

## 2.6 Erosão no Banhado Grande<sup>6</sup>

*Cecilia Balsamo Etchelar  
Laurindo Antonio Guasselli*

### Introdução

A erosão e o intemperismo são processos naturais que ocorrem em equilíbrio com a formação do solo, conforme a evolução do relevo ao longo do tempo (HUTTON, 2008). Porém, a erosão pode ter origem antrópica, causada pelo uso intenso e inadequado do solo (CORRÊA, 1959). Erosão é mais frequentemente desencadeada, ou acelerada, por uma combinação de uso inadequado da terra e de eventos extremos de chuva (GALETI, 1984; RISER, 1995; VALENTIN, POESEN, YONG, 2005; GUERRA, 2011).

Conceitualmente, é importante distinguir os processos de erosão por escoamento laminar, dos processos de erosão linear acelerada que, envolvem a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e voçorocas (D'AGOSTINI, 1999; ALMEIDA-FILHO e ALMEIDA, 2016).

Voçorocas têm paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos. As voçorocas podem ser originadas pelo apro-

---

<sup>6</sup>Capítulo referente à dissertação de Mestrado de Balsamo Etchelar, intitulada "Processos erosivos em áreas úmidas, APA do Banhado Grande - RS". Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017, 107f.

fundamento e alargamento de ravinas, ou por erosão causada pelo escoamento subsuperficial, dando origem a dutos. A erosão em dutos ocorre sob o efeito de água de escoamento superficial e subsuperficial, que penetra em furos biogênicos, ou fendas de diversas origens (GUERRA et al., 1999; BIGARELLA, 2007; SUERTEGARAY et al., 2008).

Variáveis físicas como áreas de vertentes e solos arenosos, caracterizam áreas suscetíveis à erosão do tipo voçoroca. A erosão do solo é uma ameaça ambiental significativa para a sustentabilidade e capacidade produtiva da agricultura ao redor do mundo (IMESON; CURFS, 2006; CHRISTOPHERSON, 2012).

Embora reconhecido como um problema, ainda há relativamente poucas publicações analisando de forma sistemática a extensão da erosão induzida por irrigação. A maioria dos inventários sobre erosão são voltados para o desenvolvimento da tecnologia para entender, prever e mitigar a erosão induzida por precipitação, deixando uma lacuna sobre a erosão induzida por irrigação (SOJKA et al., 2007).

Processos erosivos em canais de irrigação e formação de voçorocas são ainda menos observados em Áreas Úmidas (AUs). A degradação em AUs, tem consequências como o aumento da frequência às inundações e a ocorrência dos incêndios em turfas (McCARTHY et al., 2007), além da deterioração do solo e da vegetação de várias espécies pioneiras, tornando-se suscetível à erosão.

A fragmentação das AUs é um dos principais problemas relacionados com a conservação da sua biodiversidade, através da diminuição da área de conectividade entre os habitats naturais (ROLON et al., 2010; SIMONI et al., 2017). No Rio Grande do Sul, maior produtor orizícola do país, essa fragmentação é provocada, principalmente, pela organização de uma rede de canais de irrigação associados à prática da cultura do arroz irrigado.

Em AUs a abertura de canais cria rotas preferenciais para a descarga hídrica, a partir do alargamento, aprofundamento e es-

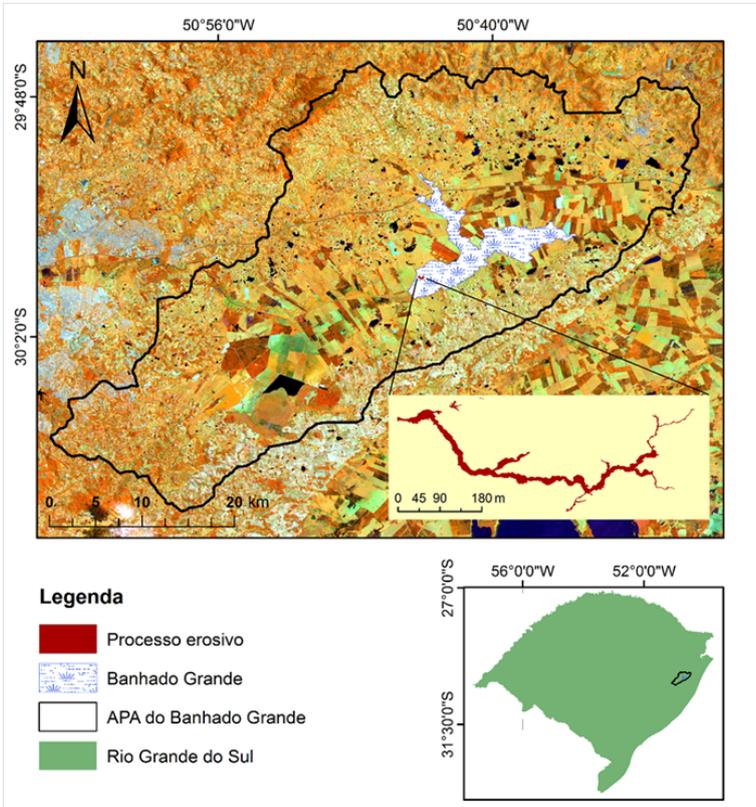
coamento destes canais. A canalização de rios e córregos ameaça as comunidades biológicas, acelera a drenagem de AUs, expondo algumas espécies a altas taxas de predação (HOOVER, 2009).

O uso para o pastoreio acelera e contribui para este processo. De acordo com Dias e Thomaz (2011), o gado contribui com a erosão não somente devido ao desmoronamento das margens (efeito direto), mas também pela dificuldade de infiltração das águas da chuva. O escoamento superficial remove e transporta grande volume de sedimentos para dentro do canal (efeito indireto).

## **Evolução temporal da voçoroca**

Na Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG), Figura 1, a alteração da drenagem pelos canais de irrigação levou a um processo de erosão em sulco que evoluiu para uma voçoroca ativa de grande extensão, no município de Glorinha.

As intervenções decorrentes das atividades agrícolas na Bacia Hidrográfica do rio Gravataí (BHRG) iniciaram na década de 1960, com a execução de um canal de macrodrenagem pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS, 1985) entre os anos de 1963 e 1969, a partir de incentivos governamentais. Esse trecho se estende do curso médio do rio até uma das suas nascentes, o Banhado Grande, percorrendo uma distância de aproximadamente. A obra tinha como objetivo melhorar as condições de escoamento e a drenagem dos banhados com a intenção de expandir as áreas de produção de arroz (DNOS, 1985).



**Figura 1.** Localização da área de erosão na área da APA do Banhado Grande, sobre imagem do satélite Landsat TM5 de 1994, em composição colorida falsa cor das bandas TM 4, 5 e 3. Os talhões de arroz têm forma geométrica e aparecem em tons de vermelho. Fonte: Imagem obtida de USGS.

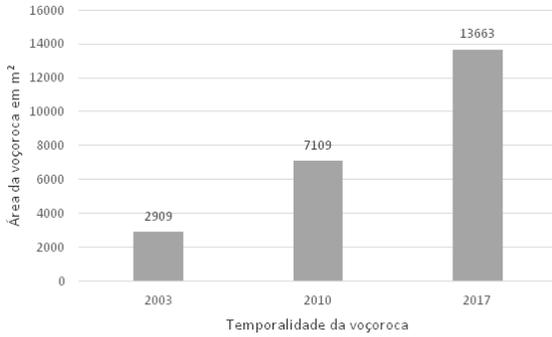
Apesar da suspensão da abertura do canal, dado os possíveis impactos na conservação e manutenção dos banhados, por investimentos próprios, produtores rurais decidiram expandir em mais 5,8 km o canal de drenagem em direção ao Banhado Grande. A abertura indiscriminada deste canal de drenagem alterou o regime hídrico da bacia, gerando caminhos livres para o escoamento das águas, causando impactos no seu regime hidrológico (IPH, 2010; BRENNER, 2016).

Para compreender a evolução temporal dessa voçoroca, foi utilizada uma série temporal de imagens, entre 2003 e 2017, obtida a partir do banco de imagens de satélite disponível no *software Google Earth Pro*. O mapeamento da evolução do processo erosivo na área do Banhado Grande foi elaborado nas seguintes datas: (a) 2003; (b) 2010; (c) 2003; (d) 2010; (e) 2012; (f) 2013; (g) 2014 e (h) 2015; (i) 2017.

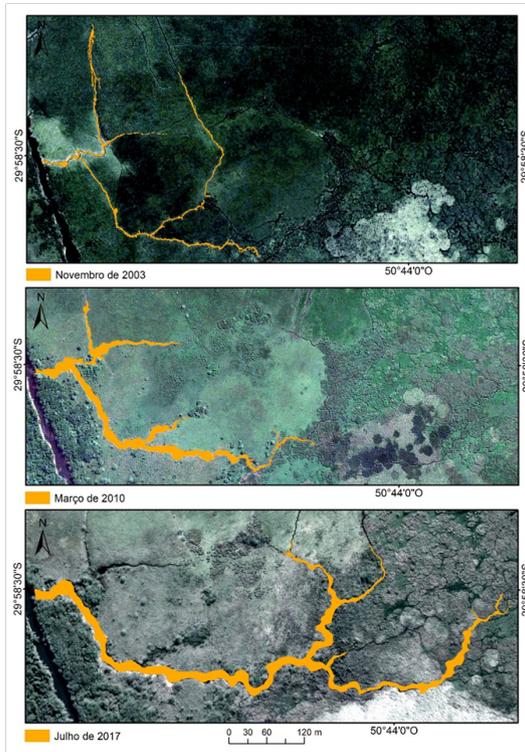
Os processos erosivos foram vetorizados e feita uma sobreposição dos *shapes* de erosão visando analisar o avanço do processo erosivo na área do Banhado Grande, e posteriormente realizada a sua quantificação.

Também foram coletadas amostras de solos, no interior da voçoroca, e realizada análise granulométrica, para verificar as porcentagens de areia, silte e argila de cada horizonte do perfil. As amostras denominadas de perfil 1, 2, 3 e 4 em sequência de topo para base, foram processadas no programa PANICOM/SAG. Após remover o solo alterado do perfil em forma de uma caneleta, foram identificados quatro horizontes bem definidos.

A vetorização da área de voçoroca no Banhado Grande, a partir da análise temporal das imagens satelitais, permitiu quantificar o alargamento horizontal da voçoroca, Figura 2, que de 2909 m<sup>2</sup> no ano de 2003 passou a 13663 m<sup>2</sup> em 2017, e acompanhar a evolução do processo erosivo entre 2003 e 2017, Figura 3.



**Figura 2.** Quantificação da área da voçoroca entre 2003 e 2015.



**Figura 3.** Análise temporal da voçoroca, entre 2003 e 2017.  
Fonte: Google Earth Pro.

A comparação do mapeamento da voçoroca a partir da imagem de novembro de 2003 com o mapeamento da voçoroca em 2017, mostra uma considerável evolução no processo de voçorocamento. Esse processo se caracteriza principalmente pelo alargamento e erosão remontante destas drenagens, o que leva a uma rápida transformação da paisagem do banhado.

Segundo Augustin e Aranha (2006) para que um canal evolua para uma voçoroca, a condição necessária é, além da atuação da erosão, a presença de um conjunto de processos, entre os quais o solapamento de solo e os dutos. Estes desestabilizam as paredes e a cabeceira do canal, provocam seu alargamento e sua evolução à montante, caracterizando uma voçoroca.

Na imagem de novembro de 2003, Figura 3, observa-se uma tendência de evolução da voçoroca para o Norte. Entretanto, nas imagens seguintes, observa-se que a cobertura vegetal exerceu um papel fundamental na estabilização do solo. Para recuperação e estabilização de áreas degradadas por processos erosivos Chaves et al. (2012), recomendam para solos pouco drenados, ou seja, solos úmidos ou subúmidos a leguminosa (*Mimosa bimucronata*), popularmente conhecida por “Maricá”.

As características físicas do fluxo de água subterrânea (RUBBO, 2004) e dos períodos de elevada precipitação que causam pulsos de inundação (SIMIONI et al., 2017) passam a ser agentes com grande potencialidade erosiva, uma vez iniciada a voçoroca.

O fluxo hídrico se dá da área do Banhado Grande para a planície de inundação do rio Gravataí, Figura 4, e o ponto de ruptura que dá início a voçoroca ocorre no ponto em que esse escoamento encontra o trecho retificado do rio perpendicular ao banhado.

Essa ruptura ocorre, pois esse trecho do canal se encontra bastante aprofundado devido a erosão e o nível do banhado mais alto, então o escoamento superficial que rompe esse desnível dá início a voçoroca. Assim a desestruturação do solo exposto nas vertentes da voçoroca o torna suscetível à ação mecânica que a água exerce (BIGARELLA, 2007; ETCHELAR, 2014). Para Bigarella (2007), o processo de desmoronamento das cabeceiras, acompanhado de liquefação do material arenoso das vertentes, é responsável pela velocidade considerável da erosão nas voçorocas.

Destaca-se na voçoroca em março de 2010, Figura 3, a presença de formações circulares. Estas formas, classificadas como ovoides, são formas típicas e apresentam a configuração de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior e um canal estreito à jusante (MAGALHÃES, 2001). A Figura 5, exemplifica a dinâmica destas formações circulares.

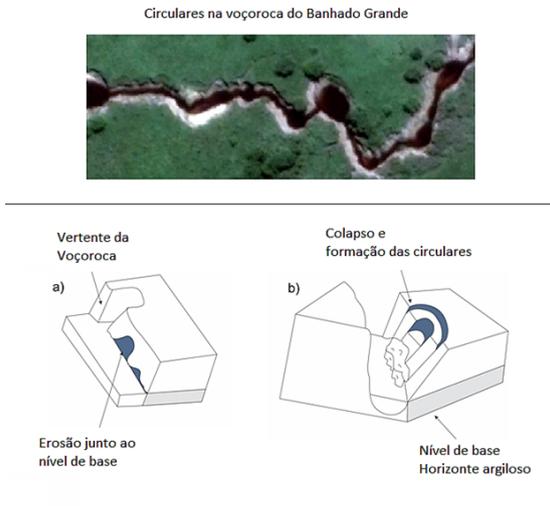


**Figura 4.** Voçoroca em período de inundação demonstrando o processo de escoamento superficial da lâmina de água na área do Banhado Grande decorrente do fluxo hídrico que o banhado fornecesse para a planície de inundação do rio Gravataí. Foto: Andrei Fialho.

O fluxo hídrico ondulatório contínuo no interior da voçoroca pela ressurgência do lençol freático e a disposição da estru-

tura do solo, possibilita o contínuo arrastamento de sedimentos das camadas de solo que estão em contato direto com a água, Figura 5a, e levam ao solapamento das camadas superficiais, Figura 5b, formando as circulares que evoluem para o alargamento da voçoroca, e posterior verticalização do processo erosivo (BIGARELLA, 2007).

Construído perpendicularmente em relação à direção do fluxo das águas superficiais, Figura 6, e do fluxo de águas subterrâneas, o canal aberto pelos rizicultores, influenciou na mudança da dinâmica da vazão do banhado. Segundo IPH (2010), a velocidade da água no canal é discordante da situação natural. Antes da retificação o curso do rio Gravataí era meandrante e estava associado a baixas declividades. Atualmente, no canal, a situação é oposta, com um trecho retilíneo e alta velocidade.



**Figura 5.** Esquema explicando a formação de circulares na vertente da voçoroca, como dinâmica de processo de erosão hídrica. Fonte: Imagem do *Google Earth Pro*; Esquema modificado de Bigarella, 2007.



**Figura 6.** Imagem em período de grande pulso de inundação no Banhado Grande, setembro de 2012. O fluxo hídrico superficial, setor nordeste da imagem, evidencia concordância com a evolução da voçoroca. O ponto de ruptura da voçoroca ocorre no contato do fluxo superficial com o trecho retificado perpendicular do rio Gravataí. Fonte: *Google Earth Pro*.

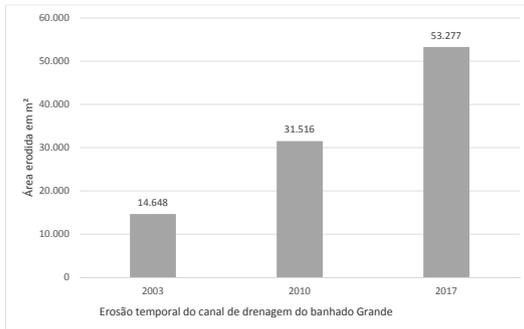
O canal construído pelo DNOS passou por um processo erosivo remontante, chegando a área limítrofe do banhado e do canal que corta perpendicularmente o fluxo de água subterrânea e superficial que sai do banhado em direção a planície de inundação do rio Gravataí, (Figura 7) desencadeando o processo de voçorocamento no período de quinze anos (ETCHELAR, 2014).



**Figura 7.** Fotografia aérea do trecho do canal de irrigação construído pelos agricultores locais no Banhado Grande ampliando o canal do DNOS. Este ponto, está em pleno processo de erosão, em que evidentes as formações circulares de erosão. Esse processo aumenta a vazão do fluxo hídrico entre o banhado e a planície de inundação do rio Gravataí. Foto: Jackson Müller, 16 nov. 2017.

A análise dos valores de vazão diária para os períodos pré-retificação (1940 a 1970) e pós-retificação (1970 a 2009) do rio Gravataí mostra que a vazão máxima passa de 251,61 para 297,50  $\text{m}^3/\text{s}$ ; a vazão média de 19,59 para 32,35  $\text{m}^3/\text{s}$ ; e a vazão mínima de 6,01 para 4,58  $\text{m}^3/\text{s}$ , implicando na redução do tempo de concentração das águas na bacia (BELLOLI, 2016). Com o aumento da vazão através da retificação de seus meandros, existe uma tendência de elevar a competência do rio em erodir e assorear este canal.

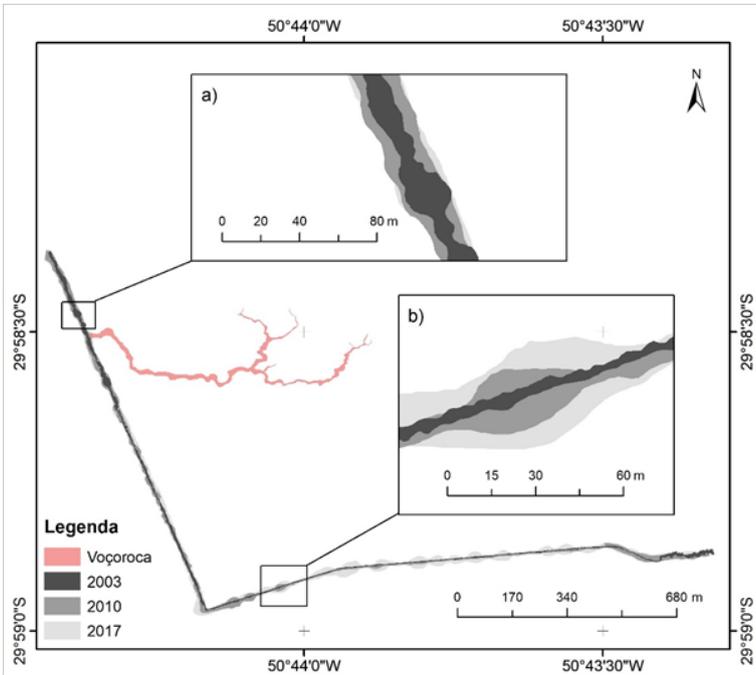
No gráfico, Figura 8, a quantificação do mapeamento temporal do canal de drenagem a partir do mapeamento temporal das imagens de *Google Earth*, mostra uma considerável evolução no processo erosivo remontante, que se caracteriza principalmente pelo alargamento horizontal do canal. Passando de 14.648  $\text{m}^2$  de área erodida em 2003, 31.516  $\text{m}^2$  em 2010 para 53.277  $\text{m}^2$  em 2017.



**Figura 8.** Evolução da área erodida no canal de irrigação em 2003, 2010 e 2017.

A evolução da erosão entre os anos 2003 e 2017, Figuras 9 e 10, mostra as circulares erosivas ao longo do trajeto do canal. Por se tratar de um processo erosivo remontante, tanto na área da voçoroca como no canal de irrigação observa-se na Figura 9a um processo erosivo mais avançado, com alargamento horizontal resultando em feições mais retificadas. Já na Figura 9b o canal apresenta as circulares, identificando neste ponto um processo erosivo que se encontra ativo caracterizado pelo rápido desbarreamento do solo pela ação hídrica.

A perda de grande quantidade de solo neste ponto do banhado ocasiona assoreamento em outros pontos do rio Gravataí como, por exemplo, no trecho em que se encontra a denominada lagoa da Anastácia. Esses trechos além de possibilitar o acesso de caçadores através da voçoroca e do próprio canal de irrigação torna-se uma via de acesso ao interior do banhado. Esses locais abrigam uma rica fauna características desses ambientes, além de ser um refúgio para nidificação de diversas aves migratórias.



**Figura 9.** Erosão no trecho do canal e voçoroca em 2003, 2010 e 2017, Banhado Grande. Fonte: *Google Earth Pro*.



**Figura 10.** Trecho de maior alargamento da voçoroca na área do Banhado Grande com solo exposto na vertente. Ao lado direito da imagem está a margem erosiva da voçoroca, já ao lado esquerdo, encontra-se a margem deposicional dos sedimentos. Assim o processo de erosão se dá na margem côncava e de deposição na margem convexa. Foto: Etchelar, 28 de junho de 2017.

Um maior detalhamento da evolução do processo erosivo do canal de irrigação, Figura 11, mostra o significativo alargamento do canal que passa de 3,87 metros de largura em 2003, para 39,33 metros de largura em 2017.



Canal de drenagem no banhado Grande em 2003 com 3,87 metros de largura

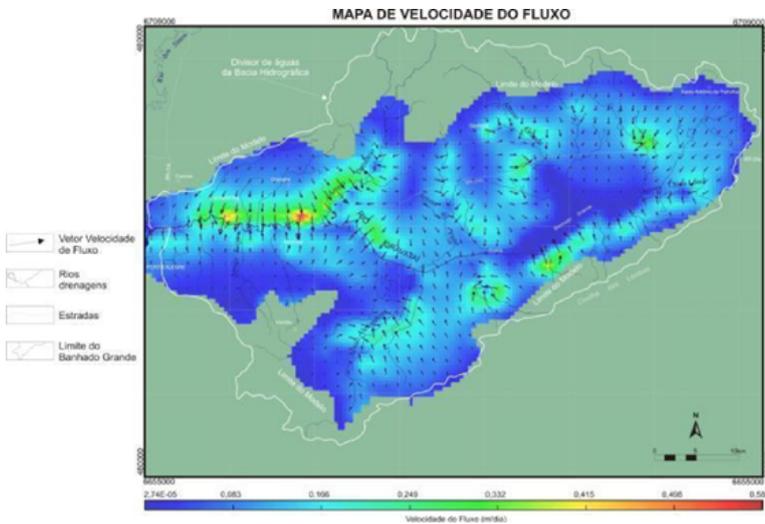


Canal de drenagem no banhado Grande em 2017 com 39,33 metros de largura

**Figura 11.** Evolução do processo erosivo no canal de drenagem do banhado Grande entre 2003 e 2017, nesse ponto ocorre um alargamento de 35,46 metros em 14 anos. Fonte: *Google Earth Pro*.

Na bacia do rio Gravataí, na feição geomorfológica da coxilha das Lombas, ocorre um aquífero cenozóico com litologias

representantes de depósitos sedimentares litorâneos. A circulação das águas no aquífero é muito rápida e caracterizada pela boa permeabilidade dos sedimentos (RUBBO, 2004). O Banhado Grande é um grande receptor das águas contribuintes da Coxilha das Lombas, da região de Santo Antônio da Patrulha e das rochas da Formação Serra Geral e Botucatu (RIO GRANDE DO SUL, 2012). Os vetores de direção do fluxo, Figura 12, de água subterrânea indicam um afunilamento com uma prioridade de fluxo que concorda com o fluxo das águas superficiais quando o banhado se encontra inundado no local da erosão (ETCHELAR e GUASSELLI, 2015).



**Figura 12.** Mapa de velocidade de fluxo das águas subterrâneas. Fonte: Rio Grande do Sul, 2012.

Independente do regime de precipitação existe um fluxo de água permanente do banhado para a calha da voçoroca, mesmo em períodos de estiagem. O lençol freático tem ressurgência em todos os períodos do ano, típico de áreas de banhado. Com isso é possível que ocorra um contínuo arrastamento dos sedimentos,

onde em períodos de grande precipitação se intensificada o arraste das partículas de solo.

O avanço da voçoroca pode estar associado a dinâmica das águas subterrâneas. Pois o fluxo do lençol freático no interior da voçoroca mantém uma erosão contínua dos sedimentos nos horizontes de solo que se mantém em contato com este fluxo hídrico.

A voçoroca se forma em região limítrofe de duas estruturas geológicas distintas, formada de depósitos paludais e depósito de planícies lagunares, caracterizando o perfil do solo da área com a sobreposição de horizontes arenosos sobre horizontes argilosos (ETCHELAR, 2014).

O processo erosivo é remontante e se estabelece a partir do momento em que a intensidade da precipitação excede a taxa de infiltração (FILIZOLA et al., 2011). Na medida em que aumenta o fluxo hídrico associado a enxurrada diminui, portanto, a infiltração da água no solo e aumenta o escoamento superficial.

No trecho canalizado, que corta perpendicularmente a percolação da água que esco do banhado em direção a planície de inundação do rio Gravataí, se inicia o processo de voçorocamento. Destaca-se que o trecho canalizado já passou por um intenso processo erosivo, com acentuada verticalização. A partir do acentuado desnível do banhado em relação ao canal, o escoamento superficial gera de forma remontante a voçoroca.

Além das condições hídricas, leva-se em consideração as características do solo no local. A análise granulométrica do solo nos horizontes expostos na vertente da voçoroca, Tabela 1, indica que as três primeiras amostras do perfil, ordenando de topo para base, tem um predomínio de solo arenoso. A quarta amostra tem uma grande porcentagem de argila, neste horizonte se alcança o nível de base da voçoroca. Pode-se dizer que por apresentar uma fração granulométrica mais arenosa, este tipo de solo estaria mais suscetível à ação dos processos erosivos. A fase de verticalização da erosão cessa quando atinge o nível de base, horizonte

denominado Argilosiltearenoso, nesse processo inicia a fase horizontal de alargamento da voçoroca.

**Tabela 1.** Análise granulométrica do solo, horizontes identificados na vertente da voçoroca.

	<b>Amostra 01</b> Arenosiltear- giloso	<b>Amostra 02</b> Arenoargi- losiloso	<b>Amostra 03</b> Arenosilteargi- loso	<b>Amostra 04</b> Argilo- silearenoso
Areia	63,96%	74,80%	52,24%	16,75%
Silte	29,87%	10,39%	18,11%	22,61%
Argila	6,16%	14,80%	29,63%	60,62%

A ação antrópica que mais contribui para a degradação dos banhados é o cultivo de arroz irrigado, através da drenagem das áreas, do uso de agrotóxicos e fertilizantes, da retirada de água para irrigação das lavouras e o retorno dessas águas com os resíduos para os sistemas naturais aumentando o grau de contaminação em AUs (BRASIL, 2002; YEPES & YANETH, 2015).

O arroz constitui a principal produção agrícola da região, cujo cultivo irrigado ocupa áreas naturalmente inundáveis (DIEGUES, 2002; GUASSELLI et al., 2012; BELOLLI, 2017). Além de destruir e fragmentar habitats, esse cultivo requer um volume expressivo de água para irrigação, impactando substancialmente os ecossistemas naturais (DIAS; BURGER, 2005). As intervenções decorrentes das atividades agrícolas na Bacia Hidrográfica do rio Gravataí (BHRG) iniciaram na década de 1960.

Grande parte do extenso processo de transporte de sedimentos por canais é induzida pelo processo de erosão desencadeada por condições irrigadas. Porém, poucas pesquisas sobre processo erosivo sob irrigação têm sido realizadas, assim, se faz

necessário a compreensão destes processos para prever e desenvolver práticas de gestão para reduzir a erosão induzida por irrigação (TROUT; NEIBLING, 1993).

As atividades de pastoreio também são agentes aceleradores dos processos erosivos. O gado remove a vegetação das margens, eliminando assim a função de filtro exercida pela vegetação (DIAS; THOMAZ, 2011). Além da remoção do solo por desbarrencamento que ocorre na travessia do gado de uma margem a outra do canal (Figura 13). Consequências resultantes do manejo do gado podem incluir alterações na hidrologia de bacias hidrográficas, como alterações de fluxo hidrológico, morfologia e erosão, compactação do solo, destruição da vegetação e deficiências da qualidade de água (AGOURIDIS et al., 2005).



**Figura 13.** Impacto das trilhas do gado no Banhado Grande. Foto: ETCHELLAR, 2016.

Os efeitos do pastoreio sobre erosão em margens de canal fluvial, onde ocorre passagem de gado no canal, apresenta 8 vezes a mais o poder de erosão comparado em um trecho isento da presença do gado (AGOURIDIS et al., 2005; DIAS, 2011).

A retirada do gado em torno de voçorocas ou canais de drenagem evita processos como o pisoteio do gado, a compacta-

ção do solo, a formação de caminhos preferenciais para a percolação da água, e o desbarrancamento das bordas da erosão para o acesso do gado a água e a travessia que os animais realizam de uma borda a outra do canal ou voçoroca.

As atividades agropecuárias são os principais fatores de modificação das pastagens e de ambientes alagados no bioma Pampa. Estas áreas têm sofrido importantes mudanças devido a erosão dos solos e a sedimentação de áreas inundáveis, regulação de córregos, canalização e dessecamento de terras inundáveis, urbanização, e a eutrofização das águas de superfície (QUIRÓS et al., 2006).

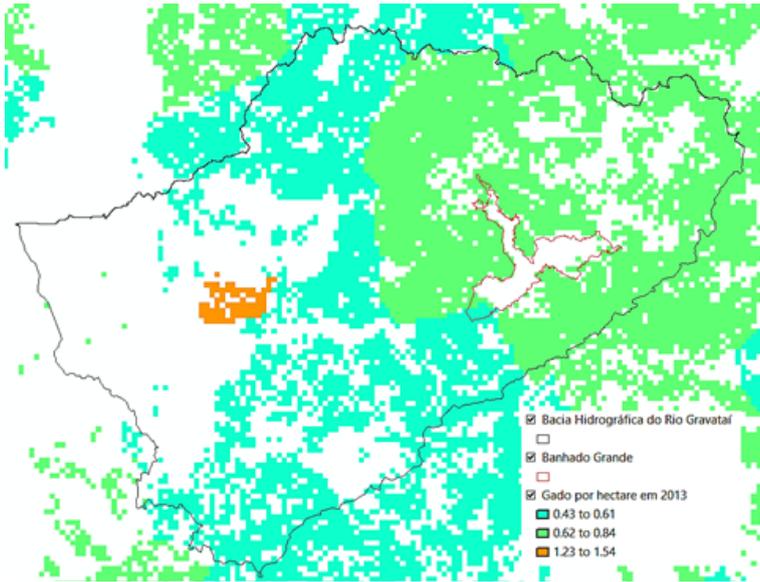
Segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2017), o Rio Grande do Sul é o 6º maior produtor de gado bovino do Brasil; e de acordo com a pesquisa agrícola municipal do IBGE, registrou em 2011 a produção de 14.478.312 cabeças. O rebanho bovino associa-se principalmente aos campos limpos, ambientes característicos do Pampa e integrado a produção de arroz nas várzeas dos rios.

O Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG) calculou e mapeou a Unidade Animal por hectare em 2013. Este cálculo baseia-se na estrutura do rebanho por estado (IBGE, 2013) em 2013 e áreas de pastagens mapeadas de todo o território brasileiro.

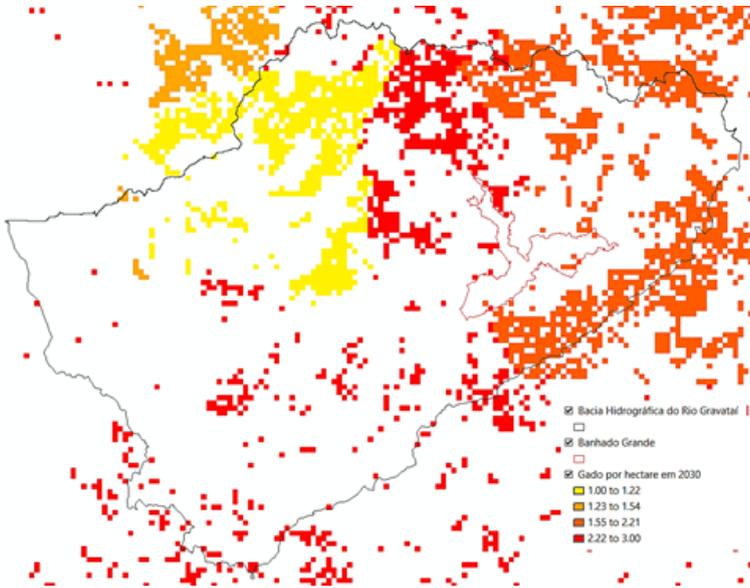
O mapeamento das áreas de gado na área do Banhado Grande, Figura 14, corresponde ao local que apresenta a ocorrência da voçoroca dentro dos limites do banhado, indicando um rebanho de 0,43 a 0,84 cabeças de gado por hectare. A projeção realizada para cabeças de gado por hectare em 2030, indica que um aumento significativo da produção bovina na área da BHRG, com elevação de 1,55 a 2,21 o número de cabeças de gado por hectare, Figura 15.

Com a alteração da cobertura do solo, a reversão da cobertura natural da vegetação típica de banhado pela produção do arroz irrigado, e o manejo através do rodízio da atividade orizí-

cola com a produção bovina, potencializa-se a alteração da estrutura do solo. Estas atividades tendem a aumentar a pressão sobre a área do banhado, dificultando a possibilidade de estabilização da área.

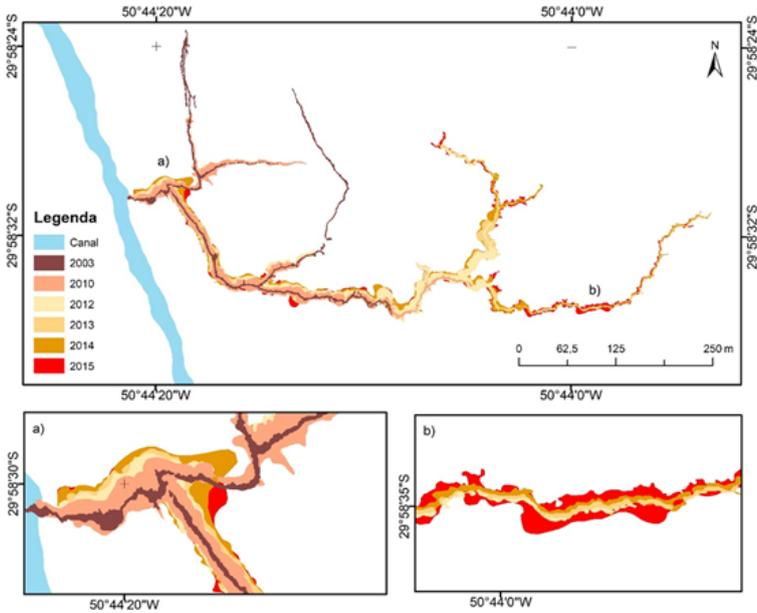


**Figura 14.** Espacialização de unidade animal por hectare em 2013, BHRG.  
Fonte: CSR/UFGM.



**Figura 15.** Projeção da espacialização de unidade animal por hectare para 2030, BHRG. Fonte: CSR/UFMG.

Na sobreposição dos limites da voçoroca, Figura 16, nos anos de 2003; 2010; 2012; 2013; 2014 e 2015, destaca-se o intenso processo do alargamento lateral da voçoroca. Na Figura 15a fica evidente que o processo de erosão horizontal a jusante da voçoroca, encontra-se mais estabilizado. Mas a voçoroca encontra-se em pleno processo de evolução como observado na Figura 15b, salientando que o alargamento da voçoroca tende a avançar na direção leste, ou seja, de jusante para montante.

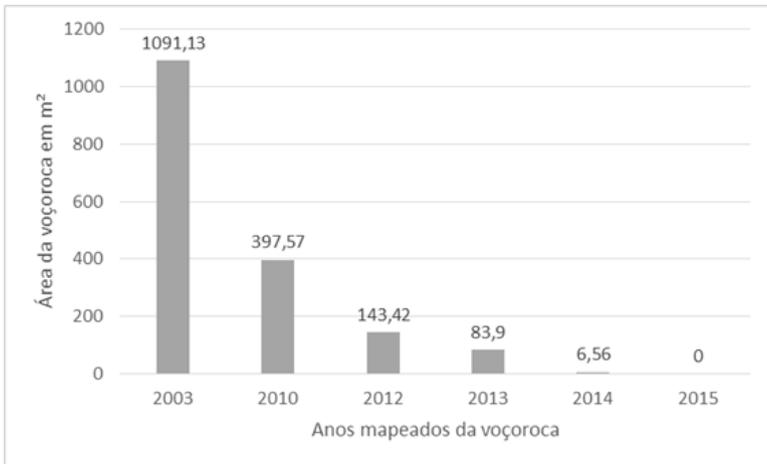


**Figura 16.** Mapa síntese da evolução temporal da voçoroca, APABG. Fonte: Google Earth Pro.

Na erosão formada ao sul da voçoroca, Figura 17, verifica-se em comparação ao ano de 2003, que o processo erosivo encontra-se estabilizado. A regeneração da vegetação e a diminuição do solo exposto, permitiu uma diminuição do processo passando de 1091,13 m<sup>2</sup> em 2003; 397,57 m<sup>2</sup> em 2010; 143,42 m<sup>2</sup> em 2012; 83,9 m<sup>2</sup> em 2013; 6,56 m<sup>2</sup> em 2014, Figura 18, chegando a zerar o seu processo erosivo no ano de 2015.



**Figura 17.** Estabilização da erosão ao sul da voçoroca, entre 2010 e 2015. Fonte: *Google Earth Pro.*



**Figura 18.** Quantificação da erosão ao sul da voçoroca, entre 2010 e 2015, evidenciando estabilização do processo.

A regeneração e estabilização do processo erosivo à sul voçoroca pode estar associada a recuperação/estabilização da cobertura vegetal neste ponto, além da concentração e acúmulo do fluxo hídrico na voçoroca.

O maricá é indicado para a estabilização de processos erosivos. Caracteristicamente melhora a qualidade dos solos que sofrem com processos erosivos, além de adaptar-se bem a solos úmidos e sujeitos a inundação periódica (CARVALHO, 2004).

A renaturalização de um trecho retificado do rio Gravataí, conforme propôs Brenner (2016) diminuiria a vazão do rio e consequentemente amorteceria o rápido processo erosivo. Além de ser uma alternativa sustentável e de baixo custo para mitigação dos impactos de obras de retificação não cimentadas, como o caso do rio Gravataí.

## Conclusões

A série temporal de imagens para análise das feições da voçoroca permitiu com eficácia mapear e quantificar a acelerada dinâmica de evolução do seu processo erosivo, passando de 2909 m<sup>2</sup> em 2003 para 13663 m<sup>2</sup> em 2017.

Por tratar-se de uma área de banhado a dinâmica da voçoroca não se associa a ausência da cobertura vegetal ou a declividade, e sim, a um histórico inadequado de uso e ocupação das terras pela prática do arroz irrigado e o manejo desta cultura em consórcio com a produção de gado.

A análise dos solos da vertente da voçoroca permitiu identificar horizontes superficiais com maior porcentagem de areia, até o “nível de base”, com solos com maior porcentagem de argila, o que permite a ocorrência de processos erosivos quando do manejo inadequado.

O canal construído pelo DNOS passou por um processo erosivo remontante, chegando a área limítrofe do banhado e do canal que corta perpendicularmente a percolação da água que sai do banhado em direção a planície de inundação do rio Gravataí, ocasionando um acelerado processo de voçorocamento no período de doze anos. A alteração da cobertura do solo, com a reversão da cobertura natural da vegetação pela produção orizícola e o manejo do gado potencializam a alteração da estrutura do solo, levando a sua desagregação.

Com o acréscimo da vazão do rio Gravataí no período pós-retificação através da abertura no canal de drenagem para irri-

gação na área limite do Banhado Grande e as AUs do entorno, modifica-se a dinâmica natural de toda a área, ocorrendo a desestabilização da estrutura do solo e a possibilidade da reversão de uma vegetação típica de banhado por pastagens, tem influência direta na formação da voçoroca e seu acelerado processo de expansão.

A voçoroca no Banhado Grande e a própria erosão do canal de drenagem, ocasiona um impacto ambiental neste importante e frágil ecossistema, incluindo o rebaixamento do lençol freático pelo aumento da velocidade de vazão e drenagem hídrica do banhado em direção a planície de inundação e a perda de grande quantidade de solo e o assoreamento do rio.

## Referências

AGOURIDIS, C. T.; EDWARDS, D. R.; WORKMAN, S. R.; BICUDO, J. R.; KOOSTRA, B. K.; VANZANT, E. S.; TARABA, J. L. Streambank erosion associated with grazing practices in the humid region. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 1, p.181-190, 2005.

ALMEIDA-FILHO, S.; ALMEIDA, J. Erosão hídrica do tipo ravina e boçoroca. **Anais...** 3º Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana. São Paulo: ABGE. 7 p, 2016.

Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2017). Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/bovinos>>. Acesso em: 14 out. 2017.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 1, p.09-18, 2006.

BELLOLI, T. F. 2016. **Impactos ambientais decorrentes da produção orizícola, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande - RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de Conclusão do Bacharelado em Geografia. 80 p.

BIGARELLA, J. J. 2007. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Volume. 3. Florianópolis: Ed. Da UFSC, p.877-1436.

BRASIL, **MMA**. Avaliação e identificação das áreas e ações prioritárias

para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos Biomas brasileiros. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2002, 404p.

BRENNER, V. C. 2016. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 94 p.

CARVALHO, P. E. R. Maricá – *Mimosa bimucronata*. **Circular Técnica 94**. Colombo: EMBRAPA Florestas Paraná, 10p, 2004.

Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR/UFMG). Disponível em: <<http://maps.csr.ufmg.br/geonetwork/srv/por/search#|02c6f16b-ec15-4636-9243-f2279aa5be88>>; <<http://maps.csr.ufmg.br/geonetwork/srv/por/search#|fa0a2dab-50f8-422a-8b42-c2a-fe9d08358>>. Acesso em: ago. 2017.

CHAVES; T. A.; ANDRADE, A. G.; LIMA, J. A. S.; PORTOCARRERO, H. **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural**. Manual Técnico, 34. Niterói: Programa Rio Rural, 2012, 21p.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdução à Geografia Física**. 7 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012, 728p.

CORRÊA, M. A. A. **Métodos de combate à erosão do solo**. Serviço de informação agrícola. Rio de Janeiro: GB (Brasil). 1959, 152p.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999, 131p.

DIAS, R. A.; BURGER, M. I. A Assembleia de aves de áreas úmidas em dois sistemas de cultivo de arroz irrigado no extremo sul do Brasil. **Ararajuba**, v.13, n.1, p.63-80, 2005.

DIAS, W. A.; THOMAZ, E. L. Avaliação dos efeitos de pastoreio sobre a erosão em margens de canal fluvial em sistema de faxinal. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n.1, p. 23-35, 2011.

DIEGUES, A. C. S. **Povos e águas: Inventário de áreas úmidas**. 2 ed. Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas. São Paulo: USP, 2002, 597p.

DNOS. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia do rio Gravataí. Projeto de coordenação técnica Brasil-Alemanha. **Estudos integrados de bacias hidrográficas**, v.2, 1985, 334p.

ETCHELAR, B. C. 2014. **Análise do Processo Erosivo no Banhado Grande, APA do Banhado Grande, Município de Glorinha – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de Conclusão do Bacharelado em Geografia. 72 p.

ETCHELAR, B. C.; GUASSELLI, L. A. Erosão hídrica do solo na APA do Banhado Grande – Município de Glorinha. Encontro Brasileiro sobre Ravinas, Voçorocas, Erosão Hídrica do Solo e Movimentos de Massa - **EBRAVO + EHMM**. Porto Alegre, 4p, 2014.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS. 2014. Qualidade Ambiental. **Região Hidrográfica do Guaíba**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em: 09 dez. 2015.

FILIZOLA, E. F.; ALMEIDA-FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D.; GOMES, M. A. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **Circular Técnica 22**. Jaguaruina: EMBRAPA São Paulo, 7p, 2011.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão** – Instituto Campineiro de pesquisas agrícolas / Campinas: SP. 1984, 154p.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 277p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340 p.

HOOVER, J. P. 2009. Effects of hydrologic restoration on birds breeding in forested wetlands. **Wetlands**, v. 29, n. 2, p. 563-573, 1999.

HUTTON, J. Intemperismo e erosão. In: PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R. e JORDAN, T. H. Para entender a Terra. 4a. ed. Porto Alegre: Bookman, p.169-192, 2008.

IMESON, A.; CURFS, M. **Erosão do solo**. Lucinda, Land Care in Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série fascículo B, n. 1, 2006, 15p.

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Estudo do processo erosivo em área de banhado na bacia hidrográfica do Rio Gravataí**. Porto Alegre: UFRGS, 2010, 43p.

McCARTHY, T. S.; ARNOLD, V.; VENTER, J.; ELLERY, W. N. The collapse of Johannesburg's Klip River wetland. **South African Journal of Science**, v. 103, n. 10/9, p.391-397, 2007.

MAGALHÃES, A. M. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **Anais... VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Goiânia - GO, 2001, 11p.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133, 2003.

QUIRÓS, R.; BOVERI, M. B.; PETRACHI, C. A.; RENELLA, A. M.; ROSSO, J. J.; SOSNOVSKY, A.; VON BERNARD, H. T. Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. Eutrofização na América do Sul: Causas, conseqüências e tecnologias de gerenciamento e controle. p. 1-16, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano de recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí**. Secretaria do Meio Ambiente. 2012.

RISER, J. **Erosão e Paisagens naturais**. Tradutor: VIEGAS, A. Lisboa: Instituto Piaget, 1995. 125p.

ROLON, A. S.; HOMEM, H. F.; MALTCHIK, L. Aquatic macrophytes in natural and managed wetlands of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, n. 2, p. 133-146, 2010.

SIMIONI, J. P.; GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C. B. Conectividade entre as áreas úmidas da APA de Banhado Grande, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, n.15. p. 1-11, 2017.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L.; STRELKOFF, T. S. Irrigation Induced Erosion. In: LASCANO, R. J. e SOJKA, R. E. (eds.) *Irrigation of Agricultural Crops*, Agronomy monograph n. 30. ASA, CSSA, SSSA. Madison, p.237-275, 2007.

SUERTEGARAY, D. M. A.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L. A.; SILVA, C. R.; ROSSATO, M. S. **Terra – Feições Ilustradas**. 3. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS. 2008, 264p.

TROUT, T. J.; NEIBLING, W.H. **Erosion and Sedimentation Processes on irrigated fields**. J. Irrig. Drainage Engr. ASCE. v.119, p 947-963, 1993.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG, L. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v. 2-3, p. 132-153, 2005.

YEPES, F.; YANETH, G. Servicios ecosistémicos y variables socioambientales determinantes en ecosistemas de humedales altoandinos. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**. v. 1, p.173-179, 2015.