Viabilidade de aplicação do Método GUT para classificação de áreas sob erosão em reservatórios de usinas hidrelétricas

Feasibility of applying the GUT method for classification of areas with erosion in hydroelectric power plants reservoirs

Junior Joel Dewes[1]
Rita dos Santos Sousa[2]
Fabrício Jaques Sutili[3]

[1] Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria; E-mail: juniordewes2011@gmail.com

[2] Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria; E-mail: ritasousa.ufsm@gmail.com

[3] Docente da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Santa Maria: E-mail: fjsutili@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do Método GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) em classificar áreas submetidas a diferentes condições e intensidades de erosão ao longo das margens de um reservatório de uma usina hidrelétrica. O objeto de estudo é o reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá, localizada no município de Itá, SC. A partir do levantamento a campo avaliaram-se 20 áreas submetidas a erosão. Em cada área foram levantadas as seguintes variáveis: inclinação, cobertura superficial, altura do talude, tipo de solo, circulação de gado, presença de árvores instáveis e outros tipos de erosão (sulcos, ravinas). As variáveis observadas foram pontuadas em relação à Gravidade, Urgência e Tendência em uma escala de 1 (menos problemático) a 5 (mais problemático). A multiplicação dos 3 fatores de cada variável e a soma de todas as variáveis resultou na pontuação total de cada área avaliada. O método permitiu diferenciar e classificar as áreas avaliadas em ordem prioritária de intervenção. Portanto, o método mostrou-se eficiente na diferenciação dos processos erosivos vigentes em cada área, podendo ser aplicado à dinâmica lacustre em outras regiões do país. No entanto, o processo de pontuação demanda certo nível de experiência por parte do avaliador.
Palavras-chave: Engenharia Natural, dinâmica lacustre, perda de solo, conservação da natureza

Abstract: The aim of this work was to evaluate the viability of the GUT method (Severity, Urgency, Tendency) for areas classification submitted to different conditions and intensities of erosion along the banks of a hydroelectric plant reservoir. The object of study is the hydroelectric plant of Itá reservoir, located in the municipality of Itá, SC. From the field survey were evaluated 20 areas with erosion. In each area the following variables were observed: slope, soil cover, slope height, soil type, livestock circulation, presence of unstable trees and other types of erosion (furrows, ravines). The observed variables were scored in relation to the severity, urgency and tendency on a scale of 1 (less problematic) to 5 (more problematic). The multiplication of the 3 factors of each variable and the sum of all variables resulted in the total score of each evaluated area. The method allowed to distinguish and classify the evaluated areas in priority order of intervention. Therefore, the method proved to be efficient in the differentiation of the existing erosive processes in each area and could be applied to the lake dynamics in other regions of the country. However, the scoring process requires a certain level of experience of the evaluator.
Palavras-chave: Soil Bioengineering, lake dynamics, soil loss, nature conservation

1. Introdução

O Brasil possui um dos maiores potenciais hídricos do mundo (Freitas e Coimbra, 1998). Segundo a ANA (2016), o país apresenta um total de 22.920 reservatórios de água cadastrados, sendo 21.796 classificados como espelhos

d'água de reservatórios artificiais para geração de energia elétrica e usos múltiplos, ou seja, decorrentes de barragens construídas pelo homem.

A execução de barragens e a criação de grandes reservatórios modifica a dinâmica fluvial e hidráulica do local (Hacker e Johannsen, 2012; Sales et al., 2017). Um dos problemas decorrentes de barramentos é a perda de solo e vegetação ao longo das margens dos reservatórios pela ação paulatina, mas constante, das ondas formadas pelo vento na superfície do lago. Como forma de amenização, o empreendedor responsável pelo reservatório deve intervir tecnicamente para o cumprimento do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório, bem como da manutenção da faixa de mata ciliar que, atualmente, é de 30 m, segundo o Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012).

No entanto, o comportamento dos processos erosivos não se dá de forma linear ao longo de todo o reservatório. O poder erosivo junto às margens pode ser influenciado por inúmeros fatores como o tipo, coesão e resistência do solo, largura do reservatório, altura das ondas, frequência e velocidade do vento, cobertura superficial dos taludes, dentre outros. A combinação destes fatores contribui para o estabelecimento de diferentes intensidades de erosão ao longo das margens, o que condiciona a maiores taxas de perdas de solo em alguns trechos.

Esta condição leva à necessidade de mapeamento e classificação destes trechos sob erosão, a fim de hierarquizar as áreas mais problemáticas e prioritárias de intervenção do ponto de vista do controle dos processos erosivos vigentes. Uma técnica potencial para este tipo de abordagem é a utilização do Método GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) (Fáveri e Silva, 2016; Hékis et al., 2013).

O Método GUT apresenta grande simplicidade de aplicação (Meireles, 2001) e consiste na pontuação dos fatores Gravidade, Urgência e Tendência relacionados a determinado problema ou variável (Periard, 2011). A Gravidade abrange os impactos que poderão advir da não resolução do problema; a Urgência considera o tempo disponível para a resolução e a Tendência analisa o comportamento futuro de evolução ou redução do problema (Daychoum, 2012; Hékis et al., 2013). Segundo Hékis et al. (2013), a cada fator (G, U, T) é atribuída uma pontuação de 1 a 5, na qual o número 1 e 5 representam a condição menos e a mais problemática, respectivamente.

Este método foi desenvolvido inicialmente para tomada de decisões, priorização e resolução de problemas no setor da indústria (Kepner e Tregoe, 1981). No entanto, o método também pode ser aplicado a inúmeros outros campos de atuação, conforme relatado por Lopes et al., 2018.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do Método GUT em classificar áreas submetidas a diferentes condições e intensidades de erosão ao longo das margens de um reservatório de uma usina hidrelétrica.

2. Metodologia de trabalho

2.1. Descrição da área em estudo

A área objeto de estudo deste trabalho localiza-se ao longo do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá (UHE Itá), cuja usina é operada pela empresa franco-belga Engie Brasil Energia. O empreendimento hidrelétrico está situado no rio Uruguai na divisa entre os estados de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS). O barramento principal e a casa de força encontram-se localizados próximos do município de Itá (SC) e Aratiba (RS) (27°16’ S e 52°23’ W).

O reservatório da UHE Itá possui 760 km de perímetro e 141 km² de área total (Consórcio Itá, 2000). Os municípios limítrofes mais importantes são Itá, Aratiba, Marcelino Ramos, Severiano de Almeida, Peritiba e Arabutã (Eletrosul, 1988).

2.2. Método GUT (Gravidade, Urgência, Tendência)

Para aplicação do método GUT, percorreu-se todo o perímetro do reservatório com o uso de barco e identificaram-se os trechos de margem com ocorrência de erosões. Estas áreas foram nomeadas levando em consideração o posicionamento em relação à margem (MD: margem direita; ME: margem esquerda) do rio Uruguai.

A visita ao reservatório para reconhecimento das áreas ocorreu em outubro de 2017. Na ocasião foram observadas as seguintes variáveis em cada área: Inclinação do talude inferior e do talude superior (°); Cobertura superficial do talude inferior, talude superior e terreno natural (%) (avaliação realizada de forma visual); Tipo de solo do talude inferior e talude superior; Altura do talude superior (m); Presença de gado; Presença de árvores instáveis na crista do talude superior; Outros tipos de erosão (sulcos, ravinas, voçorocas).

A nomenclatura para diferenciação dos segmentos do terreno segue a metodologia proposta por Dewes et al. (2018), conforme representado na Figura 1.

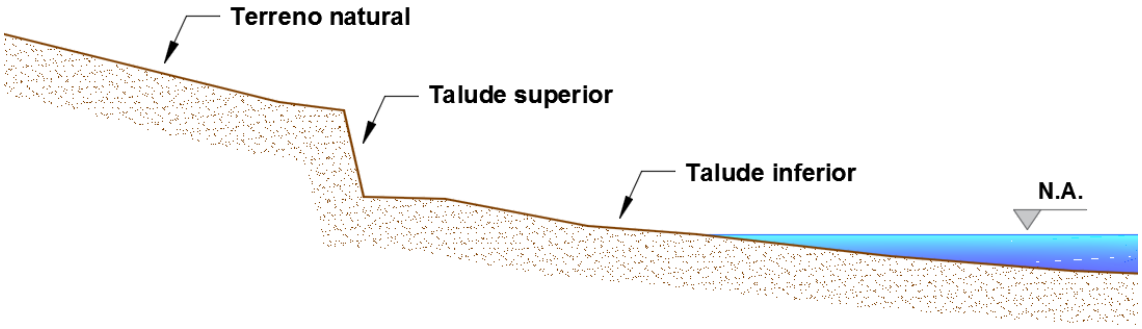

Figura 1 – Nomenclatura utilizada para os diferentes segmentos do terreno próximos do reservatório de água. Fonte: Dewes et al. (2018).
Figure 2 – Nomenclature used for the different land segments near the water reservoir. Source: Dewes et al. (2018).

Para aplicação do método GUT foram escolhidas aleatoriamente 20 áreas. A partir das variáveis quantificadas a campo foi realizada a classificação das mesmas, conforme apresentado na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1 – Tabela para determinação da pontuação GUT de cada área.
Table 2 – Table to define GUT score for each area.

VARIÁVEIS SOB ANÁLISE	G	U	T	GUT
	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	
Aspectos técnicos e ambientais				
Variável i	G_i	U_i	T_i	$G_iU_iT_i$
Variável i+1	G_{i+1}	U_{i+1}	T_{i+1}	$G_{i+1}U_{i+1}T_{i+1}$
Variável n	G_n	U_n	T_n	$G_nU_nT_n$
Aspectos sociais e outros				
Variável i	G_i	U_i	T_i	$G_iU_iT_i$
Variável i+1	G_{i+1}	U_{i+1}	T_{i+1}	$G_{i+1}U_{i+1}T_{i+1}$
Variável n	G_n	U_n	T_n	$G_nU_nT_n$
SOMA				$\sum$ ***GUT***

Figura 3 – Método GUT com atributos de pontuação para cada variável.
Figure 4 – GUT method with scores attributes for each variable.

Os intervalos definidos para a atribuição da pontuação para as diferentes variáveis podem ser observadas na Tabela 3 e Tabela 5.

Tabela 3 – Intervalos das variáveis observadas para atribuição da pontuação GUT.
Table 4 – Ranges of the observed variables for the evaluation of the GUT score.

Inclinação dos taludes (°)		Cobertura superficial (%)		
Talude inferior	**Talude superior**	**Talude inferior**	**Talude superior**	**Terreno natural**
Até 5,0	Até 30,0	Até 10,0	Até 10,0	Até 10,0
5,1 - 10,0	30,1 - 45,0	10,1 - 35,0	10,1 - 35,0	10,1 - 35,0
10,1 - 15,0	45,1 - 60,0	35,1 - 60,0	35,1 - 60,0	35,1 - 60,0
15,1 - 20,0	60,1 - 75,0	60,1 - 85,0	60,1 - 85,0	60,1 - 85,0
>20,0	>75,0	>85,0	>85,0	>85,0

Tabela 5 - Intervalos das variáveis observadas para atribuição da pontuação GUT.
Table 3 – Ranges of the observed variables for the evaluation of the GUT score.

Tipo de solo		Altura (m)	Erosão	Gado	Árvores instáveis	
Talude inferior	**Talude superior**					
Rocha/Saprólito	Rocha/Saprólito	Até 1,0	Splash	Presente	Poucas	1 - 7
Argiloso/saprólito	Argiloso/saprólito	1,1 - 2,0	Laminar	Ausente	Várias	>7
Argiloso	Argiloso	2,1 - 3,0	Sulcos	-	Ausente	-
Franco	Franco	3,1 - 4,0	Ravinas	-	-	-
Arenoso/siltoso	Arenoso/siltoso	>4,0	Voçorocas	-	-	-

As variáveis para cada área foram pontuadas em relação à gravidade, urgência e tendência, sendo atribuído um número de 1 (menos problemático) a 5 (mais problemático). A partir da pontuação total obtida para cada área realizou-se a classificação decrescente das mesmas.

A presente análise considerou somente aspectos técnicos e ambientais, já que prejuízos de cunho social não foram observados durante o levantamento a campo.

O tratamento e análise dos dados foram realizados com a ajuda do pacote Microsoft Excel 2010.

3. Resultados e discussão

A Tabela 6 apresenta os dados levantados a campo para as 20 áreas consideradas.

Tabela 6 – Dados médios obtidos para cada área com base no levantamento de campo (TI: talude inferior; TS: talude superior; TN: terreno natural).
Table 7 – Average data obtained for each area based on field survey (TI: bottom slope; TS: upper slope; TN: natural terrain).

Área	Inclinação (°)		Cobertura (%)			Solo		Altura (m)	Erosão	Gado	Árvores instáveis
	TI	TS	TI	TS	TN	TI	TS				
MD 01	13,0	65,6	30	50	100	Argiloso	Argiloso	3,1	-	-	Várias
MD 02	19,0	71,0	90	30	100	Argiloso	Argiloso	1,5	-	-	Poucas
MD 03	21,7	74,0	80	80	100	Argiloso	Argiloso	1,7	Sulco	Sim	Várias
MD 04	10,8	54,2	0	90	100	Argiloso	Argiloso	1,1	-	-	Poucas
MD 09	14,8	40,2	0	0	100	Argiloso	Argiloso	5,0	Sulco	-	-
MD 12	19,4	63,0	0	0	100	Argiloso	Argiloso	0,9	-	-	Poucas
MD 13	20,3	79,7	30	5	100	Argiloso	Argiloso	0,9	-	-	Várias
ME 01	14,0	54,0	30	30	100	Argiloso	Argiloso	0,6	-	-	-
ME 03	11,5	64,5	0	0	100	Argiloso	Argiloso	1,2	-	-	Poucas
ME 05	11,3	59,7	0	0	100	Argiloso	Argiloso	1,5	-	-	Várias
ME 06	10,5	53,5	0	100	100	Argiloso	Argiloso	1,5	-	-	-
ME 08	10,0	58,0	0	0	100	Argiloso	Argiloso	1,5	-	-	Poucas
ME 09	17,5	71,0	60	60	100	Saprólito	Argiloso	1,6	Sulco	Sim	Várias
ME 10	11,0	80,0	0	60	100	Argiloso	Argiloso	0,6	-	-	Poucas
ME 12	12,5	73,0	10	0	100	Argiloso	Argiloso	0,6	-	-	Poucas
ME 13	13,5	80,0	2	0	100	Argiloso	Argiloso	1,2	-	-	Poucas
ME 15	18,3	69,3	40	0	100	Argiloso	Argiloso	0,7	-	Sim	Várias
ME 16	16,3	80,7	50	0	100	Argiloso	Argiloso	0,8	-	-	Várias
ME 18	14,3	42,7	8	0	100	Argiloso	Argiloso	2,4	Sulco	-	Várias
ME 20	21,0	68,5	0	0	100	Argiloso	Argiloso	0,7	-	-	Poucas

Pode-se observar que a inclinação do talude inferior variou de 10,0° até 21,7°, o que resulta em uma amplitude de 10,7°. Este segmento do terreno encontra-se sob influência direta da oscilação do nível de água do reservatório e, portanto, submetido à ação paulatina e constante das ondas formadas na superfície do reservatório. À medida que o nível de água é rebaixado, o solo erodido é arrastado para dentro do reservatório, o que resulta na formação de pequenas praias que apresentam baixas inclinações (denominado efeito *beaching*).

Por outro lado, a inclinação do talude superior variou de 40,2° até 80,7°, resultando em uma amplitude de 40,5°. Este segmento do terreno apresenta maiores inclinações do talude em comparação ao talude inferior devido à queda e desmoronamento de solo à medida que ocorre a erosão no talude inferior pela ação das ondas. A presença de raízes de gramíneas e de vegetação arbórea no topo do talude superior aumenta a estruturação e fixação do solo, o que contribui para a existência de inclinações maiores.

Na análise da cobertura superficial do solo foi considerada a presença de vegetação arbustiva, arbórea e herbácea, presença de pedras, troncos e/ou galhos. Pode-se observar que praticamente 50% das áreas levantadas apresentaram algum

tipo de cobertura superficial no talude inferior e superior, ou seja, os segmentos do terreno sob influência direta do nível do reservatório. Na maioria dos casos esta cobertura foi caracterizada pela presença de blocos de pedras, os quais permanecem na superfície do terreno após erosão do solo propriamente dito em seu entorno, como pode ser observado na Figura 5.

Quanto ao terreno natural, todas as áreas apresentaram boa cobertura superficial do solo (100%). Os tipos de cobertura mais comumente observados foram de mata ciliar, gramíneas com indivíduos arbóreos isolados e capoeira em estágio avançado de regeneração.

Os solos presentes em todas as áreas, exceto no talude inferior da área ME 09 (saprólito), devido ao estágio avançado de erosão são de constituição argilosa, como representado na Figura 5. Estes tipos de solo ocorrem com frequência ao longo das margens do reservatório da UHE Itá (Eletrosul, 1988).

Figura 5 – Presença de pedras cobrindo de forma parcial superficialmente o talude inferior na Área ME 15 (à esquerda). Solo de constituição argilosa na Área ME 03 (à direita). Fotografias: Junior J. DEWES.
Figure 6 – Presence of rocks partially covering the lower slope in the area ME 15 (on the left). Soil of clay constitution in the area ME 03 (on the right). Photographs: Junior J. DEWES.

A altura do talude superior variou de 0,6 m até 5,0 m de altura, acarretando em uma amplitude de 4,4 m entre as áreas avaliadas.

Em algumas áreas foram ainda observados agravantes adicionais que favorecem a ocorrência de processos erosivos, como a circulação de gado, a formação e erosão em sulcos e a presença de árvores em condições de instabilidade na crista do talude superior, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Circulação de gado e agravamento dos processos erosivos na Área ME 09 (à esquerda). Árvore em condições de instabilidade geotécnica na crista do talude superior da Área MD 03 (à direita). Fotografias: Junior J. DEWES.
Figure 8 – Circulation of cattle and aggravation of the erosive processes in the area ME 09 (on the left). Tree in conditions of geotechnical instability on the top of the upper slope of the area MD 03 (on the right). Photographs: Junior J. DEWES.

A Figura 9 apresenta a pontuação GUT organizada em ordem decrescente, para todas as áreas avaliadas neste estudo. Os resultados obtidos a partir da Tabela 1 representam a condição atual (gravidade), a rapidez necessária para a correção (urgência), bem como a expectativa de evolução ou estagnação (tendência) dos processos erosivos em cada área.

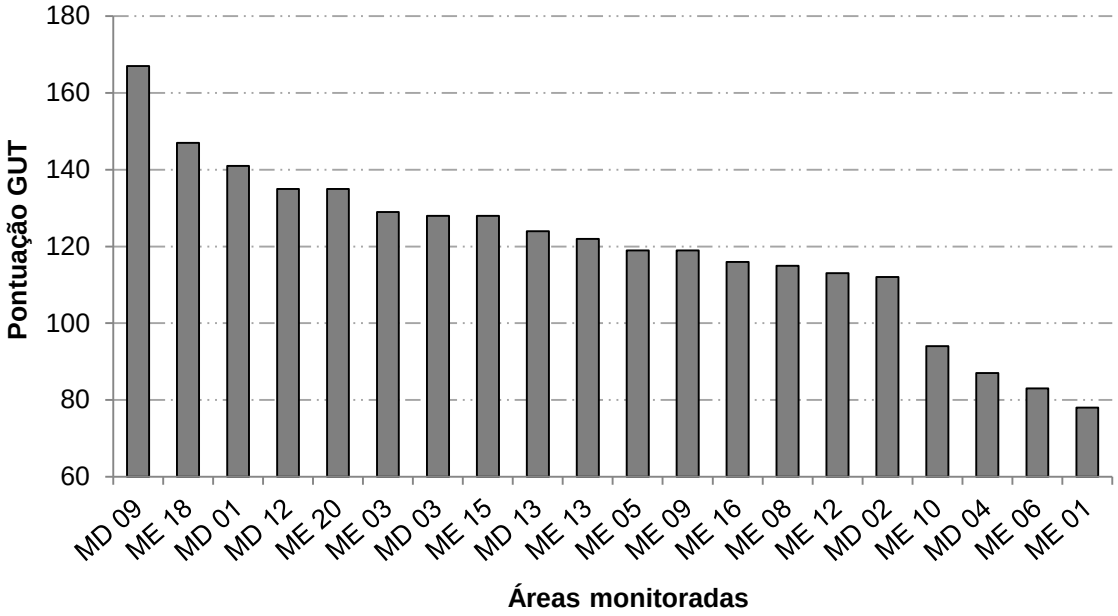

Figura 9 – Classificação decrescente e pontuação GUT total obtida para todas as áreas analisadas.
Figure 10 – Decreasing classification and total GUT score obtained for all analyzed areas.

A área MD 09 apresentou a maior pontuação (167) dentre todas as áreas analisadas, seguida da área ME 18 (147) e MD 01 (141). As áreas com menor

pontuação foram constatadas para a ME 01 (78), seguida de ME 06 (83), MD 04 (87) e ME 10 (94). Portanto, as áreas MD 09 e ME 01 apresentam a maior e a menor necessidade de intervenção, respectivamente.

A classificação de diferentes problemas por meio do método GUT pode ser compreendida como uma ferramenta de gestão útil para a tomada de decisões, locação de recursos e avaliação de pontos prioritários de correção (Fáveri e Silva, 2016; Hékis et al., 2013). Para este caso concreto, a classificação obtida pode servir de base para a elaboração de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), dentre outros. Serve também como ferramenta para análise espacial, ou seja, as regiões ao longo do reservatório nas quais os processos erosivos são mais intensos. Isto demonstra o potencial e aplicabilidade do método em reservatórios de usinas hidrelétricas, na ausência de métodos de classificação mais quantitativos.

A análise das áreas pelo método GUT mostrou-se interessante, pois permite a inclusão, ou inclusive exclusão, de variáveis na análise. Isto demonstra uma grande flexibilidade e potencial do método em adaptar-se às fisionomias e particularidades de diferentes locais.

Além das variáveis avaliadas neste estudo, é importante a inclusão de outras variáveis, quando se fizer necessário, como ocorrência de movimentos de massa, riscos a edificações e/ou infraestrutura, perda de área de uso econômico e/ou recreativo, grande impacto visual, dentre outros.

A classificação de áreas com estes tipos de processos erosivos deve ser realizada em um intervalo máximo de um ano, tendo em vista que a deflagração de novas formas de perda de solo pode levar à reclassificação das áreas e consequente prioridade de intervenção.

O controle de perdas de solo nas margens de reservatórios devido ao embate das ondas pode ser realizado com técnicas de Engenharia Natural.

4. Conclusões

Conclui-se que o método de pontuação GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) mostrou-se viável para aplicação em monitoramento qualitativo de áreas submetidas a processos erosivos em reservatório de usina hidrelétrica. As pontuações obtidas para cada área permitiu a classificação das mesmas quanto à condição da erosão vigente em cada local.

Os resultados de monitoramento obtidos pelo método GUT são úteis para nortear a escolha de áreas prioritárias de intervenção, o que é interessante no planejamento e execução de obras de recuperação de áreas degradadas (RAD).

Apesar de simples e de fácil aplicação, o processo de pontuação pode envolver grande subjetividade na análise, o que demanda certo nível de experiência prática por parte do avaliador.

A aplicação deste método em reservatórios de água possui caráter inovador e pode ser replicado em outras regiões do país.

Agradecimentos

À Engie Brasil Energia pelo apoio financeiro e concessão de bolsa e à Real Topografia pela assistência durante o levantamento de dados a campo.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2016**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas (ANA), 2017. 225 p.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Proteção da vegetação nativa. Brasília, DF, maio 2012. 29 p.

CNEC — CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSULTORES S.A. Estudo de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Itá: IR2 - RT - RE1 – CN – 13, 1988.

CONSÓRCIO ITÁ. **Itá: Memória de uma Usina**. Itá: Ed. Takano, 2000. 169 p.

DAYCHOUM, M. **40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012. v. 4. 360 p.

DEWES, J. J.; SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. **Metodologia para monitoramento de processos erosivos nas margens do reservatório da UHE Itá**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): Laboratório de Engenharia Natural (LabEN), 2018. 14 p.

FÁVERI, R.; SILVA, A. Método GUT aplicado à gestão de risco de desastres: uma ferramenta de auxílio para hierarquização de riscos. **Revista Ordem Pública e Defesa Social**, Florianópolis, v. 9, p. 93 – 107, 2016.

FREITAS, M. A. V.; COIMBRA, R. M. **Perspectivas da hidrometeorologia no Brasil**. In: Tópicos em hidrometeorologia no Brasil. (S.I.): INMET: GHF-Ambiental: Sociedade Brasileira de Meteorologia: ANEEL, 1998.

HACKER, E.; JOHANNSEN, R. **Ingenieurbiologie**. Stuttgard: Eugen Ulmer KG, 2012. 383 p.

HÉKIS, H. R.; SILVA, A. C.; OLIVEIRA, I. M. P.; ARAUJO, J. P. F. Análise GUT e a gestão da informação para tomada de decisão em uma empresa de produtos orgânicos no Rio Grande do Norte. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 34, p. 20 – 32, 2013.

KEPNER, C. H.; TREGOE, B. B. **O administrador racional**. São Paulo: Atlas, 1981. 222 p.

LOPES, M. A.; REIS, E. M. B.; DEMEU, F. A.; MESQUITA, A. A.; ROCHA, A. G. F.; PELEGRINI, D. F.; FARIA, J. G. K.; JUNIOR, F. E. P. T. Uso de ferramentas de gestão na atividade leiteira: um estudo multicascos em Uberlândia, MG. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 39, p. 73 – 86, 2018.

MEIRELES, Manuel. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001. v. 1. 144 p.

PERIARD, G. **Matriz GUT: Guia Completo** Disponível em: <http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>. Acesso em: 11 ago. 2018.

SALES, M. M.; CARVALHO, J. C.; MASCARENHA, M. M. A.; LUZ, M. P.; SOUZA, N. M.; ANGELIM, R. R. (Org.) **Erosão em borda de reservatório**. Goiânia: Gráfica UFG, 2017. 621 p.