joazeiro*) e outras com menores representações (ANDRADE; ALMEIDA, 2013).

**Figura 1** – Localização geográfica da área de estudo

Fonte: Autores (2016).

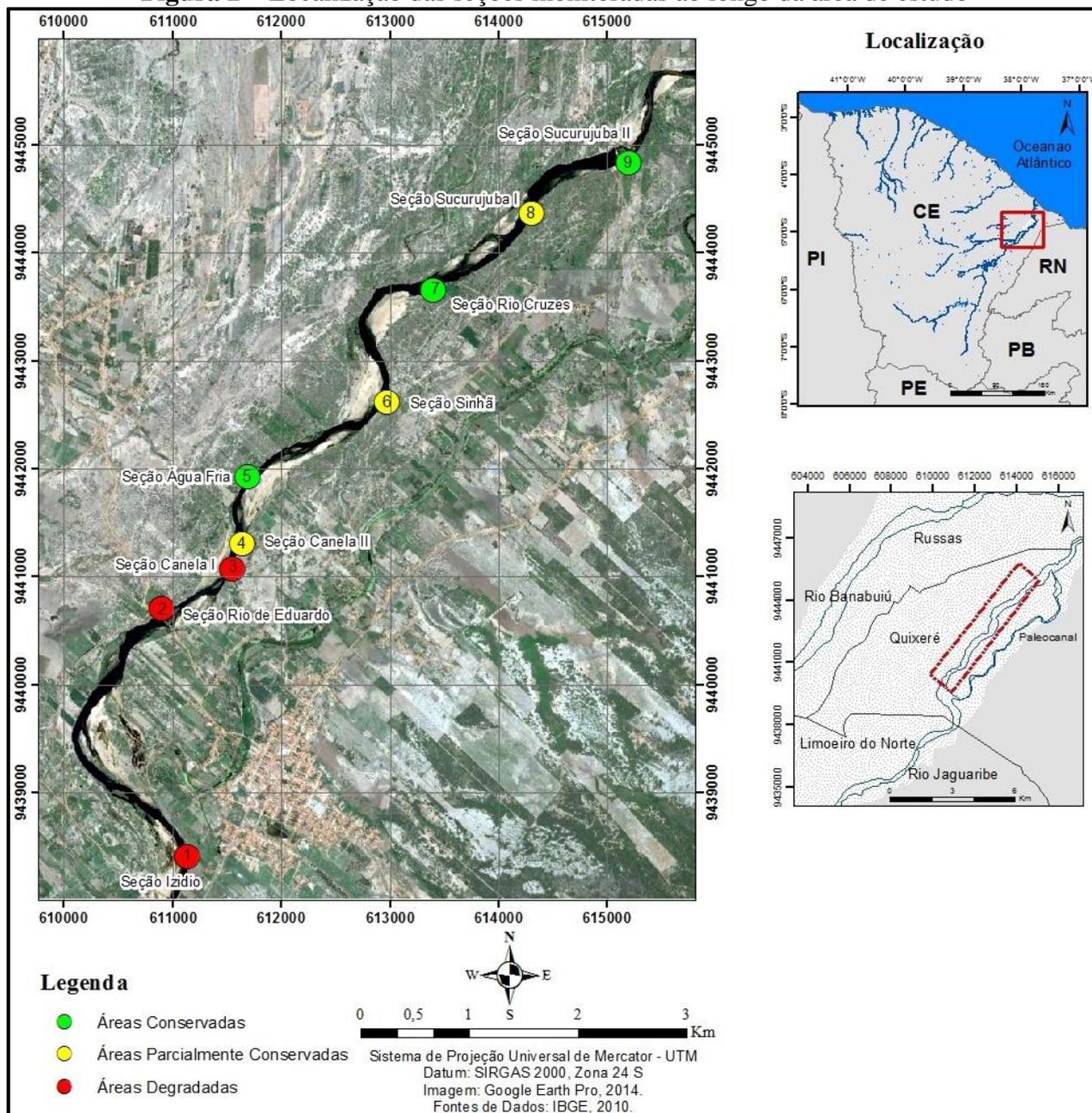
## 2.2. Etapa de campo

Nesta etapa foram realizadas visitas técnicas na área de estudo para seu reconhecimento, assim como a escolha dos melhores pontos para monitoramento da erosão marginal. Sendo esta etapa dividida em três momentos: a escolha das seções para monitoramento, instrumentação das margens e observação dos processos erosivos.

A escolha das margens para monitoramento se deu a partir do grau de conservação da vegetação ciliar e os usos sobre elas. Para isto, foram escolhidas nove seções ao longo do trecho do rio Jaguaribe que corta o município de Quixeré (Figura 2). Estas foram agrupadas em três tipos de áreas: Área Conservada (AC), Área Parcialmente Conservada (APC) e Área Degradada (DC).

Foi considerado Área Conservada as margens que mantinham suas características naturais, sem alterações significativas na sua vegetação natural e com ausência de usos sobre elas. A Área Parcialmente Conservada foi definida como sendo aquela em que a vegetação ciliar sofreu alterações, mas ainda predominam algumas espécies e não dispõem de atividades permanentes sobre ela. Já a Área Degradada, foi denominada como sendo as de margens onde a vegetação foi significativamente alterada e com atividades permanentes sobre elas (áreas agrícolas, viveiros de peixes e camarão e construções civis, entre outras).

Para monitorar os processos erosivos nas seções estudadas foi utilizado o método de medição direta da erosão de margens, conhecido como método dos pinos que segundo Fernandez (1990), consiste na introdução de pinos na face das margens (Figura 3), a medida que a margens vai recuando, é medida a exposição do pino.

**Figura 2** – Localização das seções monitoradas ao longo da área de estudo

Fonte: Autores (2016).

As margens escolhidas foram instrumentalizadas com a colocação de pinos. Em cada área de monitoramento foi instalado uma quantidade específica de pinos, baseado nas características da margem como altura e ângulo do barranco, também foram realizadas coleta de sedimentos para determinar a granulometria das margens (Tabela 1). Os pinos foram colocados a uma distância horizontal de 2 m de separação. Os pinos utilizados são construídos de ferro, tendo 1 m de comprimento, com 5,16 mm de diâmetro. Estes introduzidos nas margens ficaram com 10 cm de exposição e foram pintados de cor branca para facilitar a sua localização.

Vale ressaltar que as áreas monitoradas foram referenciadas com auxílio de receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) do tipo *garmin etrex*, e registradas através de máquina fotográfica, também foram escolhidos pontos de referência sobre as margens monitoradas, como cercas e árvores para amarração, caso os recuos das margens fossem superiores ao tamanho dos pinos.

**Figura 3** – Instalação dos pinos nas margens em estudo

Fonte: Autores (2014).

**Tabela 1** – Quantidade de pinos instalados em cada seção monitorada, altura e composição granulométrica das margens

Seções	Quant. de Pinos	Altura das Margens (m)	Composição granulométrica (g/Kg)				Classificação textural
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
1. Izídio	6,0	5,0	228	457	233	81	Franco Arenosa
2. Rio Eduardo	9,0	4,0	52	613	241	93	Franco Arenosa
3. Canela I	6,0	3,0	67	150	523	260	Franco Argilosa
4. Canela II	6,0	3,1	142	294	383	182	Franca
5. Água-Fria	6,0	4,0	514	382	72	31	Arenosa
6. Sinhã	6,0	3,0	523	374	82	21	Arenosa
7. Rio Cruzes	9,0	3,4	163	493	231	133	Franca Arenosa
8. Sucurujuba I	6,0	2,5	75	670	181	74	Franca Arenosa
9. Sucurujuba II	6,0	3,5	174	227	382	216	Franca

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Após a instrumentalização as margens passaram a ser monitoradas mensalmente ou após eventos de chuvas na área, sendo isto, acompanhado pelos dados de variação do nível e vazões do rio. O período de monitoramento da erosão marginal nas margens instrumentadas foi de junho de 2014 a maio de 2015, totalizando 12 meses de avaliação.

### 2.3. Etapa de gabinete

Nesta etapa foram realizadas análises dos dados oriundos dos trabalhos de campo que foram utilizados para determinar a taxa de erosão e o volume erodido das margens. Também foram

utilizados dados de precipitações e vazões do rio. Estas informações foram disponibilizadas, respectivamente, da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2016) e da Agência Nacional de Água (ANA, 2015).

Com o monitoramento do recuo dos pinos durante os 12 meses de estudo, foi determinada a taxa de erosão ( $\text{cm mês}^{-1}$ ) e o volume erodido ( $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ ) para cada margem. A magnitude da erosão após cada medição foi calculada pela equação 1, utilizada por Fernandez (1990), com “Em” a magnitude da erosão ( $\text{cm mês}^{-1}$ ), “L1” é o comprimento do pino exposto pela erosão (cm), “L0” é o comprimento do pino deixado exposto após cada levantamento (cm) e, “t” é o tempo transcorrido em meses entre cada campanha de campo.

$$Em = (L1 - L0)/t \quad (1)$$

Segundo Fernandez (1990), a erosão média para uma seção monitorada, após cada campanha de medição é o somatório dos recuos registrados divididos pelo número de pinos dispostos na margem.

Já a erosão média anual foi obtida pela média aritméticas das erosões médias adquiridas ao longo de um ano de observações conforme equação (2) utilizada por Fernandez (1990).

$$Me = H \cdot Er \cdot Et \quad (2)$$

Em que “Me” é o volume de material erodido ( $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ ), “H” é a altura da margem (m), “Er” é a erosão média anual (m/ano), “Et” é a extensão lateral da margem instrumentada (m). Para calcular o volume, foram usados a altura média do barranco e o valor de 4 m de extensão lateral para as áreas monitoradas.

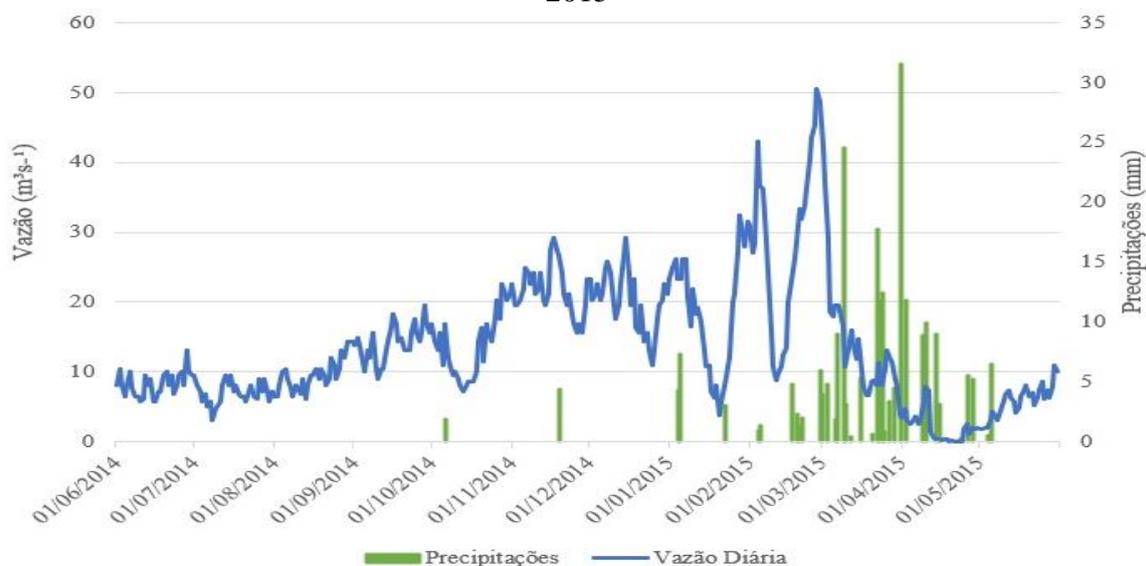
Os dados referentes a precipitação e vazão do rio na área em estudo foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), disponível no endereço eletrônico: <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Os dados de chuvas foram extraídos da Estação Pluviométrica – 537041, localizada na sede do município de Quixeré e monitorada pela FUNCEME, e os dados de vazão e cota do rio da Estação Fluviométrica – 36760000, situada a cerca de 500 metros da primeira seção de monitoramento (Seção Izídio), sendo ela monitorada pela CPRM. Para a manipulação dos dados foi utilizado o *software* Hidro 1.2, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), facilitando a análise dos dados com a geração de gráficos e planilhas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As variáveis meteorológicas e hidrológicas são de grande relevância para o entendimento dos processos de erosão de margens. Neste trabalho foi monitorado o comportamento das precipitações e as oscilações das vazões e do nível do rio Jaguaribe no trecho em estudo. Para o período avaliado as chuvas acumuladas ficaram abaixo da média histórica que é de 691,40 mm, e o observado foi apenas de 428,77 mm. A figura 4 representa as variações das vazões diárias do rio Jaguaribe e das precipitações para o período monitorado.

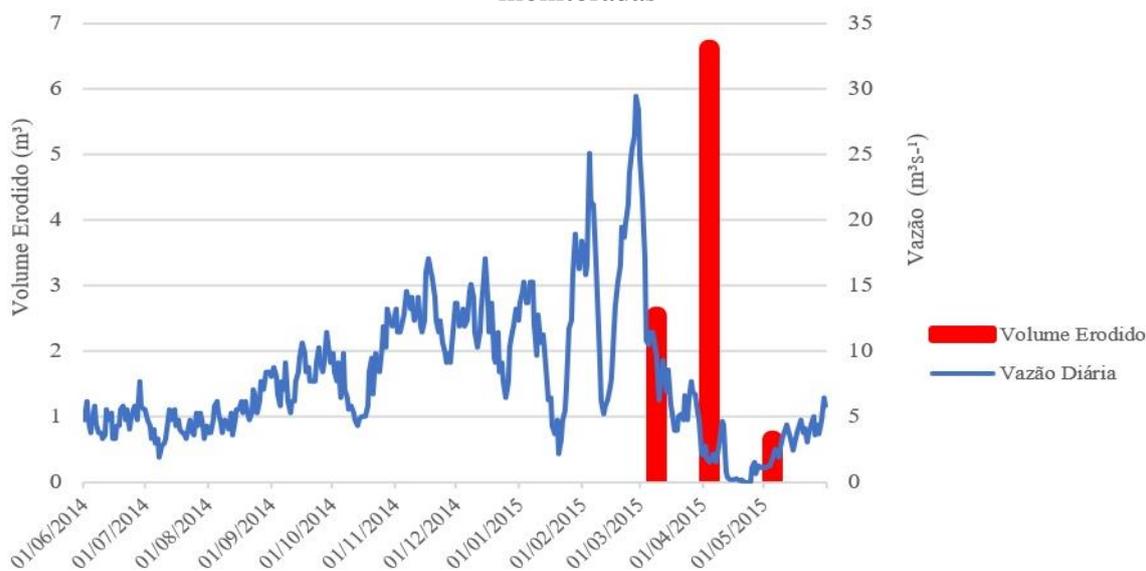
Como podemos observar na figura 4, as vazões do rio Jaguaribe para o trecho estudado, apresentaram algumas oscilações, a vazão média se concentrou em torno de  $7,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e com variações de mínimas e máximas entre 0 e  $29 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Como observado os meses de fevereiro e março foram os que apresentaram os maiores picos de erosão. Esses meses se enquadram dentro da quadra chuvosa da região que vai de janeiro a maio, porém as vazões não aumentaram com as precipitações ocorridas na área. Como analisado, à medida que as chuvas foram aumentando, as vazões diárias do rio foram diminuindo. Este comportamento está relacionado a regularização das vazões do trecho de estudo pelo Açude Castanhão.

**Figura 4** – Vazões diárias do rio Jaguaribe e precipitações no período de junho de 2014 a maio de 2015

Fonte: Agência Nacional de Águas (2016).

Comportamento semelhante foi observado por Casado *et al.* (2002), em estudos no rio São Francisco no trecho que compreende o Perímetro Irrigado Cotinguiba/Pindoba no período de janeiro de 1999 a julho de 2000. Na ocasião, as vazões do rio São Francisco apresentaram maiores volumes nos meses de menor precipitações, fato representado pelo controle das vazões pelas barragens ao longo do seu curso.

Apesar das vazões e do nível do rio (cota) serem consideradas as principais condicionantes hidrológicas que atuam na erosão das margens fluviais, para o período estudado essas variáveis não foram as principais condicionantes nesse processo (Figura 5). Vale ressaltar que mesmo com alguns picos de vazão e aumento da cota do rio não foram suficientes para erodir todas as margens monitoradas, com exceção das seções Água Fria e Sucurujuba I, que tiveram suas bases erodido pela força fluvial registrada pela exposição dos pinos.

**Figura 5** – Comportamento das vazões diárias e o volume total erodido por mês nas áreas monitoradas

Fonte: Portal Hidroweb (2016).

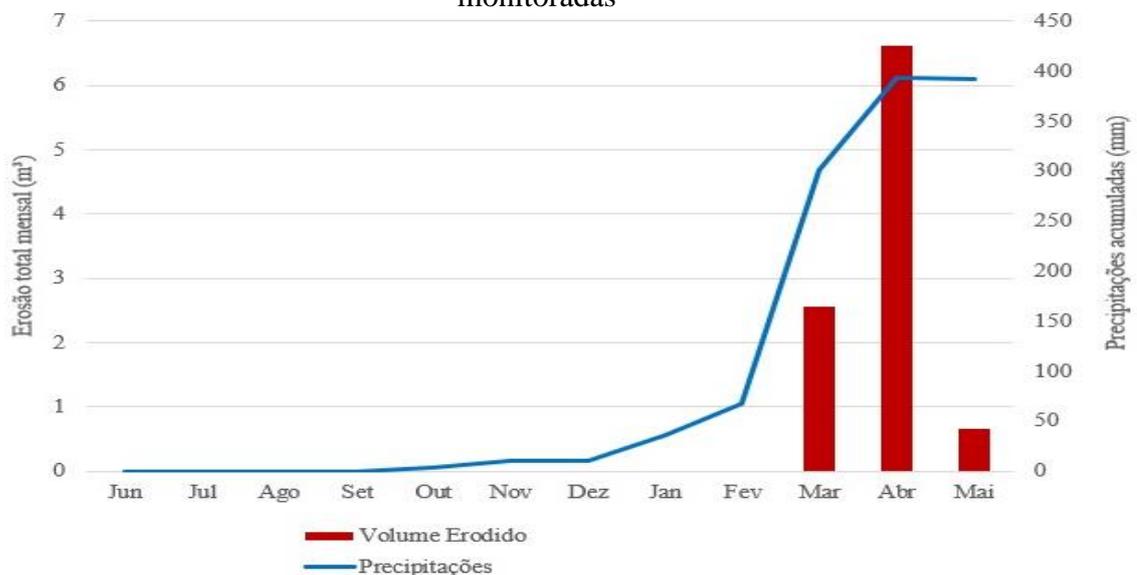
Portanto, o mecanismo que apresentou maior participação nos processos de erosão das margens do rio Jaguaribe no período avaliado foram as precipitações, ou seja, a erosão pluvial representada pelos processos de salpicamento e escoamento superficial (Figura 6). Vale ressaltar que todas as margens monitoradas apresentaram recuo decorrente da precipitação. A figura 7 retrata o comportamento das precipitações acumuladas e o volume erodido total por mês, obtido pelo somatório das seções avaliadas.

**Figura 6** – Pino exposto decorrente da ação pluvial (salpicamento) na Seção Canela I



Fonte: Autores (2015).

**Figura 7** – Comportamento das precipitações mensais e o volume total erodido por mês nas áreas monitoradas



Fonte: FUNCEME (2016).

Conforme a figura 7, os processos de perda de margem passaram a ser observados, justamente quando se iniciou a quadra chuvosa. Durante os meses de estiagem não foi registrada erosão nas áreas monitoradas, mesmo com o canal fluvial com predominância de fluxo. Fernandez e Fulfaro (1993), em estudos no rio Paraná, observaram comportamento semelhantes ao do rio Jaguaribe, ou seja, no período de estiagem a taxa de erosão em algumas margens mantiveram-se baixa, mas com a regularização das precipitações a erosão média aumentou consideravelmente.

Para o período estudado que foi de junho 2014 a maio de 2015, totalizando 12 meses de análise, a taxa e o volume erodido estão representados na tabela 2. Tal intervalo de observação abrangeu um período seco (junho – janeiro) e um período de precipitações (fevereiro – maio), porém com chuvas abaixo da média histórica.

**Tabela 2** – Taxa de erosão (reco de margem) e volume de material erodido

Tipo de Área	Seção	Taxa de erosão (cm ano <sup>-1</sup> )	Volume de material erodido (m <sup>3</sup> )	Volume de material erodido por tipo de área (m <sup>3</sup> )
Área Conservada (AC)	Água Fria	6,00	0,96	1,39
	Rio Cruzes	1,72	0,23	
	Sucurujuba II	1,41	0,20	
Área Parcialmente Conservada (APC)	Canela II	1,66	0,20	1,52
	Sinhã	1,50	0,18	
	Sucurujuba I	11,41	1,14	
Área Degradada (AD)	Izídio	30,33	6,06	7,77
	Rio Eduardo	3,11	0,87	
	Canela I	7,05	0,84	

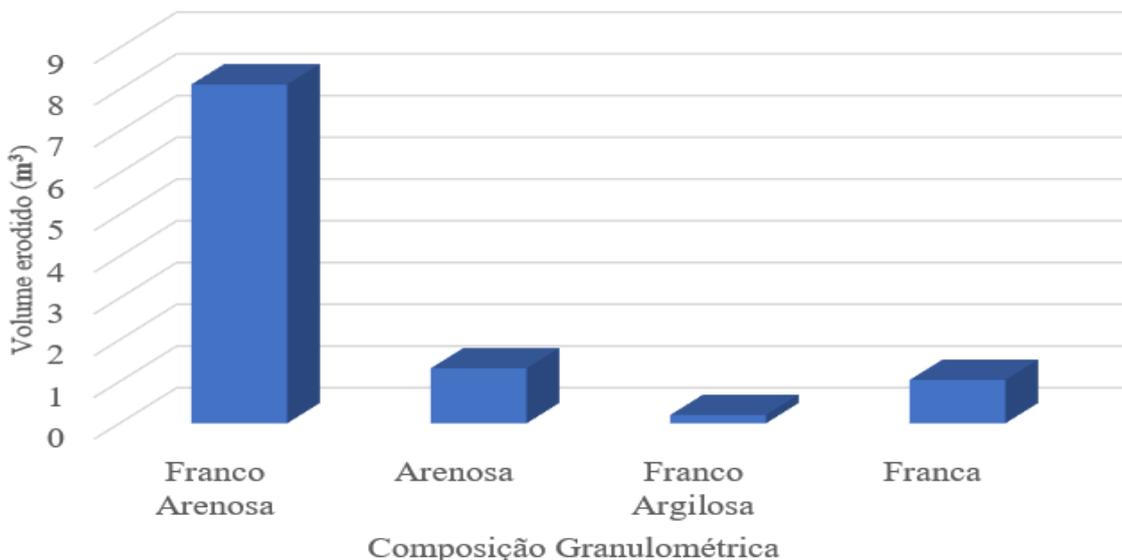
Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Como representado na tabela 2, a taxa de erosão e o volume erodido nas áreas consideradas conservadas (AC) e parcialmente conservadas (APC) apresentaram valores menores comparadas as áreas degradadas (AD), isto mostra a importância da mata ciliar na estabilidade das margens, assim como sua localização dentro do canal fluvial e sua composição granulométrica.

As propriedades mecânicas de uma margem são representadas pela sua composição granulométrica, e no caso da resistência à erosão, é coesividade uma variável importante. Nesse contexto, a coesividade dos sedimentos é proporcional ao teor de argila, ou seja, quanto maior a quantidade de argila maior é a resistência à erosão (ROCHA; SOUZA FILHO, 2008).

No que se refere as características granulométricas das margens monitoradas, a uma predominância de margens com material mais arenoso e conseqüentemente foram as margens que sofreram mais perda de sedimentos (Figura 8). Em trabalhos realizados por Casado *et al.* (2002), foi percebido que as margens compostas por material arenoso e sem coesão foram as mais erodidas. Já Rocha e Souza Filho (2008), em trabalhos no rio Paraná perceberam que a taxa de erosão nas margens estudadas aumentou conforme a diminuição do teor de silte/argila nas margens arenosas submetidas à mesma velocidade de fluxo.

Dentre as áreas degradadas a seção Izídio apresentou o maior volume erodido sendo este de 6,06 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso pode ser explicado devido a margem apresentar uma composição granulométrica fraco arenosa, ou seja, sendo mais vulnerável a erosão, como também é uma margem côncava onde ocorre a maior velocidade e turbulência da água que propícia o seu reco. Nessa margem predominou o processo de corrasão lateral, realizado pelo solapamento da base do talude. Outro fator importante que pode estar relacionado a perda elevada de sedimentos nessa seção é a sua altura (5,0 m) e as atividades agrícolas desenvolvida sobre ela.

**Figura 8** – Composição granulométrica das margens monitoradas do rio Jaguaribe

**Fonte:** Dados da pesquisa (2015).

Nas áreas conservadas, a seção Sucurujuba II, apresentou o menor volume de sedimento erodido ( $0,19 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ ), mesmo sendo uma margem côncava, isso pode ser relacionado a sua composição siltosa o que a torna mais resistente a erosão. Já na seção Sinhã, que apresenta características de área parcialmente conservada, observou-se a menor quantidade de material erodido para o período monitorado, sendo este de apenas  $0,18 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  mesmo apresentando uma composição arenosa. Isso pode ser explicado pela ausência de atividades humanas sobre a margem, o aumento da cota do rio não foi suficiente para atingir a margem, como também a presença da vegetação ciliar.

Como observado, nas margens que apresentam melhor estado de conservação da vegetação ciliar foram as que exibiram os menores volumes de material erodido. Em trabalhos realizados por Andrade e Cavalcante (2014) no rio Jaguaribe, entre os anos de 2012 e 2013, também foram observados que em margens com presença de vegetação apresentaram baixos volumes de sedimentos erodido, porém nas margens com ausência de vegetação o volume erodido foi superior as margens vegetadas.

Carmo (2003), utilizando a metodologia dos pinos de erosão, em trabalhos realizados nas margens do canal Santa Amélia, localizado no Estado do Rio de Janeiro, percebeu que os pinos que apresentaram maiores recuos foram aqueles instalados onde a vegetação, em momento alguns não chegou a se desenvolver ou o fez de forma muito rarefeita.

Cavalcante (2012), em estudos no rio Jaguaribe utilizando metodologia semelhante à do trabalho em questão, obteve resultados que se assemelham ao da pesquisa, porém a taxa de recuo médio ( $\text{m ano}^{-1}$ ) e o volume de material erodido das margens com ausência de vegetação para o período avaliado foram bem superiores conforme a tabela 3.

**Tabela 3** – Aspecto da erosão de margens de acordo com os pinos de erosão

Seção	Vegetação	Taxa de recuo ( $\text{m ano}^{-1}$ )	Volume erodido ( $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$ )
1	Arbustivo densa	0,05	0,52
2	Rala	10-15	105-157
3	Arbustiva densa	Inalterada	-
4	Arbustiva esparsa	0,07	0,52
5	Rala	2,8	45,36

**Fonte:** Adaptado de Cavalcante (2012).

Em trabalhos de monitoramento de perda de margens fluviais empregando a metodologia dos pinos, realizados no rio São Francisco em um trecho de 11 km, no perímetro irrigado Cotinguiba/Pindoba no Estado de Sergipe, Casado *et al.* (2002) estabeleceu três seções de acompanhamento (A, B e C), encontrando valores de volume erodido respectivamente, de 518,91 m<sup>3</sup>, 36.099,94 m<sup>3</sup> e 208,79 m<sup>3</sup>. Estes valores são muito elevados comparado aos valores encontrados na pesquisa em questão, porém vale ressaltar que o rio São Francisco, apresenta características diferentes do rio Jaguaribe, apesar de percorrer uma grande área no semiárido brasileiro, suas nascentes se encontram numa área de clima mais úmida, proporcionando assim, vazões mais elevadas.

Para o período avaliado no rio Jaguaribe a taxa de recuo de margem e o volume erodido foi considerada baixa, tal fato pode ser explicado devido as baixas precipitações na região, sendo considerado mais um ano de seca, assim como o comportamento das vazões e do nível do rio que apresentaram baixos valores durante a pesquisa.

Apesar dos baixos volumes apresentados, é importante frisar que os dados obtidos apresentam apenas a realidade de alguns pontos do rio. Além do mais como foi percebido, as áreas sem vegetação sofrem mais com a erosão. Ao longo do trecho monitorado foram identificados vários pontos em que vegetação ciliar foi completamente removida, aumentando a vulnerabilidade das margens aos processos erosivos, pois apesar de ser um processo natural, a erosão de margens pode ser acelerada pelos usos não planejados do solo.

Destacamos ainda que os dados de erosão foram obtidos em um ano considerado seco, ou seja, com precipitações abaixo da média histórica, o que leva a compreender que em períodos de chuvas acima da média, a taxa e o volume de erosão podem ser aumentados consideravelmente, assim como em situações de aumento das vazões e do nível do rio.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o período estudado foi observado que as vazões diárias e a cota do rio Jaguaribe apresentaram algumas oscilações com picos maiores nos meses de fevereiro e abril, porém não foram suficientes para ocasionar a erosão em todas as margens monitoradas, sendo as seções Izídio e Canela I as que foram afetadas pela corrasão fluvial, sendo as precipitações a principal condicionante da erosão das margens avaliadas.

O recuo das margens, assim como o volume erodido para o período avaliado foi considerado baixo. As margens conservadas apresentaram valores de recuo de 3,05 cm ano<sup>-1</sup> e volume de 1,39 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, acompanhado das margens parcialmente conservadas que obtiveram recuo de 4,85 cm ano<sup>-1</sup> e volume de 1,52 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Já as margens consideradas degradadas apresentaram recuo de 13,5 cm ano<sup>-1</sup> e volume de 7,77 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>.

Para o trecho em estudo as margens com características arenosas foram as que mais sofreram com processo de erosão. Também foi observado que nas margens côncavas apresentaram maior volume erodido, como na seção Izídio.

De forma conclusiva, o presente trabalho contribuiu para o entendimento da dinâmica dos processos erosivos no rio Jaguaribe, abrindo caminho para novos estudos sobre a temática, principalmente na região semiárida, assim como reforça a importância da preservação da vegetação ciliar.

#### REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**. 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 abr. 2016.

ANDRADE, J. H. R. **Dinâmica de margens em rios semiáridos**: aplicações metodológicas no rio Jaguaribe. 2006. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Sociedade e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2006.

ANDRADE, J. H. R.; CAVALCANTE, A. A. Processos erosivos marginais no Baixo Jaguaribe: Estudo de caso no rio Jaguaribe – Ceará – Brasil. **Revista GEONORTE** (Edição Especial), v.10, n.1, p.429-432, 2014.

ANDRADE, J. H. R.; COSTA, C. de A. Degradação da mata ciliar com carnaúba no baixo curso do rio Jaguaribe – Ceará. In: SEABRA, G. **Terra: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2013. p.339-351.

CARMO, M. H. C. do. **Mudanças na dinâmica do canal Santa Amélia em função da urbanização**: Belford Roxo - RJ/Verão 2001-2002. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

CASADO, A. P. B.; HOLANDA, F. R. R.; ARAÚJO FILHO, F.A.G; YAGUIU, P. Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco (Perímetro irrigado de Cotinguiba/Pindoba – SE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.1, p.231-239, 2002.

CAVALCANTE, A. A. **Morfodinâmica fluvial em rios semiáridos**: O rio Jaguaribe a jusante da barragem do Castanhão – CE – Brasil. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S.B. Dinâmica Fluvial no Semiárido e Gestão dos Recursos Hídricos: Enfoques sobre a Bacia do Jaguaribe – CE. In: MEDEIROS, C. N. de. **Os recursos hídricos do Ceará**: Integração, gestão e potencialidades. Fortaleza: IPECE, 2011, p.83-112.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**. Fortaleza: INESP, 2009.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, J.T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. 10<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 337-380.

FERNANDEZ, O. V. Q. **Mudanças no Canal Fluvial do rio Paraná e Processos Erosivos nas Margens**: região de Porto Rico-PR. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990.

FERNANDEZ, O. V. Q.; FULFARO, V. J. Magnitudes e processos da erosão marginal no rio Paraná, trecho de Porto Rico, PR. **Geografia**, Rio Claro, n. 18, p. 97 – 114, 1993.

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Calendário de chuvas do Ceará**. 2016. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/anual>. Acesso em: 15 de jan. 2016.

HOOKE, J.; MANT, J. Morpho-dynamics of Ephemeral Streams. In: BULL, L. J. ; KIRKBY, M.J. (Ed.). **Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-arid Channels**. Englad: Wiley, 2002, p. 173-204.

HOOKE, J. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. **Earth Surface Processes**, v. 5, p.143-157, 1980.

PORTAL HIDROWEB. **Séries histórias de Estações**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 30 de mai. 2016.

ROCHA, P. C.; SOUZA FILHO, E. E. de. Erosão marginal e evolução hidrodinâmica no sistema rio-planície fluvial do Alto Paraná-Centro Sul do Brasil. *In*: NUNES, J.O.R.; ROCHA, P. C. (Org.). **Geomorfologia: aplicações e metodologias**. São Paulo: Expressão Popular, 2008.

**Data de submissão:** 01.02.2018

**Data de aceite:** 27.05.2020

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.