



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

**USO DE MÉTODOS SIMPLIFICADORES PARA DETERMINAÇÃO
DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TOTAIS EM RIOS: CASO RIO AMAMBAI - MS**

ÁLEF KEVIN DE OLIVEIRA PONTES

Foz do Iguaçu
Outubro de 2023

**USO DE MÉTODOS SIMPLIFICADORES PARA DETERMINAÇÃO
DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TOTAIS EM RIOS: CASO RIO AMAMBAI - MS**

ÁLEF KEVIN DE OLIVEIRA PONTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo

Coorientador: Me. Anderson Braga Mendes

Foz do Iguaçu
Outubro de 2023

ÁLEF KEVIN DE OLIVEIRA PONTES

**USO DE MÉTODOS SIMPLIFICADORES PARA DETERMINAÇÃO
DA DESCARGA DE SEDIMENTOS TOTAIS EM RIOS: CASO RIO AMAMBAI - MS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

JIAM PIRES FRIGO

Data: 26/10/2023 19:02:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. Jiam Pires Frigo - UNILA

Anderson Braga Mendes

Anderson Braga Mendes (Oct 27, 2023 08:17 ADT)

Me. Anderson Braga Mendes - ITAIPU



Documento assinado digitalmente

NOE VILLEGAS FLORES

Data: 27/10/2023 06:39:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Noe Villegas Flores – UNILA



Documento assinado digitalmente

CESAR WINTER DE MELLO

Data: 26/10/2023 19:23:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. César Winter De Mello - UNILA

Foz do Iguaçu, 26 de outubro de 2023.

Aos meus amados pais, cujo apoio incondicional e amor foram minha força motriz;

Aos meus orientadores, que guiaram meus passos e me desafiaram a ir além dos limites;

Aos amigos leais, cujo apoio, risadas e companheirismo iluminaram os momentos de desafios;

Dedico este marco a vocês, obrigado por fazerem parte da minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Usina Hidroelétrica Binacional de Itaipu por compartilhar recursos e conhecimento, o que foram fundamentais para a realização deste estudo. Também desejo agradecer ao meu coorientador, Anderson Braga Mendes, pela orientação experiente e suas contribuições significativas, que enriqueceram meu conhecimento. Sem o apoio e a colaboração de ambos, este trabalho não teria sido possível.

RESUMO

Este estudo de pesquisa teve como principal objetivo a identificação de um modelo matemático eficiente para antecipar a descarga de sedimentos no Rio Amambai, localizado entre os municípios de Itaquirai e Navirai, no estado do Mato Grosso do Sul, utilizando um banco de dados histórico de descarga de sedimentos. A complexidade do comportamento dos sedimentos em cursos d'água justifica a prática comum de enviar equipes a campo para coleta de amostras e a realização de análises laboratoriais necessárias, resultando em ônus considerável para as empresas. Os modelos matemáticos destacados nesse contexto foram o Método Modificado de Einstein e o Método Simplificado de Colby, ambos reconhecidos no cenário brasileiro. A pesquisa utilizou o banco de dados fornecido pela Hidrelétrica de Itaipu, abrangendo uma extensa série temporal que contemplou diversas condições climáticas, incluindo períodos de chuvas e estiagem. A aplicação dos dados aos métodos foi conduzida por meio de softwares especializados, com o intuito de extrair padrões de comportamento das partículas de solo em diferentes contextos climáticos. Os resultados obtidos para o Rio Amambai indicaram a eficácia tanto do Método Modificado de Einstein quanto do Método Simplificado de Colby na previsão do transporte de sedimentos. No entanto, foi necessário criar um gráfico de coeficientes de correção para ajustar os valores preditos em relação aos valores históricos de descarga, buscando obter previsões mais precisas. A contribuição significativa deste estudo reside na validação dos métodos matemáticos, representando uma alternativa viável para a redução de custos. As simulações por meio desses métodos têm o potencial de substituir medições em campo, resultando em uma economia particularmente relevante, visto que as visitas mensais em campo podem ser reduzidas gradualmente para visitas semestrais, mantendo a qualidade das estimativas de descarga de sedimentos para o curso d'água. No entanto, é crucial reconhecer limites, como a necessidade de cautela na generalização dos resultados para outros cursos d'água e a consideração das peculiaridades locais que podem impactar a aplicabilidade dos modelos em diferentes cenários.

Palavras-chave: Hidrossedimentologia; transporte de sedimentos; gestão de recursos hídricos; hidrologia aplicada.

RESUMEN

Este estudio de investigación tuvo como objetivo principal la identificación de un modelo matemático eficiente para prever la descarga de sedimentos en el Río Amambai, ubicado entre los municipios de Itaquirá y Naviraí, en el estado de Mato Grosso do Sul, utilizando un banco de datos histórico de descarga de sedimentos. La complejidad del comportamiento de los sedimentos en cursos de agua justifica la práctica común de enviar equipos al campo para la recolección de muestras y la realización de análisis de laboratorio necesarios, lo que resulta en una carga considerable para las empresas. Los modelos matemáticos destacados en este contexto fueron el Método Modificado de Einstein y el Método Simplificado de Colby, ambos reconocidos en el escenario brasileño. La investigación utilizó el banco de datos proporcionado por la Hidroeléctrica de Itaipu, abarcando una extensa serie temporal que incluyó diversas condiciones climáticas, como períodos de lluvia y sequía. La aplicación de los datos a los métodos fue realizada mediante software especializado, con el objetivo de extraer patrones de comportamiento de las partículas de suelo en diferentes contextos climáticos. Los resultados obtenidos para el Río Amambai indicaron la eficacia tanto del Método Modificado de Einstein como del Método Simplificado de Colby en la predicción del transporte de sedimentos. Sin embargo, fue necesario crear un gráfico de coeficientes de corrección para ajustar los valores predichos en relación con los valores históricos de descarga, buscando obtener predicciones más precisas. La contribución significativa de este estudio radica en la validación de los métodos matemáticos, representando una alternativa viable para la reducción de costos. Las simulaciones mediante estos métodos tienen el potencial de reemplazar las mediciones en campo, lo que resulta en un ahorro particularmente relevante, dado que las visitas mensuales al campo pueden reducirse gradualmente a visitas semestrales, manteniendo la calidad de las estimaciones de descarga de sedimentos para el curso de agua. Sin embargo, es crucial reconocer limitaciones, como la necesidad de precaución al generalizar los resultados a otros cursos de agua y la consideración de las peculiaridades locales que pueden afectar la aplicabilidad de los modelos en diferentes escenarios.

Palabras llave: Hidrosedimentología; transporte de sedimentos; gestión de recursos hídricos; hidrología aplicada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. OBJETIVO GERAL	10
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. DEFINIÇÃO DE SEDIMENTO	11
2.2. INTEMPÉRIES.....	13
2.3. PROCESSOS EROSIVOS.....	15
2.4. ECÔNOMIA E O SEDIMENTO	18
2.5. O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	20
2.6. MONITORAMENTO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	22
2.7. DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL.....	23
3. DESENVOLVIMENTO	25
3.1. MÉTODO	25
3.1.1. Método Modificado De Einstein (MME)	26
3.1.2. Método Simplificado de Colby (MSC).....	43
3.1.3. Coeficiente de correção.....	48
3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

A Hidrossedimentologia é uma área de estudo que investiga o transporte e o comportamento dos sedimentos em corpos d'água (Walling, 2013; Coco et al., 2019). Com base em referências atualizadas, é possível observar avanços significativos nesse campo nos últimos anos. Um dos principais tópicos de pesquisa em Hidrossedimentologia envolve a compreensão dos processos de erosão e transporte de sedimentos em rios e sistemas costeiros (Coco et al., 2019). Estudos recentes têm se concentrado na influência das mudanças climáticas e do uso da terra na dinâmica dos sedimentos, considerando a variabilidade temporal e espacial.

Outra área de destaque é a aplicação de técnicas avançadas de sensoriamento remoto e modelagem numérica para estudar a distribuição e o movimento dos sedimentos (Walling, 2013). O uso de imagens de satélite, bem como tecnologias e sensores como o LiDAR (Light Detection and Ranging), que trata-se de um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) como Drones, tem permitido uma análise mais precisa das características sedimentares, auxiliando na tomada de decisões relacionadas à gestão costeira e à prevenção de desastres naturais (Lee et al., 2020).

Além disso, a compreensão dos impactos ambientais causados pelo transporte de sedimentos tem sido abordada em estudos recentes (Purkis, 2012). A deposição excessiva de sedimentos em áreas sensíveis, como recifes de coral e ecossistemas costeiros, tem levantado preocupações sobre a saúde desses habitats e a necessidade de medidas mitigadoras.

Os avanços recentes na Hidrossedimentologia têm contribuído para uma melhor compreensão dos processos relacionados aos sedimentos em corpos d'água, fornecendo informações valiosas para a gestão sustentável dos recursos hídricos e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Um dos problemas físicos gerados pelos sedimentos é o assoreamento dos corpos d'água, além disso, um dos fatores mais importantes nos estudos sedimentológicos é a existência de uma estreita relação entre a qualidade da água e os sedimentos fluviais, onde a simples presença dos sedimentos na água afeta as condições de potabilidade através do aumento da sua turbidez (Poletto, 2014). O mau uso do solo, acelera os processos naturais sedimentológicos, causando diversos problemas acarretados pela erosão, transporte de sedimentos nos rios,

depósitos em locais indesejáveis como o assoreamento de rios, lagos e reservatórios. Justificando assim a necessidade de um monitoramento contínuo (Silva, 2007) (Carvalho, 2008).

Diversas equações empíricas foram desenvolvidas e validadas por acadêmicos para estimar o transporte de sólidos em um fluxo de superfície livre, mas devido aos parâmetros usados para criá-los, simplificando hipóteses, metodologias de amostragem e abordagens matemáticas, a precisão desses chamados modelos clássicos podem variar (Sinnakaudan et al., 2010), sendo então necessário sua validação para o curso d'água a ser analisado.

Portanto torna-se necessário o monitoramento do transporte de sedimentos em cursos d'água, em primordial importância quando relacionado a uma barragem, uma vez que o nível de deposição de sedimentos ao pé da barragem está relacionado a vida útil da mesma. A redução dos processos de monitoramento, perante o uso de modelos matemáticos validados para obtenção da Descarga de Sólidos Totais em afluentes do Rio Paraná demonstra-se plausível e relevante a Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Atualmente, é notável a ausência de uma normativa específica no Brasil que aborde de maneira abrangente e específica as análises hidrossedimentológicas. A carência de diretrizes normativas específicas pode representar um desafio para a padronização e qualidade desses estudos, que são essenciais para compreender a dinâmica dos sedimentos em corpos hídricos. A falta de uma regulamentação dedicada a análises hidrossedimentológicas pode implicar em lacunas na uniformização de métodos, coleta de dados e interpretação de resultados, comprometendo a consistência e comparabilidade entre diferentes estudos. Nesse cenário, a possível implementação de normativas específicas poderia contribuir significativamente para aprimorar a qualidade dos estudos hidrossedimentológicos no país, fornecendo diretrizes claras e atualizadas para pesquisadores, profissionais e gestores ambientais.

A Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu atualmente conduz um monitoramento mensal da descarga de sedimentos nos principais afluentes do Rio Paraná, acarretando custos consideráveis. Contudo, existe um potencial promissor para a redução desses custos, caso um modelo matemático, demonstre eficácia ao representar a referida descarga para cada um de seus afluentes.

Reconhecidos pela Agência Nacional de Águas, o Método Modificado de Einstein e o Método Simplificado de Colby representam metodologias matemáticas utilizadas na análise quantitativa da descarga de sedimentos em um rio específico. Essas abordagens fundamentam-se em dados históricos provenientes do monitoramento da morfologia, comportamento e clima do curso d'água analisado. Dado que cada rio apresenta características e particularidades únicas, torna-se imperativo validar esses métodos, assegurando que os dados obtidos estejam em conformidade com a dinâmica real dos rios. A aplicação de modelos matemáticos pode não apenas otimizar os custos associados ao monitoramento, mas também proporcionar uma abordagem mais eficiente e precisa na compreensão da dinâmica da descarga de sedimentos.

1.1. OBJETIVO GERAL

Identificar um modelo matemático eficiente para antecipar a descarga de sedimentos no Rio Amambai, localizado entre os municípios de Itaquirai e Naviraí, no estado do Mato Grosso do Sul, utilizando um banco de dados histórico de descarga de sedimentos da Itaipu Binacional.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar e levantar as variáveis necessárias para a aplicação dos métodos a serem analisados;
- b) Obter dados hidrossedimentológicos do rio Amambai processados pelo Método Modificado de Einstein;
- c) Obter dados hidrossedimentológicos do rio Amambai processados pelo Método Simplificado de Colby;
- d) Comparar os resultados obtidos e determinar o modelo que melhor represente os dados obtidos por coletas em campo e análises laboratoriais;
- e) Propor estratégias que contribuam para a eficiência operacional e aprimoramento contínuo da organização.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. DEFINIÇÃO DE SEDIMENTO

Mike (2011), aborda a definição de sedimentos como partículas sólidas que são transportadas pela água em rios e sistemas fluviais, resultando em acúmulo no leito dos rios e em áreas adjacentes devido a processos geológicos e hidrodinâmicos.

Almeida et al. (2017) apresenta a seguinte ideia do que é sedimentologia: o campo da ciência que estuda os depósitos sedimentares e os processos que os formam e alteram. Os estudos sedimentológicos revelam a distribuição, composição e características dos sedimentos, além dos problemas que a sedimentação causa.

Os processos como erosão, transporte e deposição são estudados na sedimentologia. Borges et al. (2017) destaca que os sedimentologistas realizam estudos de sedimentos com uma variedade de métodos, como observações de campo, análise laboratorial e modelagem. Coletar amostras de sedimentos e posteriormente analisar suas propriedades físicas e químicas é uma tarefa comum para eles. O ambiente deposicional, a fonte dos sedimentos e os processos que influenciaram sua formação pode ser revelada por essas análises.

Portanto compreende-se que a sedimentologia é uma área científica que estuda os processos que formam e alteram depósitos sedimentares. É fundamental para entender como os sedimentos se movem e depõem em diferentes ambientes. Os sedimentologistas analisam sedimentos usando uma variedade de métodos e técnicas e contribuem para pesquisas interdisciplinares em áreas como geologia, geografia, física e biologia.

Os sedimentos suspensos são todas as partículas minerais em suspensão, enquanto os sólidos suspensos são identificados como todas partículas suspensas, sendo elas composta por partículas minerais ou orgânicas. Estas são uma parte natural dos sistemas fluviais que desempenham um papel essencial na estruturação da paisagem, criando habitats ecológicos e transportando nutrientes. [...] Estudos de caso enfatizam que apenas o histórico de descarga de vazão total ou uma curva de classificação com base em apenas uma escala temporal não representa adequadamente todo o regime sedimentar e as respostas geomórficas correspondentes de uma bacia hidrográfica (Dean *et al.*, 2016).

Para uma abordagem mais abrangente do transporte de sedimentos em cursos d'água, é essencial a aplicação de técnicas de modelagem apropriadas e a consideração de diversas variáveis interligadas. O estudo conduzido por Peixoto et al. (2017) se destaca ao desenvolver um modelo morfodinâmico voltado para o transporte de sedimentos coesos. Nesse contexto, a pesquisa enfatiza a complexidade inerente aos aspectos físicos do transporte sedimentar, especialmente os desafios enfrentados em projetos de engenharia relacionados a esse tema. Vale ressaltar que o modelo elaborado nesse estudo demonstrou consistência, com resultados positivos em todas as avaliações de seus mecanismos. Portanto, essa abordagem apresenta-se como um recurso valioso para aprofundar nossa compreensão acerca dos processos de transporte de sedimentos em cursos d'água.

Outro estudo de Szupiany et al. (2005) investiga o transporte de sedimentos no baixo curso do rio Salado, na Argentina. Os pesquisadores usaram medições de campo e diferentes fórmulas para calcular o transporte de sedimentos. Eles esperam determinar qual fórmula proporciona o melhor ajuste comparando os resultados. Este estudo fornece informações sobre o uso prático da medição do transporte de sedimentos e a necessidade de seleção de fórmulas apropriadas para uma representação necessária.

Nota-se que é fundamental analisar a física envolvida no transporte de sedimentos ao longo do curso de um rio, utilizar técnicas de modelagem apropriadas e incorporar medições de campo. Os estudos acima mencionados fornecem informações e métodos úteis para a compreensão e previsão do transporte de sedimentos nos cursos dos rios.

A classificação dos sedimentos no curso de um rio é fundamental para a compreensão de diversos processos relacionados à dinâmica fluvial e seu impacto no meio ambiente. De acordo com (Grison & Kobiyama, 2011), é fundamental vincular o comportamento dos sedimentos às mudanças na forma dos cursos dos rios. Eles descobriram que a descarga líquida e sólida é essencialmente independente do curso d'água e depende da natureza da bacia de escoamento. Isto destaca a importância de compreender as características do movimento dos sedimentos, a fim de avaliar a influência potencial no sistema fluvial.

Compreender a dinâmica dos rios, avaliar os potenciais impactos ambientais e implementar estratégias de gestão eficazes requer conhecimento da classificação

e características dos sedimentos. Auxilia no estudo do comportamento dos sedimentos, transporte e interação com o ambiente circundante. Esse conhecimento é essencial em diversos campos, incluindo geomorfologia, hidrologia, sedimentologia e gestão ambiental.

2.2. INTEMPÉRIES

O intemperismo é um processo natural no qual os materiais expostos à atmosfera e às condições ambientais se degradam e mudam ao longo do tempo. Este processo é influenciado por uma variedade de elementos naturais, como umidade, radiação solar, calor e frio, uso de produtos químicos, abrasão e razões biológicas (Teles & Costa, 2014).

Os agentes de intemperismo são processos físicos, químicos e biológicos que contribuem com a fragmentação e modificação de rochas e minerais. Dependendo de circunstâncias como o clima, a geologia e a presença de criaturas vivas, estes processos podem ocorrer separadamente ou em combinação. Compreender estes agentes é fundamental para compreender os processos da superfície da Terra e como eles afetam as paisagens e os ecossistemas. (Braga et al., 2017).

As flutuações de temperatura, como os ciclos de congelamento e descongelamento, podem causar a expansão e contração dos componentes rochosos, resultando na fragmentação e desintegração das rochas (Demattê & Demetrio, 1995).

O vento é outra força importante na erosão física das rochas. Ventos fortes podem desgastar e quebrar pedras em pedaços menores (Phillips, 2005). Os sedimentos produzidos por este processo podem ser carregados pelo vento e depositados em diversos locais, constituindo eventualmente parte de formações sedimentares.

A radiação solar, em particular os raios ultravioleta (UV), exerce um impacto significativo sobre os materiais expostos à atmosfera. Esse efeito se traduz em processos de deterioração química e alterações nas propriedades desses materiais. Os raios UV possuem energia suficiente para desencadear reações químicas em superfícies expostas, levando à degradação de componentes químicos e à modificação de estruturas moleculares. Essa degradação química pode resultar na perda de cor, na fragilização de materiais e na formação de produtos químicos

secundários. Além disso, a exposição prolongada a esses raios pode causar danos físicos, como rachaduras e fissuras em materiais. Esses efeitos da radiação solar desempenham um papel fundamental nos processos de intemperismo, contribuindo para a transformação gradual de materiais expostos à superfície terrestre ao longo do tempo. (Carvalho et al., 2017).

As atividades biológicas são importantes no intemperismo porque influenciam tanto a degradação física quanto na mudança química das. As raízes de certas plantas exercem tensão mecânica nas rachaduras das rochas, causando desintegração física à medida que as raízes se expandem. Já microrganismos como bactérias e fungos produzem ácidos orgânicos que reagem com os minerais das rochas, estimulando sua degradação e alteração química (Faraco et al., 2008).

A água é um dos processos de intemperismo mais potentes e influentes no transporte de sedimentos. A água é importante neste contexto porque pode promover a dissolução mineral e a ruptura de rochas por processos químicos e físicos (Teles & Costa, 2014). Essa ação da água resulta na solubilização de minerais, que são então transportados para os corpos d'água junto com os sedimentos produzidos, contribuindo consideravelmente para a formação de depósitos sedimentares.

Compreender os agentes de intemperismo e seus efeitos no movimento dos sedimentos é fundamental na disciplina de sedimentologia. A intrincada interação destes agentes é crucial no desenvolvimento e evolução dos depósitos sedimentares, influenciando diretamente a dinâmica dos cursos de água e a forma da paisagem terrestre.

Os rios desempenham um papel crucial na geodinâmica terrestre, atuando como os principais agentes de transporte de materiais intemperizados. Sendo estes os agentes mais importantes no transporte dos sedimentos das áreas elevadas para as mais baixas, dos continentes para o mar (Brito et al., 2009).

Em síntese, o intemperismo é um processo intrinsecamente ligado à evolução da superfície terrestre, resultante da complexa interação entre diversos agentes naturais, como variações de temperatura, ação do vento, radiação solar, atividade biológica e o comportamento da água. Cada um desses agentes desempenha um papel essencial na degradação e alteração dos materiais expostos ao longo do tempo, influenciando diretamente a formação e transporte de sedimentos. A água,

em particular, se destaca como um agente poderoso, capaz de dissolver minerais, decompor rochas e transportar sedimentos para cursos d'água, desempenhando um papel central na sedimentologia. Portanto, a compreensão profunda desses agentes e de suas interações é fundamental para decifrar os processos de superfície da Terra, moldando paisagens, ecossistemas e dinâmicas fluviais, com rios desempenhando um papel-chave no transporte desses materiais das áreas elevadas para as mais baixas e, finalmente, para os oceanos.

2.3. PROCESSOS EROSIVOS

As forças que trabalham na superfície da Terra para modificá-la e moldá-la são conhecidas como processos erosivos. O comportamento desses sedimentos nesse ambiente é governado pelo tempo, espaço e velocidade dessas forças.

Tucci (2015) define como erosão o efeito do escoamento superficial transportar partículas sólidas de seus locais de origem, como da superfície do solo ou das paredes de córregos e rios. Para Carvalho (2008) aborda a erosão como um fenômeno do desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes, como o vento. Um processo pelo qual o solo e os minerais são destacados e transportados pela água, vento, gravidade e atividades do homem, onde a energia cinética, a gravidade e a química (intemperização) são causas primárias da erosão em todas as suas.

As matas ciliares, assim como as coberturas vegetais dos solos, possuem papel de destaque quando se trata de reduzir o transporte de sedimentos em cursos d'água, pois as mesmas possibilitam a retenção de boa parte dos sedimentos transportados pelo escoamento superficial, assim como, diminuem a erosão nas margens de rios. A ação antropológica contribui de forma desfavorável ao ecossistema, uma vez que poderá ocasionar um desequilíbrio difícil de ser controlado, ou até mesmo levar muitos anos para ser revertido, considerando que o processo natural de autodepuração é bastante lento (Castro et al., 2017).

Existem cinco fatores naturais que possuem potencial de erodibilidade dos solos. São eles: o clima com chuva; o solo com suas características físico-químicas; a topografia podendo potencializar a energia cinética de escoamento; a cobertura vegetal responsável por absorver a energia cinética do impacto e do escoamento e a

ação humana responsável pela alteração natural da superfície, produzindo ambientes propícios para este evento. (Carvalho, 2008 apud Bellinazzi, 1981).

O clima, em particular a precipitação, é um fator natural que exerce uma influência significativa na erodibilidade do solo. Quando frequentes aumentam a probabilidade de erosão, uma vez que a energia cinética da chuva pode desagregar partículas do solo e transportá-las pela enxurrada, como destacado por Schick et al. (2014).

A topografia também desempenha um papel crucial na erodibilidade do solo, já que terrenos inclinados podem potencializar a energia cinética da água da chuva, aumentando a velocidade e a capacidade de transporte de partículas do solo, como apontado por Schick et al. (2014). Terrenos inclinados são mais propensos à erosão, uma vez que a água da chuva pode se acumular e formar enxurradas que transportam as partículas do solo.

A presença de cobertura vegetal e o uso da terra desempenham um papel importante na mitigação da erosão. A vegetação ajuda a absorver a energia cinética do impacto da chuva, reduzindo a erosão do solo. Por outro lado, a remoção da vegetação, seja por desmatamento ou práticas agrícolas inadequadas, aumenta a erodibilidade do solo, deixando-o exposto à ação direta da chuva e do escoamento, como explicado por Schick et al. (2014).

Guerra (2011) aponta quatro tipos de erosões: a erosão fluvial causada pela ação de chuvas e cursos d'água, provocando ravinas e voçorocas; a erosão eólica: transporte de partículas finas de solo pelo ar que provocam abrasão e a deflação (choque entre partículas); a erosão glacial por deslizamento de bloco de gelo gerando abrasão e transporte de sedimento e a erosão marinha por ação das ondas que desagregam e transportam solos e rochas.

A erosão glacial é um dos tipos identificados por Guerra (2011) e resulta do movimento de blocos de gelo, como geleiras, que deslizam sobre o solo, causando abrasão e o transporte de sedimentos. À medida que as geleiras se movem, arrastam fragmentos de rocha e sedimentos, que desempenham o papel de agentes de desgaste e erosão do substrato rochoso subjacente. Esse processo de erosão glacial frequentemente leva à formação de características geológicas distintas, como vales em forma de U, morros e lagos glaciais.

A erosão marítima, outro tipo mencionado por Guerra (2011), é resultado da ação das águas do mar, que desagregam e transportam solos e rochas. Nas áreas costeiras e falésias, esse impacto constante das ondas provoca a desagregação e o desgaste das rochas, além de possibilitar a formação de cavernas, arcos e pilares de rocha ao longo da linha costeira. A erosão marítima é um processo contínuo que desempenha um papel significativo na modelagem das praias, dunas e falésias.

A erosão eólica, o terceiro tipo mencionado por Guerra (2011), ocorre devido ao transporte de partículas finas do solo pelo vento, causando abrasão e deflação. Esse processo desgasta e erode as superfícies expostas do solo, removendo as partes soltas e transportando-as para outras áreas. É mais comum em regiões semiáridas, onde a vegetação é escassa e o solo está sujeito à ação direta do vento, resultando na formação de dunas e depósitos de areia.

Finalmente, a erosão fluvial, o último tipo mencionado por Guerra (2011), é causada principalmente pela ação das chuvas e dos cursos d'água, que provocam a formação de ravinas e voçorocas. A água da chuva pode arrastar partículas do solo à medida que se transformam em enxurradas, erodindo as margens dos rios e formando sulcos e ravinas. Além disso, o fluxo contínuo dos rios também desempenha um papel importante na criação de vales fluviais. A erosão fluvial é um processo natural significativo que contribui para a formação e evolução das paisagens fluviais ao longo do tempo.

Esses processos, governados pelo tempo, espaço e velocidade das forças envolvidas, desempenham um papel fundamental na evolução do nosso ambiente geológico. Carvalho (2008) e Tucci (2015) oferecem perspectivas valiosas sobre a erosão, destacando sua relação com o transporte de partículas sólidas por escoamento superficial, desgaste de rochas e solos, e a influência de agentes naturais como a água, o vento e a gravidade. Além disso, enfatizamos o impacto da ação humana na erodibilidade do solo, que muitas vezes agrava os processos naturais. As matas ciliares e a cobertura vegetal desempenham papéis cruciais na redução do transporte de sedimentos em cursos d'água e na mitigação da erosão. Por outro lado, a alteração humana da paisagem pode desencadear desequilíbrios que podem levar décadas para serem corrigidos. Ao compreender os fatores naturais que influenciam a erodibilidade do solo, como o clima, a topografia e a cobertura vegetal, podemos tomar medidas para melhor gerenciar o solo e prevenir

a erosão. Guerra (2011), com suas categorias de erosão, complementa nossa compreensão dos processos erosivos e suas implicações geológicas.

Portanto, os processos erosivos desempenham um papel crucial na mobilização e transporte de sedimentos, despertando crescente interesse devido ao impacto econômico significativo que exerce em diversas atividades dependentes do uso das águas pluviais, resultando no aumento da concentração de sólidos suspensos e no fenômeno de assoreamento. Em síntese, a erodibilidade do solo é influenciada por uma diversidade de fatores naturais, que abrangem as características físico-químicas do solo, o clima, a topografia, a cobertura vegetal e as atividades humanas. A compreensão e o manejo eficaz desses elementos revelam-se essenciais para a gestão adequada do solo e a prevenção da erosão.

2.4. ECÔNOMIA E O SEDIMENTO

O prejuízo do alto índice de sólidos em suspensão em cursos d'água não afetam apenas os sistemas de tratamento de água para consumo, mas equivalentemente ou até pior às indústrias que necessitam de uma água com níveis de sólidos totais inferiores ao permitido para consumo humano. “Algumas indústrias não podem tolerar mesmo uma pequena quantidade de sedimento na água que é usada em certos processos industriais.” (Vanoni, 1977, apud Carvalho, 2008).

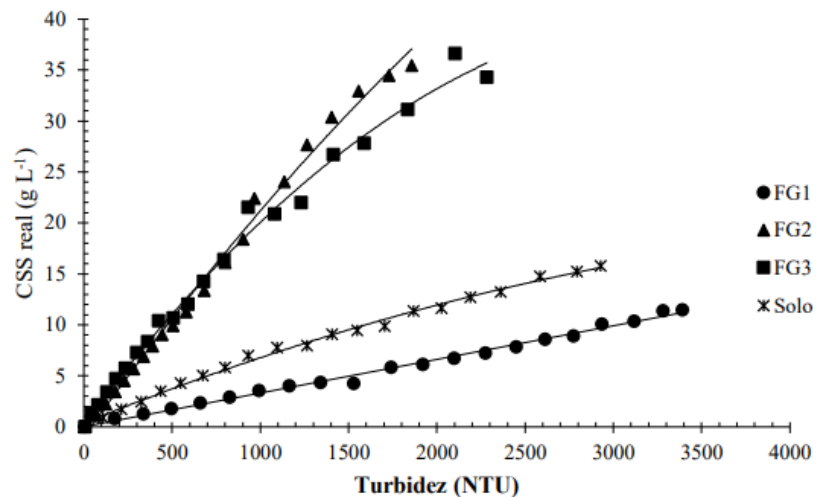
Uma análise apresentada por Augusto et al. (2021) demonstrou a significativa influência da turbidez da água nos custos de tratamento da mesma para consumo humano no Brasil. Identificaram que um aumento de 1% na turbidez aumenta em média os custos 0,12%. Portanto, os resultados indicam que as empresas de tratamento de água têm incentivos para melhorar a qualidade dos recursos hídricos no longo prazo.

Em um estudo feito por Chagas, fora possível compreender um pouco a relação entre a concentração de sólidos em suspensão e a turbidez: Na figura 1 apresentada abaixo obtida pelo mesmo, observa-se que as amostras que obtiveram maior índice de turbidez foram as que possuíam a presença de partículas mais finas da composição do solo: silte e argila. (Chagas, 2015)

Os sólidos dissolvidos apesar de possuírem a capacidade de prover uma coloração mais turva a água, não interferem na quantidade de sólidos suspensos ou

na medição da turbidez. Os sólidos suspensos em água estão diretamente relacionados a turbidez, enquanto os sólidos totais dissolvidos se relacionam a coloração.

Figura 1 - Relação entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos (CSS real) para diferentes frações granulométricas: FG1 = silte + argila; FG2 = areia fina + areia muito fina; FG3 = areia grossa + areia muito grossa; solo



Fonte: Chagas, 2015.

Os sais inorgânicos e outras substâncias dissolvidas constituem cerca de 95% do total de sólidos dissolvidos na água. A formação geológica da bacia em que se encontra a massa de água tem um impacto significativo na concentração natural de sais. Em regiões secas ou semiáridas, onde a evaporação é tipicamente maior que a precipitação, altas concentrações de sais são esperadas (Braga *et al.*, 2021).

As características dos sedimentos transportados por um rio dependem, principalmente, de fatores como a velocidade média do escoamento (produto da declividade média), tipo de material fonte, clima e cobertura vegetal da bacia de drenagem, especialmente da mata ciliar imediatamente adjacente aos cursos de água (Brito *et al.*, 2009).

Por outro lado, os sedimentos também apresentam certos benefícios, como descrito por Carvalho (2008), que argumenta que estes atuam como redutor de outros poluentes; permite o transporte e o depósito de micro-organismos durante alagamentos, nutrientes e matéria orgânica benéficos a flora; além de que sedimentos de diferentes faixas granulométricas são usados na construção civil.

A maior parte dos sedimentos carregados pelos rios não alcança o mar, pois eles geralmente se agregam na região estuarina. Esse acúmulo de sedimentos na

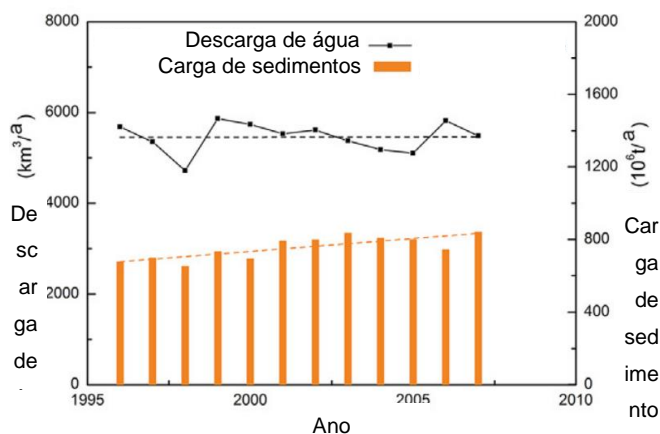
área estuarina tem importantes consequências, incluindo a redução das cargas sedimentares entregues à zona costeira. No entanto, essa diminuição das cargas sedimentares resulta em erosão costeira acelerada e na redução do habitat costeiro (Chakrapani, 2005).

Além disso, muitos rios grandes e médios em terras planas têm a capacidade de armazenar sedimentos ao longo de suas margens ou inundar frequentemente os campos agrícolas adjacentes. Esse comportamento dos rios tem um impacto significativo na paisagem e na utilização da terra nessas regiões (Chakrapani, 2005).

2.5. O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

“A relação entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão, apresenta padrões temporais complexos [...]” (Minella, 2011). Desta forma, para uma boa análise de transporte de sedimentos é imprescindível compreender o comportamento das partículas em períodos de cheias e estiagem.

Figura 2 - Histórograma da descarga de água e sedimentos do Rio Amazonas



Fonte: Li et al., 2020.

Li et al. (2020) realizaram análises observando os fluxos históricos de água e sedimentos dos 4307 maiores rios do mundo com área de bacia superior a 1000km^2 . Neste estudo, notaram uma variação de 24% no fluxo de água e 40% no fluxo de sedimentos em média. Um dos rios analisados fora o Rio Amazonas, como apresentado na Figura 2, que mesmo com pouca variação da vazão média anual,

aumentou 25% sua produção de sedimentos em 12 anos, possivelmente devido aos desmatamentos e mineradoras, conforme análises dos autores.

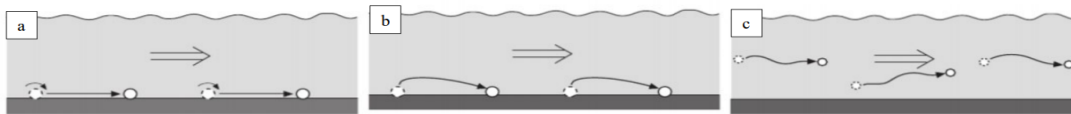
De acordo com as circunstâncias locais e fluxo, os sedimentos que chegam ao curso de água possui diversas granulometrias e seguem diferentes processos de transporte. As forças que atuam sobre a partícula podem impedir sua sedimentação, rolamento ou deslize pelo leito, assim como pode mantê-la suspensa no fluxo do rio. Características físicas como tamanho, massa e forma influenciam no comportamento da partícula, assim como a natureza laminar ou turbulenta do fluxo, a velocidade da corrente, a presença de barreiras no leito e vários outros fatores relacionados, como inclinação do leito, formato do canal, temperatura da água e outros (Varoni,1977, apud Carvalho, 2008).

As três categorias de comportamento das partículas de sedimentos em um curso d'água, apresentadas por Meuyers-Peter et al. (1948) durante o segundo encontro da Associação Internacional para Pesquisadores de Estruturas Hidráulicas (IAHSR) em 1948, continuam sendo fundamentais na pesquisa sedimentológica:

- Carga Sólida de Arrasto: Essas são as partículas representadas como “a” na figura 3. Elas raramente são suspensas pelo fluxo de água e, na maior parte do tempo, escorregam ou rolam no leito do rio.
- Carga Sólida Saltante: Partículas “b” são mantidas em suspensão por um curto período de tempo e se movimentam devido à perturbação no leito causada por outros corpos ou devido a pressões negativas no fluxo de água.
- Carga Sólida em Suspensão: Partículas “c” têm um comportamento caótico, são pequenas e permanecem em suspensão na maior parte do tempo.

Esses conceitos têm sido essenciais para compreender o transporte de sedimentos em rios e sistemas fluviais, e ainda são amplamente utilizados por pesquisadores na área.

Figura 3 - Representação das formas de transporte de sedimentos. a) Carga Sólida de Arrasto, b) Carga Sólida Saltante, c) Carga Sólida em Suspensão



Fonte: Lopes, 2012.

Guerra (2011) classifica o transporte de sedimentos em rios de três formas: saltação, suspensão e solução (sedimentos dissolvidos). Esta última apresenta baixo potencial de impacto sedimentológico, uma vez que dificilmente se sedimentarão ou causarão desgaste consideráveis se comparada aos outros dois.

2.6. MONITORAMENTO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

De acordo com Dethier et al. (2022), análises baseadas em dados de satélite relacionadas à concentração e ao fluxo de sedimentos suspensos em 414 rios principais revelam uma mudança global amplamente difundida, claramente atribuível à atividade humana ocorrida ao longo do último meio século. Essa transformação global foi diretamente influenciada pela retenção de sedimentos devido à construção de barragens no hemisfério norte, resultando em uma redução de 49% no fluxo de sedimentos em comparação com as condições prévias à implementação das barragens.

Dethier et al. (2022) ainda observou um aumento significativo na erosão devido à intensificação na utilização da terra no hemisfério sul, o que se traduziu em uma concentração média de sedimentos suspensos nos rios, durante a última década, cerca de $41 \pm 7\%$ superior à registrada na década de 1980. Essas descobertas ressaltam o impacto substancial das atividades humanas nos sistemas fluviais globais, evidenciando mudanças significativas no transporte de sedimentos e na dinâmica dos rios ao redor do mundo.

Durante eventos de cheias ocorrem o maior transporte de sedimentos. Para facilitar, muitas vezes é usado amostradores automáticos, mas se houver altas concentrações de resíduos sólidos e/ou matéria orgânica, o equipamento pode ser danificado ou obstruído. “Por isso, a avaliação temporal da concentração de

sedimentos deve ser realizada por meio de um programa de monitoramento capaz de coletar amostras durante os eventos de cheia” (Poletto, 2008).

Um histórico de longo prazo para a vazão de sólidos totais fornece um bom primeiro panorama do regime sedimentar de um rio quanto aos ciclos climáticos interanuais. Este pode evidenciar mudanças constantes ou abruptas na descarga sedimentológica, mas não fornece uma precisão das concentrações de sólidos em suspensão para escalas de tempo menor, o que não auxilia na Identificação da natureza episódica que ocasionou o transporte Sólidos Suspensos (Vercruysse et al., 2017).

2.7. DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA TOTAL

A descarga total de sólidos fornece informações valiosas sobre a dinâmica do transporte de sedimentos em rios e córregos. Ajuda a avaliar os processos de erosão e sedimentação que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica (Robson et al., 2006). Medindo a quantidade de sedimentos transportados, os pesquisadores podem obter insights sobre as fontes de sedimentos, as taxas de sedimentação e a saúde geral do curso de água.

O estudo da descarga total de sólidos é essencial para avaliar o impacto das atividades humanas nas massas de água. As mudanças no uso da terra, como desmatamento ou urbanização, podem aumentar significativamente o escoamento de sedimentos nos rios, levando à sedimentação e degradação dos ecossistemas aquáticos (Dufresne et al., 2020). Ao monitorar a descarga total de sólidos, os pesquisadores podem avaliar a eficácia das medidas de controle de erosão e práticas de gerenciamento da terra na redução da sedimentação e na preservação da qualidade da água.

Além disso, a descarga total de sólidos é crucial para entender o destino e o transporte de poluentes nas massas de água. Os sedimentos podem atuar como portadores de vários contaminantes, incluindo metais pesados, nutrientes e poluentes orgânicos (Zhao et al., 2018). Ao estudar a descarga total de sólidos, os pesquisadores podem avaliar o potencial de acúmulo e transporte de poluentes, ajudando a identificar áreas de preocupação e a desenvolver estratégias de gerenciamento apropriadas.

A investigação da descarga total de sólidos em estudos hidrossedimentares fornece informações essenciais sobre a dinâmica do transporte de sedimentos, os impactos das atividades humanas nas massas de água e o destino e transporte de poluentes. Ao quantificar e analisar a descarga total de sólidos, os pesquisadores desempenham um papel fundamental na contribuição para o gerenciamento sustentável e a preservação dos recursos hídricos.

Diante dos desafios inerentes à medição direta da descarga em canais de largura considerável e em situações de difícil acesso, torna-se uma alternativa interessante recorrer a métodos de medição indireta, que permitem estimar a vazão com maior precisão, desde que haja uma boa base de dados históricos abrangendo períodos de cheias e estiagem. A avaliação da descarga sólida total pode ser realizada por meio dos principais procedimentos apresentados na Quadro 1, conforme elaborado por Carvalho (2008), com base em diversas fontes literárias.

Quadro 1 - Diagrama esquemático de quantificação de carga sólida.

PROCESSOS DE QUANTIFICAÇÃO DE DESCARGA SÓLIDA	CARGA SÓLIDA TOTAL
Baseado na granulometria	+ Carga de fino + Carga em suspensão de material do leito + Carga do leito
Baseado na eficiência de escoamento do leito e na granulometria	+ Carga de finos + Carga de material do leito
Baseado no modo de transporte	+ Carga em suspensão + Carga saltitante + Carga do leito
Baseado no método de quantificação	+ Carga medida + Carga não medida
Baseado na amostragem de sedimento	+ Carga amostrada em suspensão + Carga do leito

Fonte: Carvalho, 2008.

Várias técnicas são utilizadas para estudos das descargas fluviais, dentre elas, os levantamentos batimétricos representam um avanço na gestão de recursos hídricos. Este processo consiste no mapeamento 3D do leito através de um ecobatímetro, equipamento que consiste em um sonar móvel, com auxílio de sensores digitais, satélites e georreferenciamento. Estas modelagens são essenciais para a gestão dos recursos hídricos, pois fornecem informações como grau de assoreamento, volumes de armazenamento, curvas de capacidade além de modelar o relevo submerso para os órgãos responsáveis (Ferreira et al., 2012). Além da

importância e contribuição sobre o levantamento 3D do fundo dos rios, algumas outras técnicas complementares auxiliam nos estudos sobre sedimentos dos rios, dentre elas, o Método de Einstein Modificado e o Método Simplificado de Colby, ambos para determinar descargas sedimentares.

3. DESENVOLVIMENTO

Atualmente, a avaliação do transporte de sólidos totais do Rio Amanbai realizado pela Itaipu é conduzida mediante uma abordagem que envolve a medição direta. Esta abordagem inclui coletas quinzenais realizadas por um residente local, visando monitorar a flutuação do transporte de sedimentos suspensos ao longo do tempo. Essas coletas são efetuadas de forma sistemática em um ponto de referência pré-determinado, à mesma profundidade em todas as ocasiões.

Além disso, são conduzidas coletas mensais por uma equipe terceirizada, cuja finalidade é obter uma compreensão mais abrangente do comportamento do rio e das características das partículas sólidas transportadas. Essas coletas envolvem a medição do perfil transversal do rio, a determinação da velocidade do fluxo de água, o registro da temperatura da água no momento da coleta, a avaliação da concentração de sedimentos, a análise da granulometria e levantamento batimétrico. Para a obtenção precisa desses dados, é necessário o emprego de uma equipe altamente especializada e a utilização de equipamentos específicos, o que implica custos consideráveis em todo o processo de coleta e análise das amostras.

3.1. MÉTODO

Este estudo utiliza dados históricos hidrossedimentológicos, abrangendo o período de 03/10/2019 até o presente, na região onde o Rio Amambai se encontra com o Rio Paraná, entre os municípios de Itaquiraí e Naviraí, no Mato Grosso do Sul. A geologia predominante na bacia hidrográfica do Rio Amambai é composta principalmente por arenitos e depósitos aluvionares, enquanto o uso da terra se divide em 54% de campos e pastagens, 32% de cobertura vegetal remanescente e 8% de áreas agrícolas, conforme dados de Vasconcelos (2009). Possuindo uma abordagem aplicada, empregando um método fenomenológico com uma abordagem qualitativa, com o propósito de determinar qual dos métodos matemáticos apresentados para calcular a descarga de sedimentos melhor representa o

transporte real de sedimentos no Rio Amambai, conforme discutido por Prodanov e Freitas (2013).

Realizou-se uma análise histórica abrangendo o maior período disponível das variáveis essenciais para a aplicação de modelos matemáticos. Posteriormente, os dados foram submetidos a uma seleção. Uma vez obtidos os dados necessários, eles foram processados utilizando dois softwares específicos: "Formulas_Qsolida_corrigida.xls," desenvolvido para implementar o Método Simplificado de Colby, e "Einstein.xls," destinado à aplicação do Método Modificado de Einstein. Ambos os programas foram desenvolvidos por Anderson Braga Mendes e estão anexados ao livro "Hidrossedimentologia Prática," de Carvalho (2008). A metodologia de ambos métodos são apresentados a seguir.

3.1.1. Método Modificado De Einstein (MME)

O Método de Einstein Modificado, introduzido por Colby e Hembree em 1955, é uma técnica utilizada para calcular a descarga total de sedimentos em rios. Este método difere do método original de Einstein por incorporar medições de velocidade de fluxo e concentração de material suspenso, em vez de depender da velocidade teórica. O procedimento envolve a subdivisão do material do leito e do material suspenso em faixas de tamanho de partícula. Esta abordagem permite uma estimativa mais precisa da descarga de sedimentos considerando a granulometria tanto do material suspenso quanto do leito (Rompaey et al., 2001).

É importante notar que o Método de Einstein Modificado requer uma faixa granulométrica comum entre descargas de fundo e de suspensão. Em outras palavras, deve haver alguma sobreposição no tamanho das partículas entre os materiais em suspensão e o leito. Este requisito garante que o método seja aplicável e preciso (Rompaey et al., 2001).

O trabalho original de Colby e Hembree em 1955 foi posteriormente convertido para o sistema métrico. Adicionalmente, Carvalho ajustou os gráficos dependentes de unidades ao sistema métrico. Essas conversões permitem uma aplicação mais fácil do Método Einstein Modificado no sistema métrico (Carvalho, 2008).

Embora o Método de Einstein Modificado possa ser realizado manualmente, também existem modelos computacionais disponíveis para esse fim. Por exemplo, Mendes desenvolveu um modelo matemático denominado “EINSTEIN.xls” e Paiva et al. desenvolveu o software WinTSR. Esses modelos fornecem uma abordagem mais eficiente e automatizada para estimar a descarga de sedimentos usando o Método de Einstein Modificado (Carvalho, 2008).

A seguir, são apresentadas as equações e o procedimento manual a ser seguido para este método desenvolvido por Colby e Hembree para estimar a descarga sólida total de um rio, que posteriormente foi convertido ao sistema métrico por Carvalho (2008)

As medições e coletas de campo das amostras de sedimento em suspensão fornece as seguintes informações:

- a) Concentração média do sedimento em suspensão (C_{SS}), ppm ou mg.l-1;
- b) Distribuição granulométrica das amostras de sedimento em suspensão (segundo a classificação da American Geophysical Union - AGU);
- c) Descarga medida de sedimento em suspensão transportado (Q_{sm}), em t/dia,

calculado a partir da equação (1):

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{SS} \quad (1)$$

Onde:

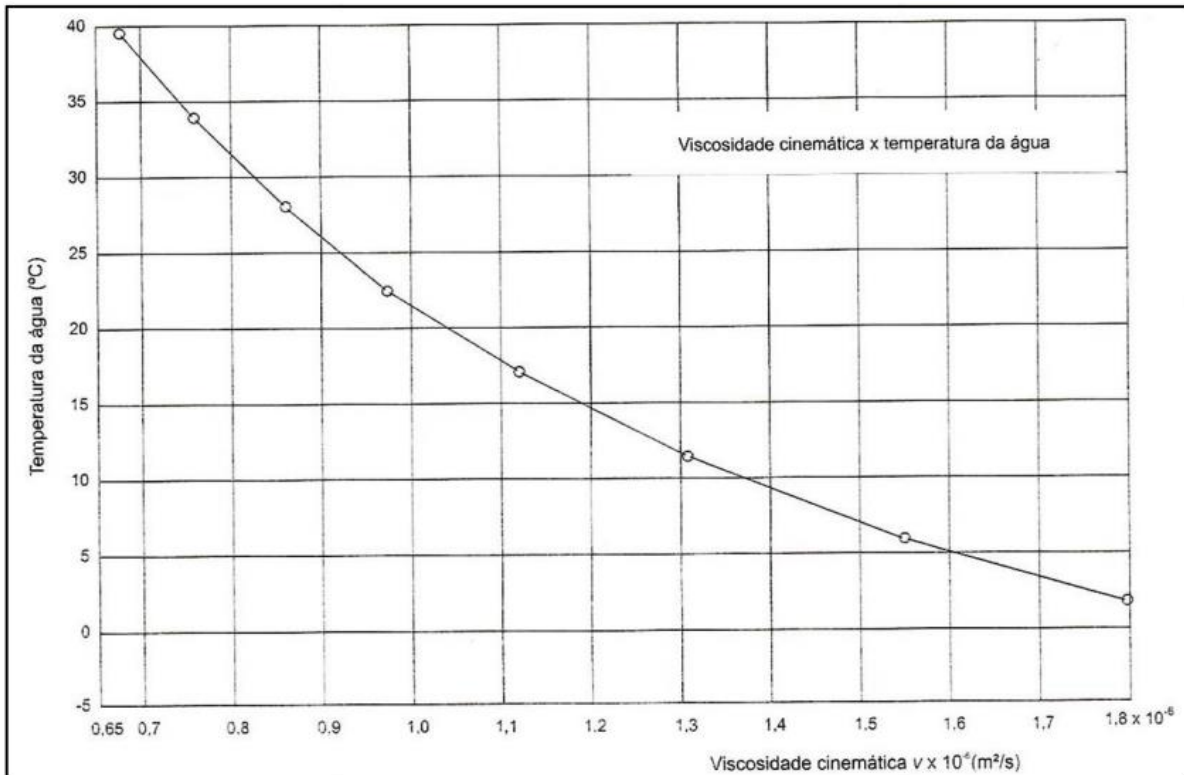
Q_{sm} : descarga sólida total [t/dia];

Q : descarga líquida ou vazão [m^3/s];

C_{SS} : concentração média do sedimento em suspensão [ppm] ou [mg/l].

A partir da temperatura medida da água no momento da amostragem, se obtém a viscosidade cinemática (ν), pelo gráfico apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Viscosidade cinemática em função da temperatura da água



Fonte: Carvalho, 2008.

Ao obter esses dados, dá-se início ao processo de cálculo descrito a seguir:

- a) Calcular o fator R.S (Raio Hidráulico x Declividade do Gradiente Energético) envolve a utilização da equação (2), onde o valor de x é determinado por meio de tentativas, sendo ajustado de acordo com as variações observadas na Figura (5);

$$\sqrt{R.S} = \frac{U}{18,01 \cdot \log_{10} \left[\frac{12,27 \cdot (x) \cdot (p)}{K_s} \right]} = \frac{U}{7,822 \cdot \ln \left[\frac{12,27 \cdot (x) \cdot (p)}{K_s} \right]} \quad (2)$$

Onde:

$R.S$ = raio hidráulico multiplicado por declividade de gradiente energético;

U = velocidade média, em $m \cdot s^{-1}$;

x = valor a ser arbitrado;

p = profundidade média, em m ;

K_s ou D_{65} = diâmetro da partícula, para o qual 65% do material do leito são mais finos;

O valor de x é selecionado com base em resultados de experimentos anteriores e pode ser confirmado através das equações subsequentes (3), (4) e (5):

$$u'_x = \sqrt{R.S.} \cdot \sqrt{g} \quad (3)$$

Onde:

u'_x = velocidade de cisalhamento;

$R.S$ = raio hidráulico multiplicado por declividade de gradiente energético;

g = aceleração da gravidade, igual a $9,815 \text{ m.s}^{-2}$;

$$\delta = 11,6 \cdot \frac{\nu}{u'_x} \quad (4)$$

Onde:

δ = espessura da camada laminar;

ν = viscosidade cinemática;

u'_x = velocidade de cisalhamento;

$$x = f \cdot \left(\frac{K_s}{\delta} \right) \quad (5)$$

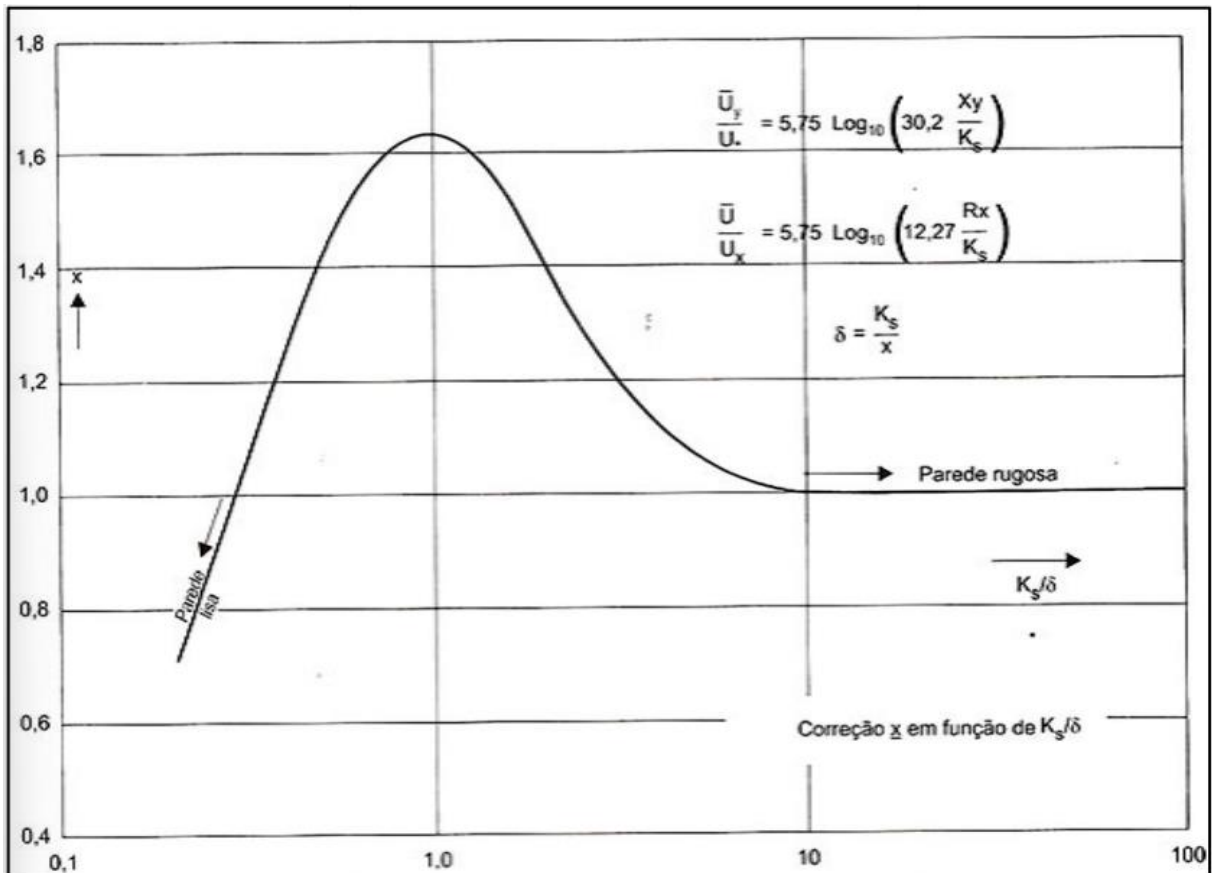
Onde:

x = valor a ser arbitrado;

K_s ou D_{65} = diâmetro da partícula, para o qual 65% do material do leito são mais finos;

δ = espessura da camada laminar;

O processo de determinação do valor de RS começa com a escolha inicial de um valor de x na equação (2), que seja compatível com o que é observado na Figura correspondente (5).

Figura 5 - Valores de x em função de K_s (ou D_{65})

Fonte: USBR, 1955 apud Carvalho, 2008.

b) Calcula-se a variável P pela equação (6), que é utilizado para obtenção da descarga em suspensão na zona não amostrada, junto ao valor de A' obtido pela equação (7):

$$P = 2,303 \cdot \log \left[\frac{30,2 \cdot (x) \cdot (p)}{K_s} \right] = \text{Ln} \left[\frac{30,2 \cdot (x) \cdot (p)}{K_s} \right] \quad (6)$$

Onde:

x = valor a ser arbitrado;

p = profundidade média, em m ;

K_s ou D_{65} = diâmetro da partícula, para o qual 65% do material do leito são mais finos;

$$A' = \frac{P_n}{P_s} \quad (7)$$

Onde:

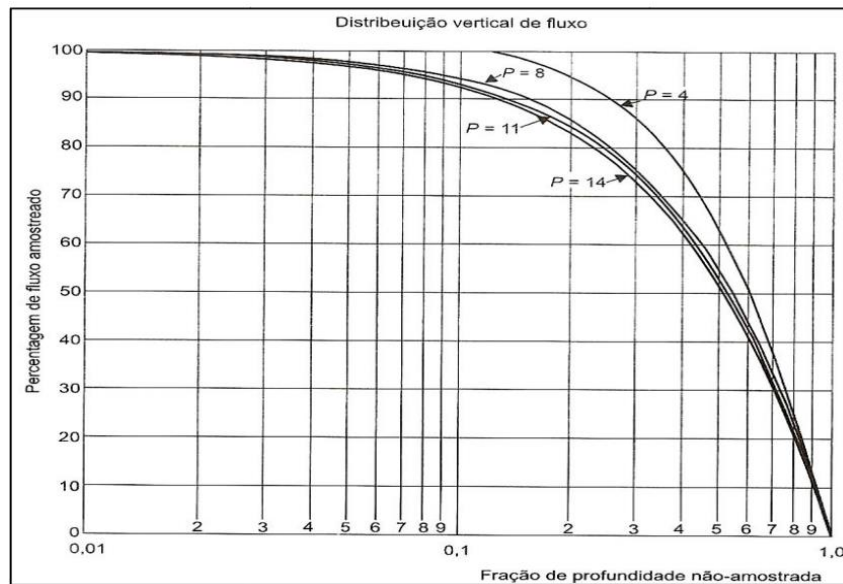
A' = fração de profundidade não amostrada;

P_n = distância vertical não amostrada, em m ;

P_s = profundidade média da seção nas verticais amostradas;

Ao calcular o valor de P , é possível determinar, na Figura (6), a fração da profundidade não amostrada Q_{nm} , a qual, quando multiplicada pela descarga sólida medida Q_{sm} , resulta na descarga de sedimentos em suspensão através da zona amostrada Q_s .

Figura 6 - Gráficos de determinação da porcentagem de fluxo amostrado A



Fonte: USBR, 1955 apud Carvalho, 2008.

c) Cálculo de ψ pelas equações (8) e (9):

$$\psi = \frac{1,65 \cdot D_{35}}{(R \cdot S)} \quad (8)$$

Onde:

D_{35} = diâmetro da partícula, para o qual 35% do material do leito são mais finos;

$R \cdot S$ = raio hidráulico multiplicado por declividade de gradiente energético.

$$\psi = \frac{0,66 \cdot D_{35}}{(R \cdot S)} \quad (9)$$

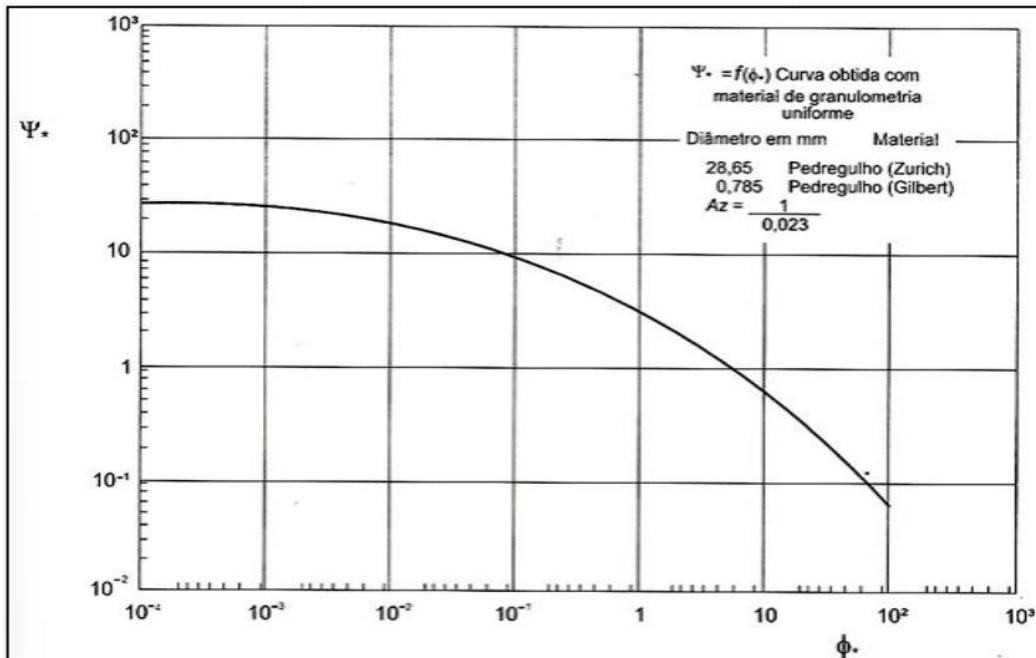
Onde:

D_{35} = diâmetro da partícula, para o qual 35% do material do leito são mais finos;

$R.S$ = raio hidráulico multiplicado por declividade de gradiente energético.

O número 1,65 na equação (8) representa a diferença entre o peso específico das partículas de sedimento e o peso específico da água. É escolhido o valor máximo de ψ obtido por meio das equações anteriores. Na Figura (7), é possível obter a intensidade de transporte de fundo Φ_x para cada valor de ψ .

Figura 7 - Gráfico de obtenção de Φ_x em função de ψ



Fonte: USBR, 1955 apud Carvalho, 2008.

O valor da descarga de fundo é igual à soma dos valores $i_f.Q_f$ de cada uma das classes granulométricas, os quais são calculados pelas equações (10) e (11).

$$i_f.q_f = 5,33.D^{\frac{3}{2}}.i_f.\Phi_x \quad (10)$$

Onde:

D = Média geométrica do diâmetro das partículas de cada faixa granulométrica;

i_f = Fração do material de fundo em cada classe;
 Φ_x = Intensidade de transporte de fundo.

$$i_f \cdot Q_f = i_f \cdot q_f \cdot 86400 \cdot L \quad (11)$$

Onde:

L = Largura da seção [m].

d) Para calcular a descarga sólida total, é realizado o processo de separação das frações i_s do material suspenso, correspondentes à carga sólida medida Q'_s , conforme a análise granulométrica.

Em seguida, determina-se o valor de Z' , que representa o expoente da distribuição vertical de sedimentos. Teoricamente, o expoente Z pode ser calculado com base na velocidade de queda das partículas, $Z = W_s/0,4 \cdot u'_x$. No entanto, o fator Z' é introduzido como uma correção desse valor, pois na natureza, o comportamento da distribuição vertical é influenciado por diversos fatores, como a forma irregular das partículas de sedimento e a turbulência da corrente, entre outros. O cálculo de Z' envolve a utilização do valor de A'' , que é obtido a partir da equação (12).

$$A'' = 2 \cdot \frac{D}{p} \quad (12)$$

Onde:

D = diâmetro médio geométrico [m];

p = profundidade média da seção transversal do canal [m].

O cálculo de Z' é realizado por meio de interações sucessivas para o diâmetro de referência escolhido, utilizando a equação (13) e (14).

$$P = 2,3 \cdot \log \left(\frac{30,2 \cdot x \cdot d}{D_{65}} \right) \quad (13)$$

Onde:

x = Valor a ser arbitrado;

d = Profundidade do escoamento [m].

$$\frac{Q'_s}{i_f \cdot Q_f} = \frac{I''_1}{j''_1} \cdot (P \cdot j'_1 + j'_2) \quad (14)$$

$$E_1 = \frac{2 \cdot D_1}{d} \quad (15)$$

$$I''_1 = 0,216 \cdot \frac{E_1^{Z'-1}}{(1 - E_1)^{Z'}} \cdot j''_1 \quad (16)$$

$$j'_1 = \int_{E'}^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{Z'} \cdot d_y \quad (17)$$

$$j'_2 = \int_{E'}^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^{Z'} \cdot \ln y \cdot d_y \quad (20)$$

Os valores de I''_1 podem ser extraídos da Figura (9), enquanto os valores de I''_2 em relação a E estão disponíveis na Figura (11). Quanto aos valores de j''_1 e j'_1 , eles podem ser determinados com base nas Figura (11) e Figura (12), e os valores de J''_2 e j'_2 podem ser obtidos a partir da Figura (13) e Figura (14). O procedimento original de Colby e Hembree (1955) para o cálculo de Z' é detalhadamente descrito por Carvalho (2008) como segue:

O cálculo do valor de Z' é realizado para o diâmetro do grão dominante na carga em suspensão por meio de iterações, com o objetivo de atender à equação (21). Inicialmente, parte-se do valor inicial proposto por Hubbel (1964), conforme obtido na Figura (8). Em seguida, calculam-se os valores de Z' para as demais frações utilizando a seguinte equação:

$$\frac{Z'_i}{Z'_1} = \left(\frac{W_i}{W_1} \right)^{0,7} \quad (21)$$

Onde:

Z'_1 = Valor de Z' Para o grão dominante;

W_1 = Velocidade de sedimentação do grão dominante;

W_i = Velocidade de sedimentação da partícula de diâmetro D_i , fornecido pela equação (22):

$$W = \frac{\left[\frac{2}{3} \cdot g \cdot \left(\frac{Y_s}{Y} - 1 \right) \cdot D_i^3 + 36 \cdot v^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 6 \cdot v}{D_i} \quad (22)$$

Em seguida, são determinados os valores de J'_1 , J''_1 , J'_2 e J''_2 , de acordo com as equações apresentadas ou por meio da consulta às Figuras (11), (12), (13) e (14), como mencionado anteriormente.

- a) Para calcular I''_1 , pode-se utilizar a equação (16) ou a Figura (9), enquanto para I''_2 , pode-se obter os valores na Figura (10) ou através da equação (23):

$$I''_2 = 0,216 \cdot \frac{E_1^{Z-1}}{(1-E_1)^Z} \int_{E_1}^1 \left(\frac{1-y}{y} \right)^Z \cdot \ln y \cdot dy \quad (23)$$

b) Calcula-se, para cada fração de diâmetro, a carga total de sedimentos:

- Para os sedimentos finos (wash load), para $Z' < 0,8$:

$$i_T \cdot Q_T = Q'_s \cdot \frac{P \cdot J''_1 + J''_2}{P \cdot J'_1 + J'_2} \quad (24)$$

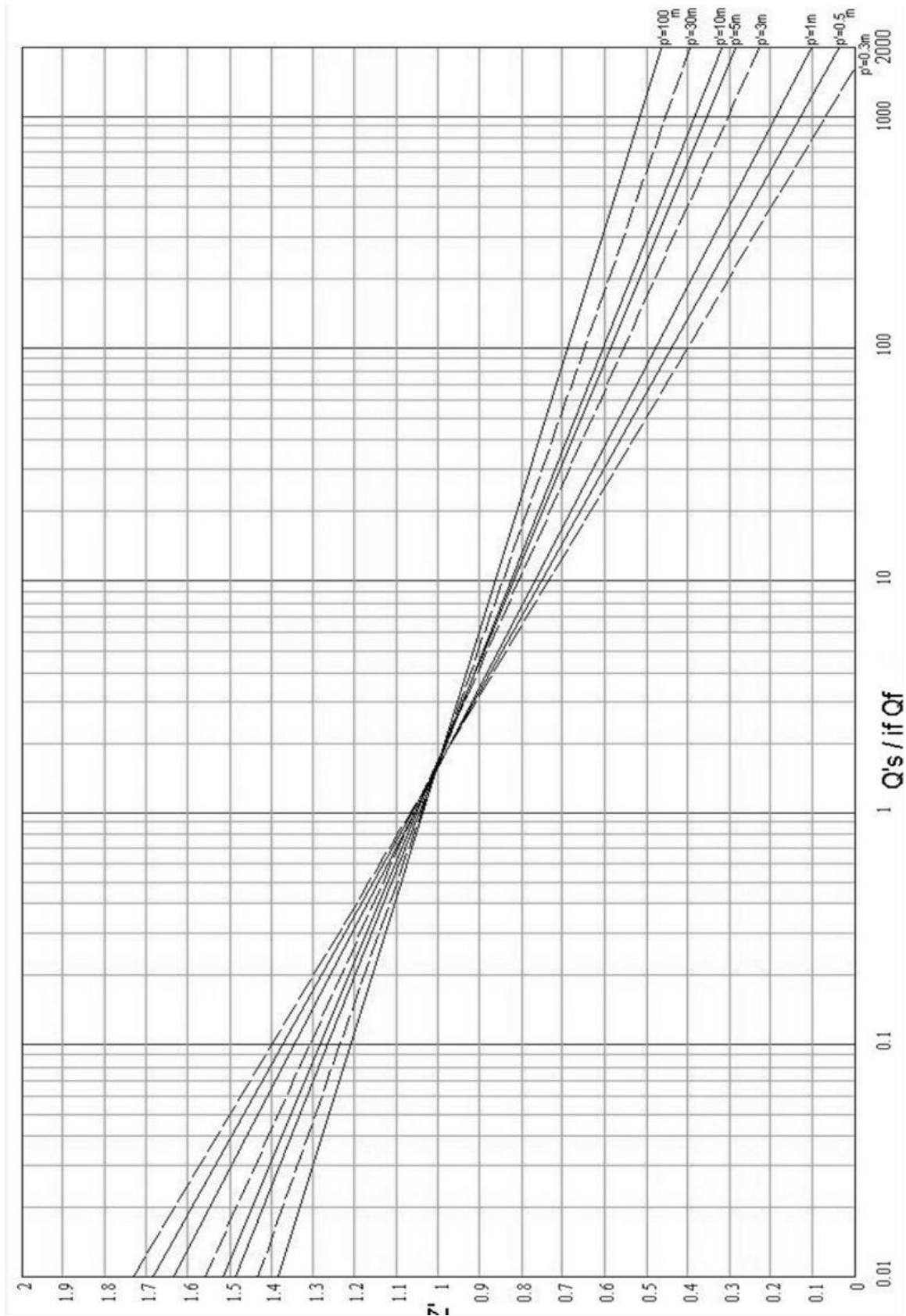
- Para os sedimentos grossos (bed load), para $Z' \geq 0,8$:

$$i_T \cdot Q_T = i_b \cdot Q_b \cdot (P \cdot I''_1 + I''_2 + 1) \quad (25)$$

- Para descarga total:

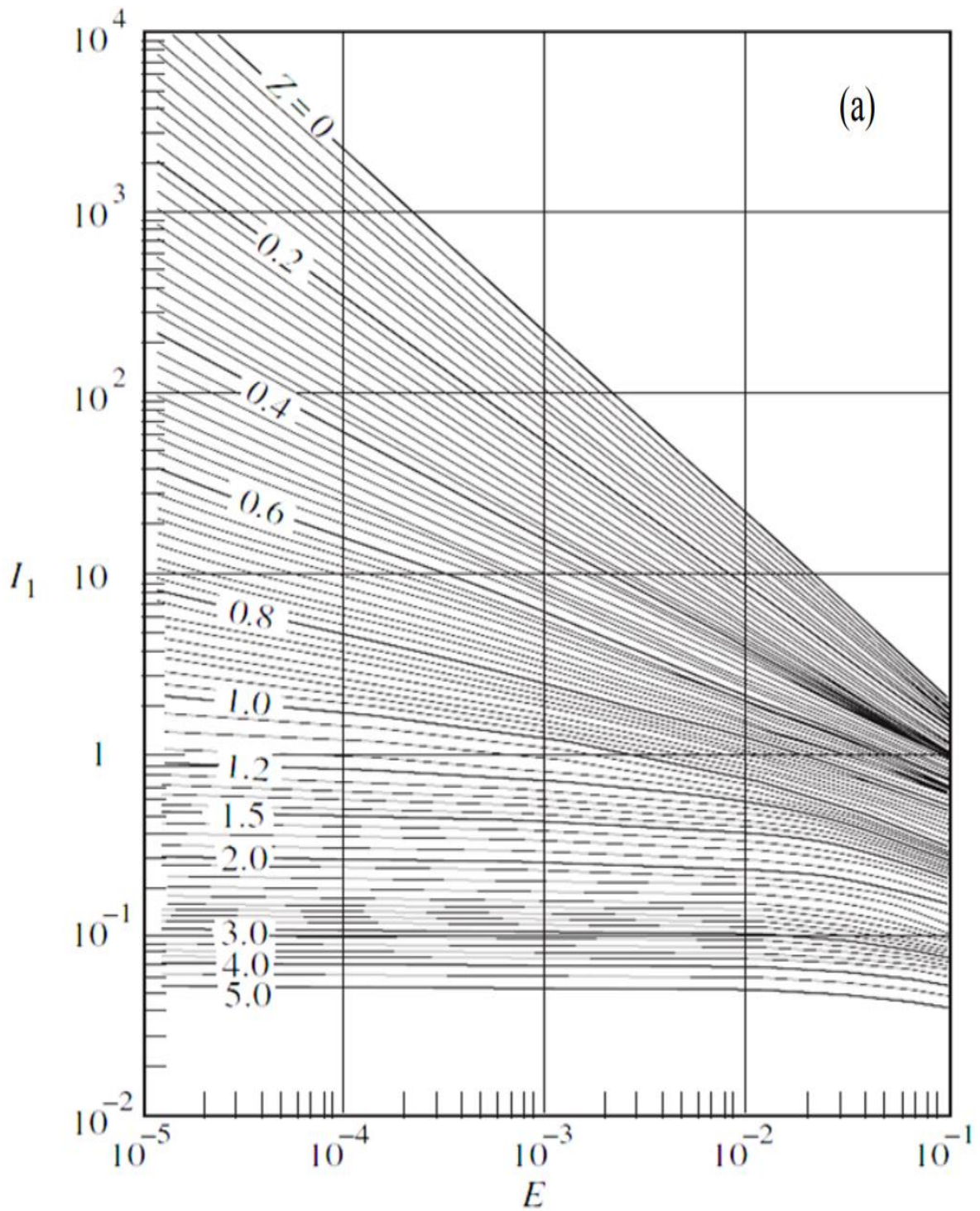
$$Q_{T\ MME} = i_T \cdot Q_T + i_b \cdot Q_b \quad (26)$$

Figura 8 - Valores de Z' em função de $Q'_s / (i_f \cdot Q_f)$ para o grão dominante

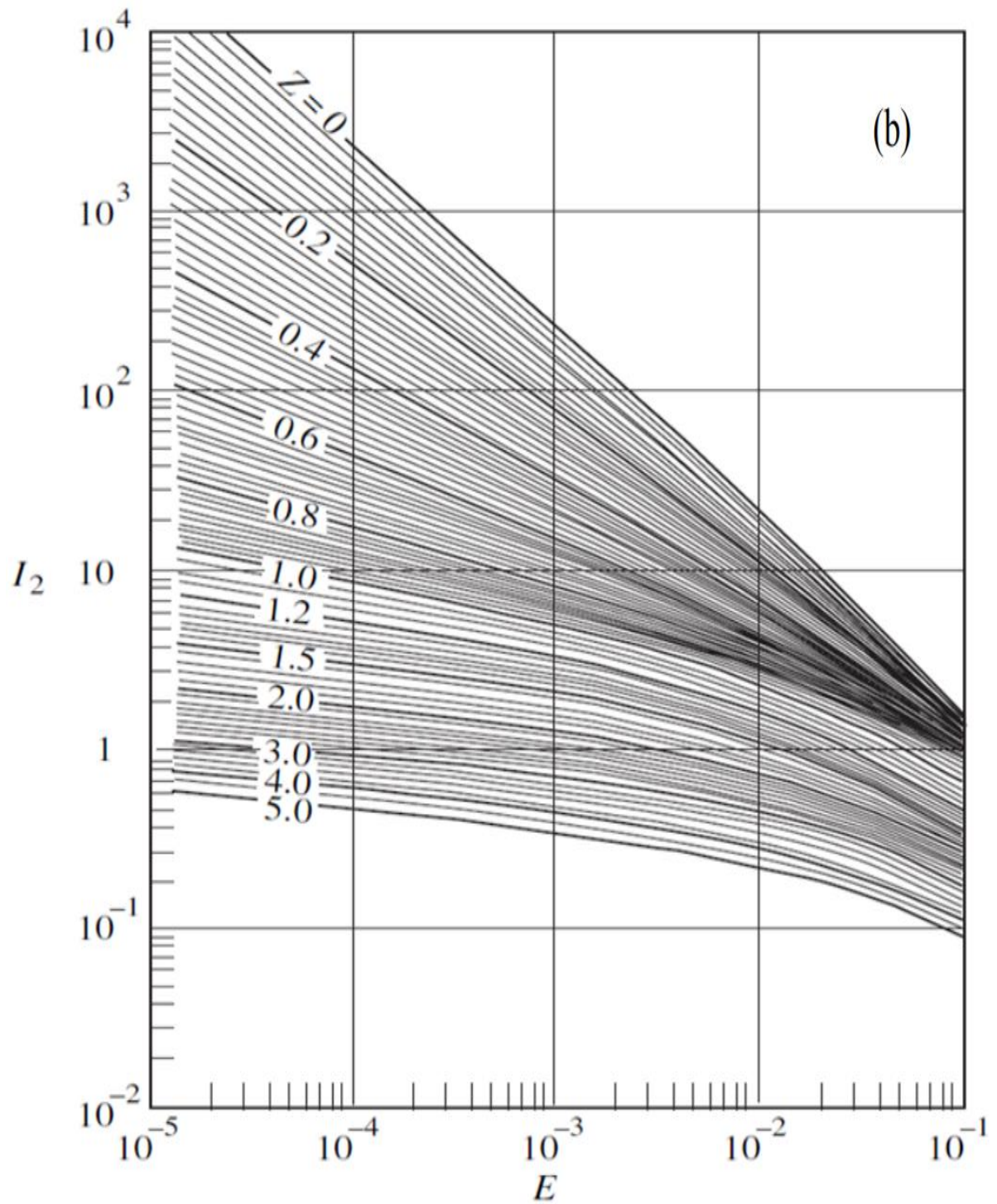


Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

Figura 9 - Valores de I_1'' , em termos de $E1$, para vários valores de Z

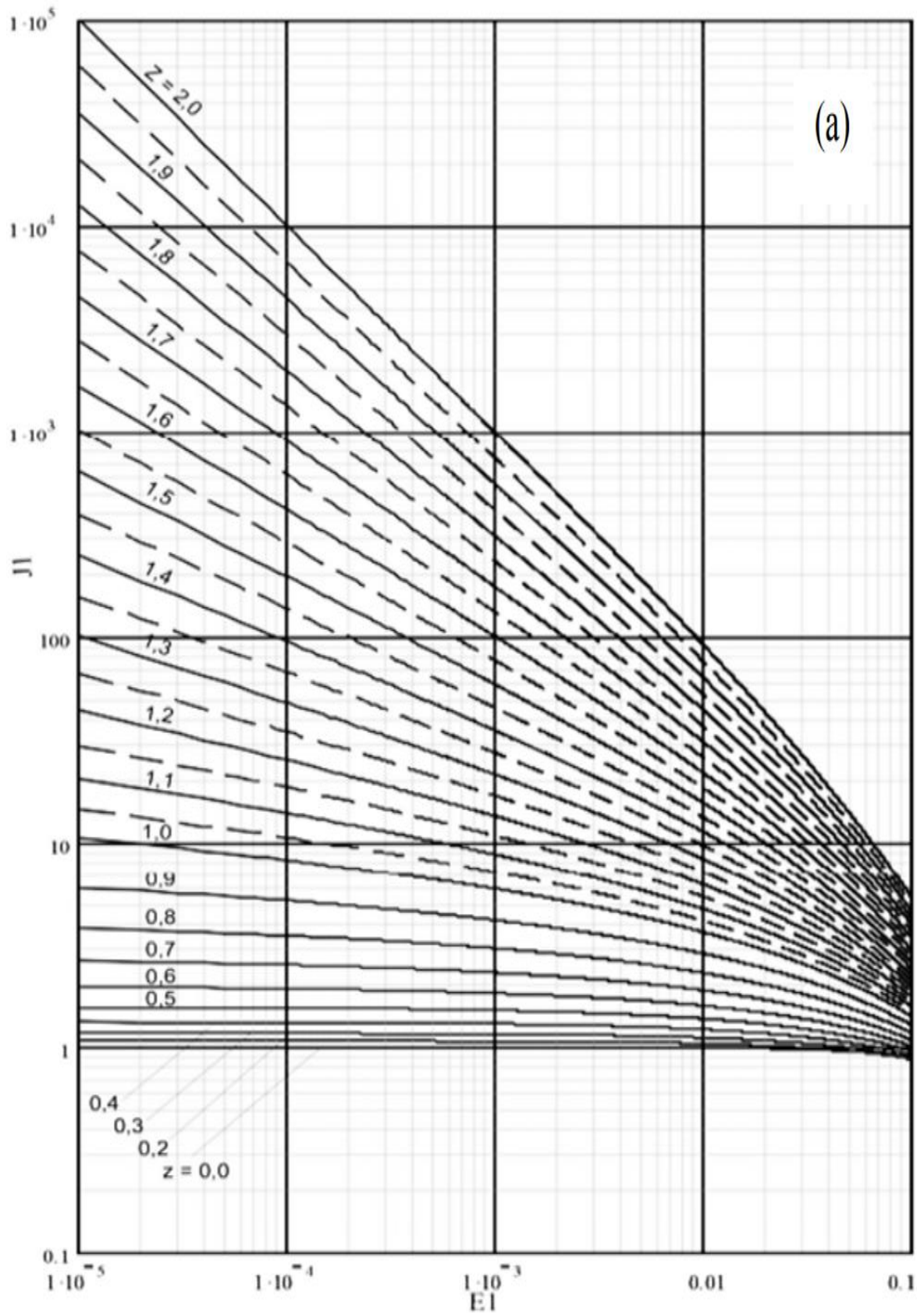


Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

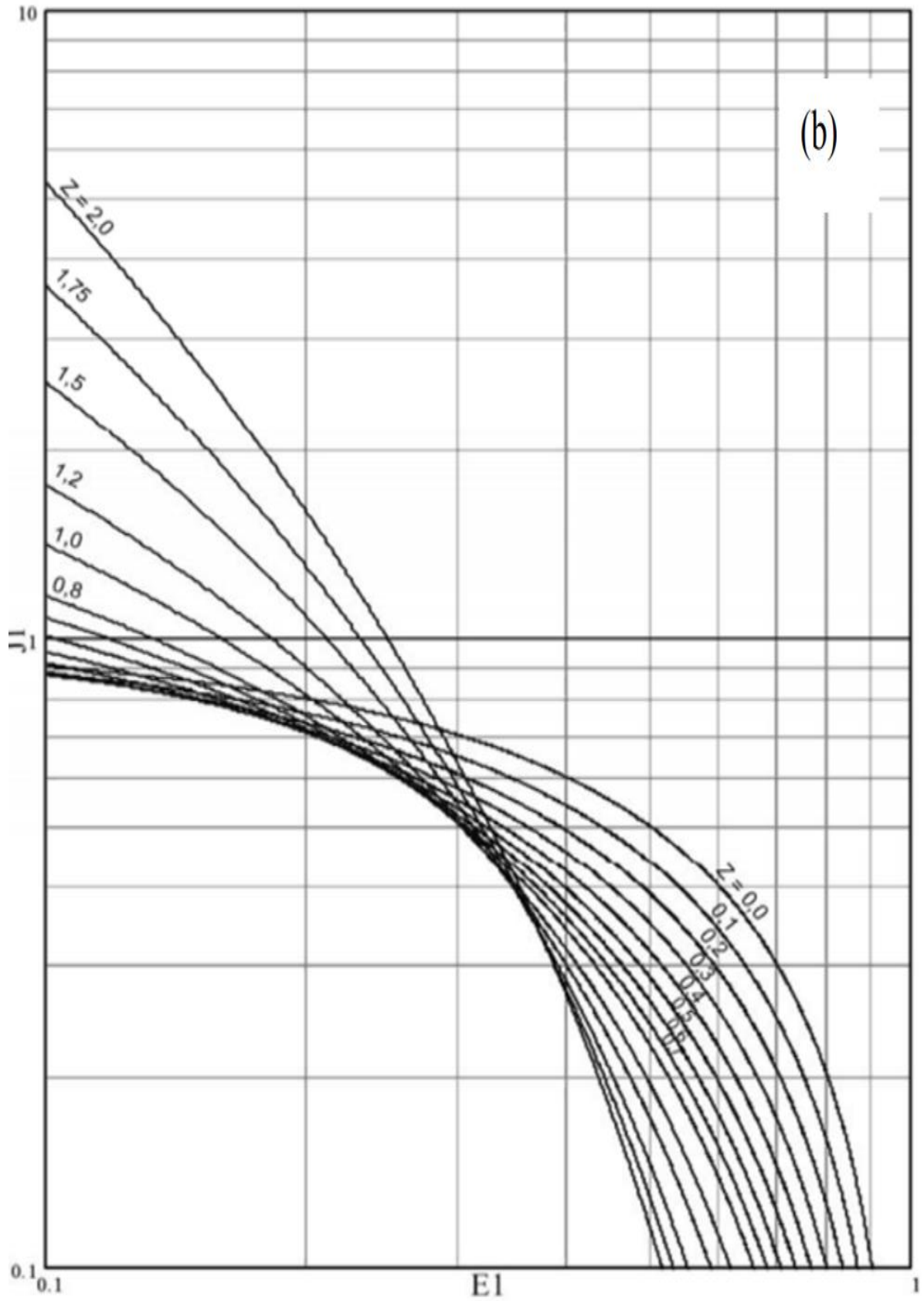
Figura 10 - Valores de I_2'' , em termos de $E1$, para vários valores de Z 

Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

Figura 11 - Integral de $J''_1 E1$, para vários valores de Z'

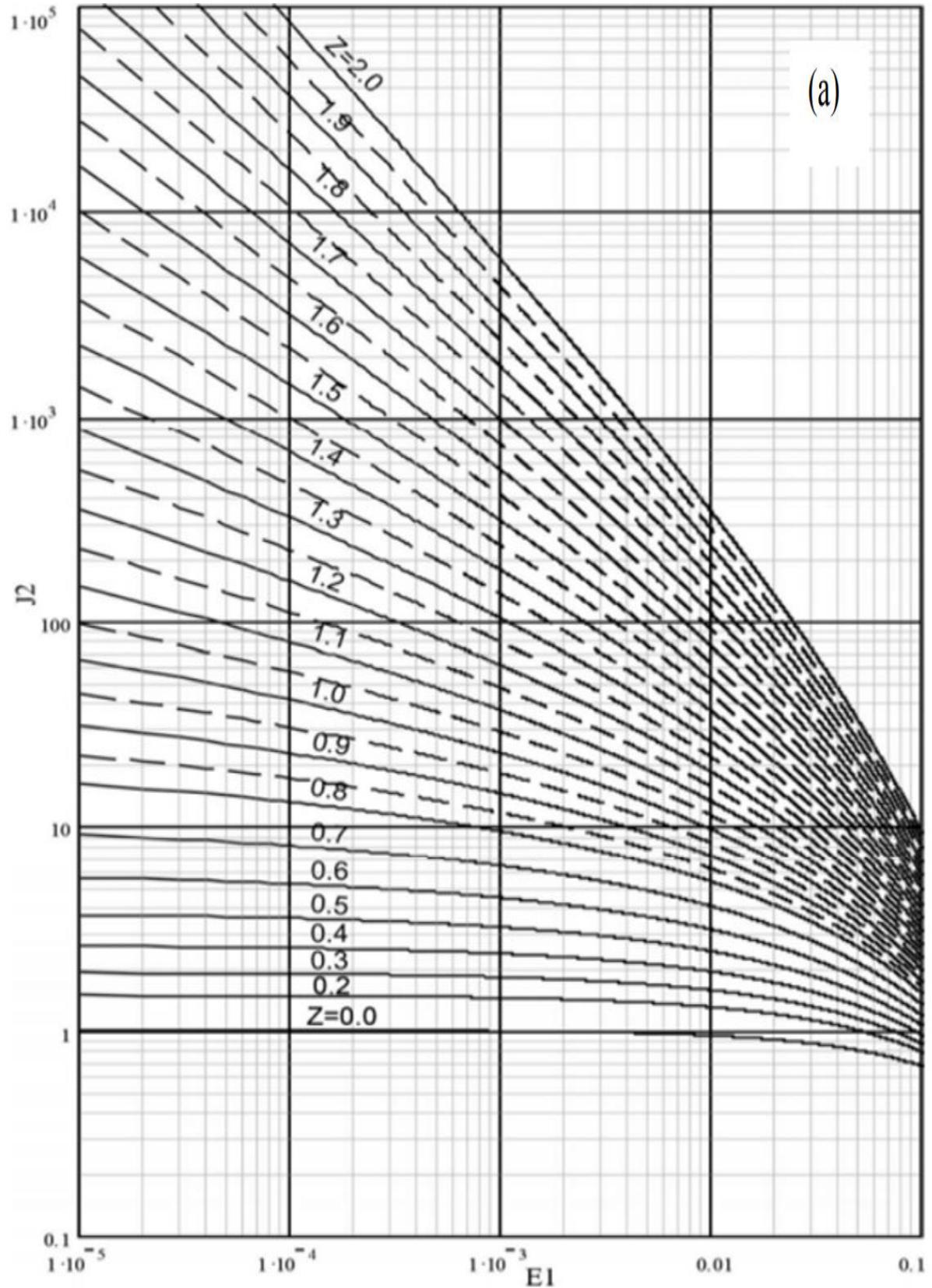


Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

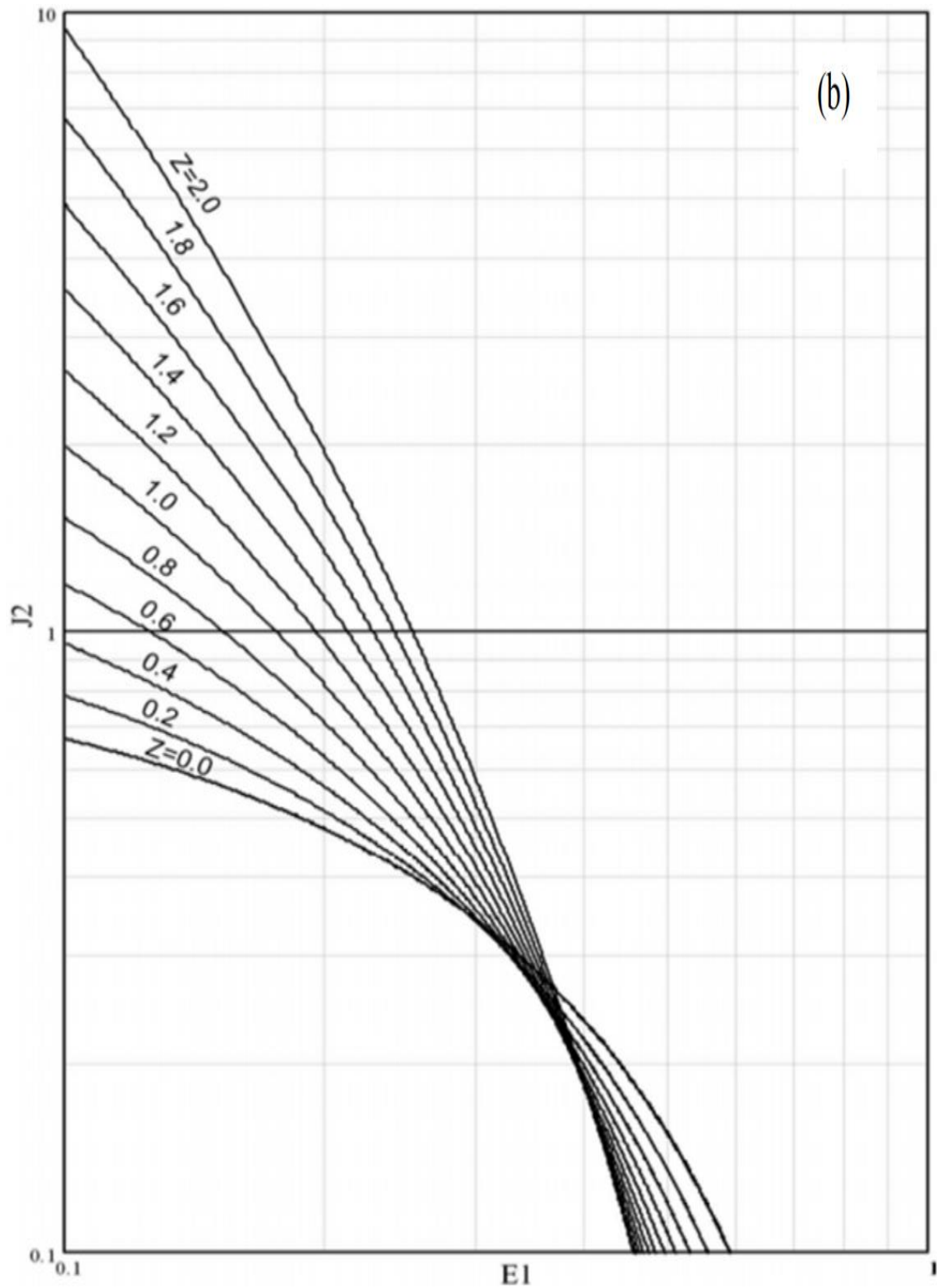
Figura 12 - Integral de J_1 em termos de $E1$ e Z' 

Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

Figura 13 - Integral de $J''_2 E1$, para vários valores de Z'



Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

Figura 14 - I Integral de $J'_2 E1$, para vários valores de Z' 

Fonte: Colby & Hubbell, 1961, Simons & Senturk, 1977 apud Carvalho, 2008.

Em resumo, o Método de Einstein Modificado é uma técnica valiosa para estimar a descarga total de sedimentos em rios. Ele leva em consideração a velocidade do fluxo medida e as medições de concentração do material suspenso e requer uma faixa granulométrica comum entre as descargas de fundo e de suspensão. O método foi convertido para o sistema métrico e pode ser realizado manualmente ou por meio de modelos computacionais.

3.1.2. Método Simplificado de Colby (MSC)

O método simplificado desenvolvido por Colby em 1957 é uma abordagem amplamente aplicada em estudos de transporte de sedimentos, particularmente no Brasil. Este método é vantajoso devido à sua simplicidade de aplicação e à exigência de dados mínimos. Utiliza três ábacos e dados sobre descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sedimentos suspensos. Os ábacos utilizados neste método foram obtidos a partir de um desenvolvimento semiempírico baseado em experimentos de diversos processos de cálculo de descarga sólida (Miranda, 2014).

Descobriu-se que o método simplificado de Colby produz bons resultados para os dados analisados, tornando-o adequado para estimativas aproximadas em seções onde não há outros dados disponíveis. Serve como uma ferramenta útil quando há falta de dados abrangentes para análise do transporte de sedimentos. O método foi originalmente apresentado no sistema de unidades inglês, mas Carvalho (2008) converteu os gráficos de Colby para o sistema métrico.

Em termos de requisitos de dados, o método simplificado de Colby necessita apenas de medições de descarga líquida e concentração de sedimentos suspensos. Esta simplicidade torna-o uma escolha prática para estudos de transporte de sedimentos, especialmente em situações onde os dados disponíveis são limitados. O método tem sido amplamente aplicado no Brasil, onde forneceu informações valiosas sobre a dinâmica do transporte de sedimentos (Cunha & Souza, 2010).

A seguir, são apresentadas as equações utilizadas para este método, desenvolvido por Colby para estimar a descarga sólida total de um rio e convertido ao sistema métrico por Carvalho (2008), juntamente com o procedimento a ser seguido, incluindo a utilização dos ábacos.

$$Q_{st} = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (27)$$

Onde:

Q_{st} = Descarga sólida total, em [t/dia];

Q_{sm} = Descarga sólida medida, em [t/dia];

Q_{nm} = Descarga de arrasto somada à descarga não medida [t/dia];

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss} \quad (28)$$

Onde:

Q_{sm} = Descarga sólida medida, em [t/dia];

Q = Descarga líquida ou vazão, em [m³/s];

C_{ss} = Concentração de sedimentos em suspensão [ppm].

$$Q_{nm} = q'_{nm} \cdot L \cdot K \quad (29)$$

Onde:

Q_{nm} = Descarga de arrasto somada à descarga não medida [t/dia];

q'_{nm} = Descarga sólida não medida [t/dia/m];

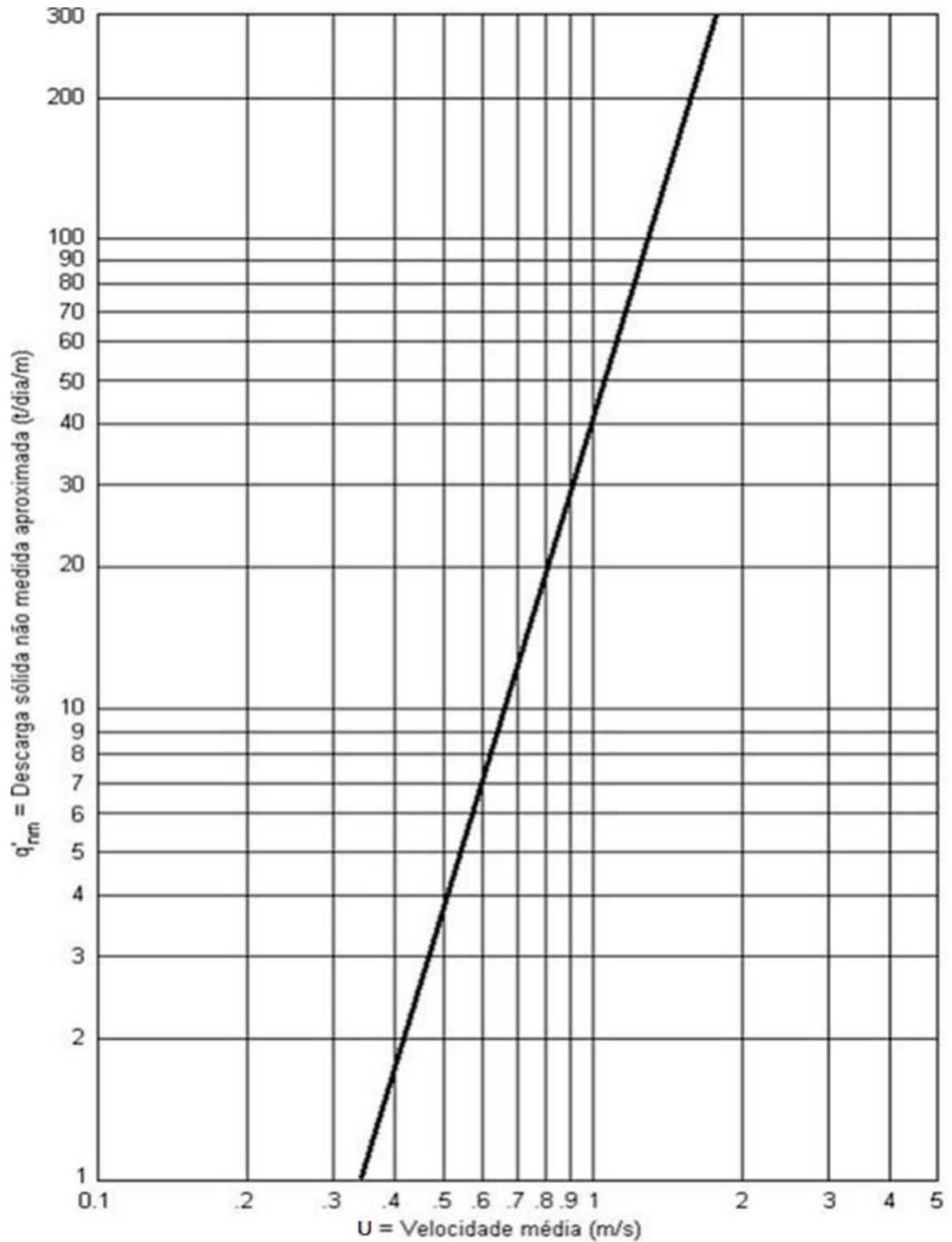
L = largura do rio, em [m];

K = fator de correção.

O valor de Q_{nm} representa a soma da descarga de arrasto com a descarga não medida e é obtido por meio do uso de ábacos. Essa determinação requer informações como a velocidade média da água [m/s], a profundidade média da lâmina d'água [m], a largura da seção do rio em metros [m] e a concentração de sedimentos em suspensão medida em partes por milhão [ppm]. Esta última é obtida por ensaio laboratorial com uma amostra coletada do rio. O procedimento de utilização dos ábacos e os cálculos são descritos da seguinte maneira:

- a) Utilizando o Ábaco 1 apresentado na Figura 15 abaixo, com o valor da velocidade média, obtém-se a descarga sólida não medida, q'_{nm} , aproximada por unidade de largura;

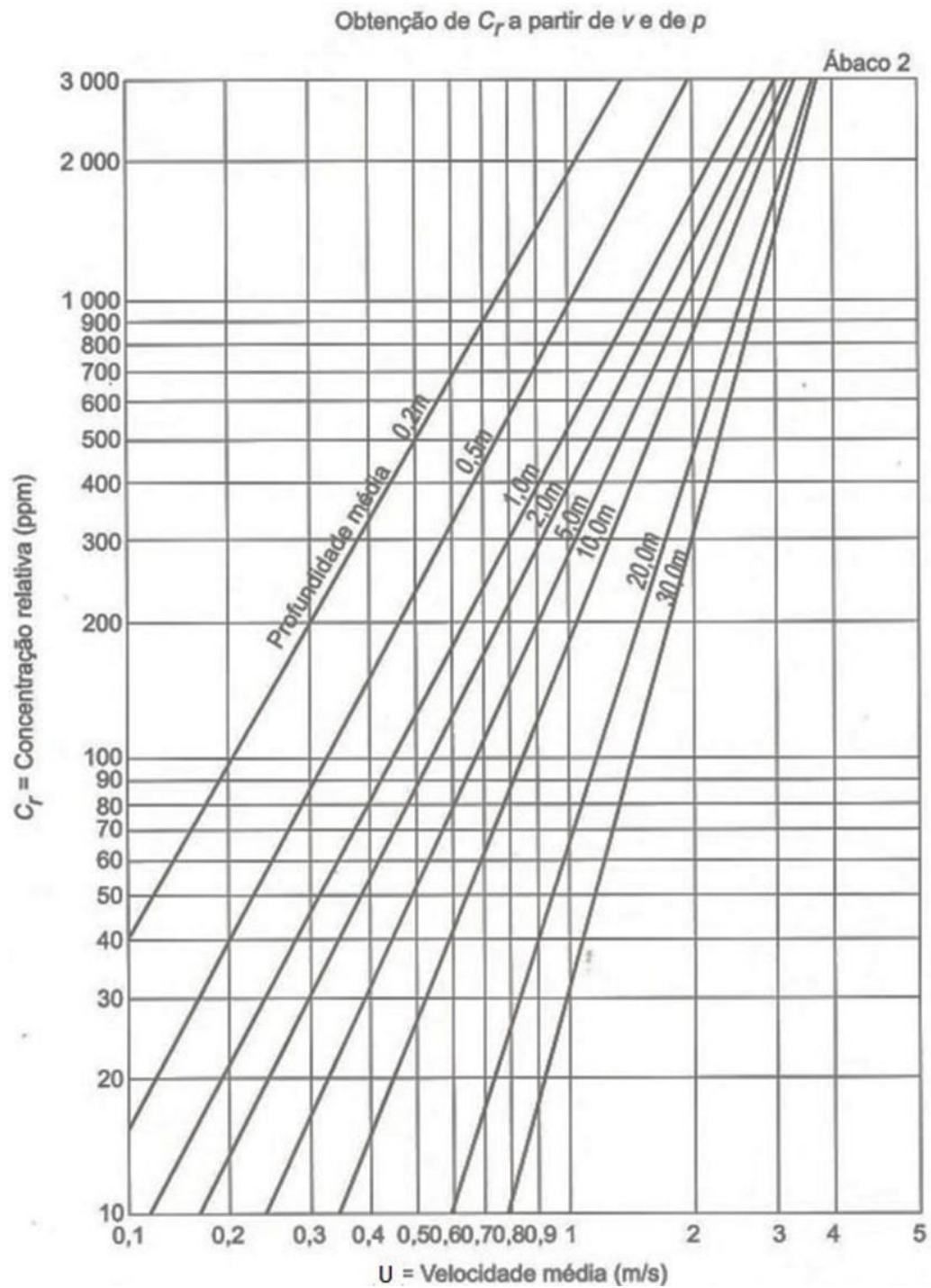
Figura 15 - Ábaco 1 para obtenção da descarga sólida não medida aproximada, por metro de largura do rio, a partir da velocidade média



Fonte: Carvalho, 2008.

- b) Utilizando o Ábaco 2 apresentado na Figura 16 abaixo, com os valores de velocidade média e profundidade média, obtém-se a concentração relativa, C_r ;

Figura 16 - Ábaco 2 para obtenção da concentração relativa, a partir da velocidade média e da profundidade média do curso d'água

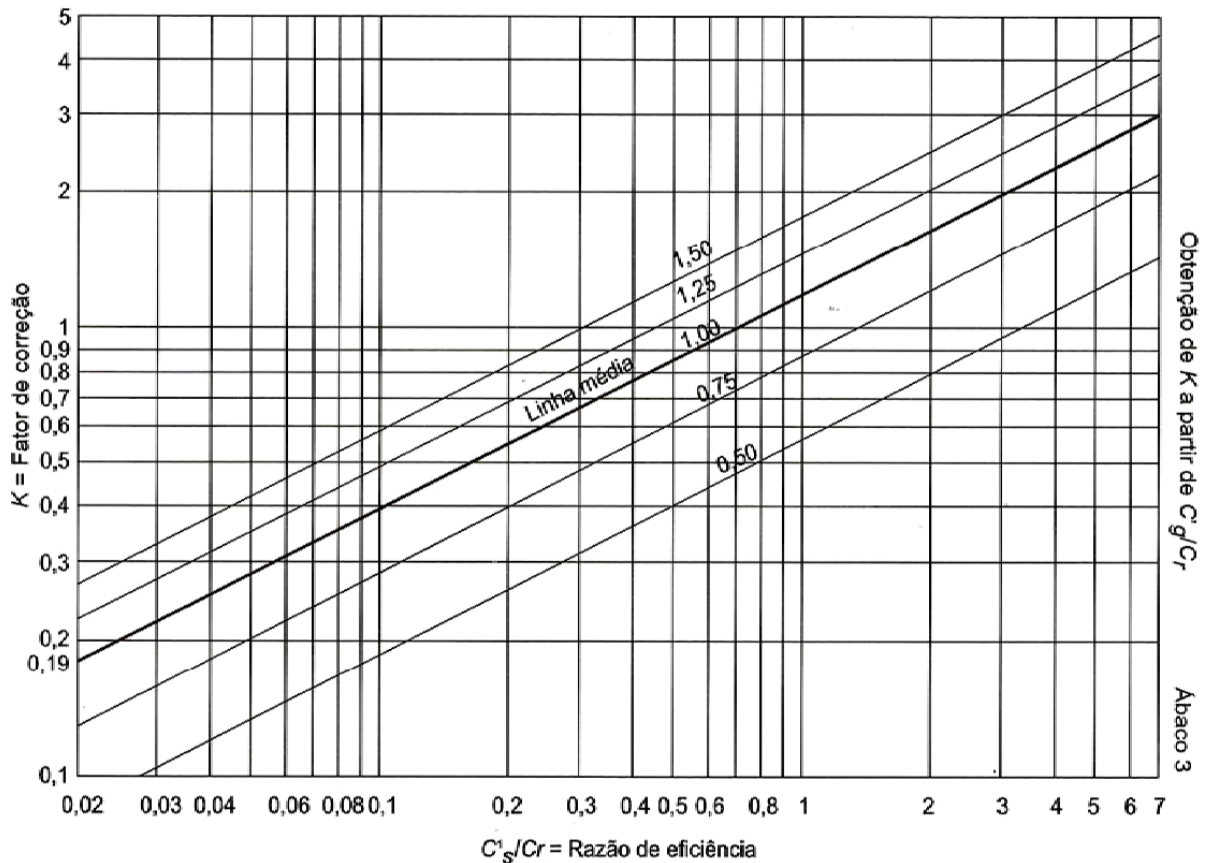


Fonte: Carvalho, 2008.

c) Calcula-se então a razão de eficiência, $e = C'_s \cdot C_r$;

e) No ábaco 3 apresentado na Figura 17 com o valor da razão de eficiência, obtém-se o fator de correção K ;

Figura 17 - Ábaco 3 para obtenção do fator de correção a partir da razão de eficiência



e) Calcula-se então descarga sólida não medida (Q_{nm}), a última variável para a aplicação das equações apresentadas posteriormente e se obter a Descarga sólida total (Q_{st}).

3.1.3. Coeficiente de correção

Após a obtenção dos valores de descarga de sedimentos pelos métodos mencionados, pretende-se criar um gráfico de dispersão, comparando as descargas de sedimentos obtidas em laboratório com aquelas estimadas por cada método. A representatividade de cada método será avaliada observando-se a proximidade da reta de regressão em relação à nuvem de pontos, e o método que apresentar maior coerência será selecionado como o mais eficiente. No entanto, mesmo com uma representatividade elevada, é possível que os valores de descarga sólida total obtidos pelo melhor método não se aproximem completamente dos valores obtidos em laboratório, dada a complexidade desse processo, sujeito a dificuldades de previsão.

Para aprimorar a precisão do método escolhido, optou-se por desenvolver um gráfico de coeficientes de correção. Essa abordagem visa realizar ajustes finos para que as estimativas futuras, especialmente aquelas relacionadas a vazões próximas às já analisadas, resultem em valores de descarga de sedimentos totais mais concordantes com os dados empíricos coletados em campo.

Portanto, os coeficientes de correção representam constantes adimensionais que desempenham um papel crucial na busca pela equivalência entre as descargas de sedimentos calculadas pelo método mais eficaz e os resultados das análises laboratoriais correspondentes às datas específicas. Esses coeficientes, ao serem aplicados à descarga de sedimentos estimada pelo método escolhido, garantem que os resultados se alinhem de maneira precisa às descargas de sedimentos determinadas pelos procedimentos laboratoriais.

A determinação dos fatores de correção envolve a análise da razão entre a descarga de sedimentos nos dados de laboratório ($Q_{st_{Lab}}$) e aquela obtida através do método eleito como mais representativo (Q_{st_x}) para cada data de coleta. Esse valor adimensional reflete a relação proporcional entre ambos, indicando a magnitude da diferença entre os dois valores. Essa abordagem visa assegurar a consistência e confiabilidade entre os resultados do método escolhido e as medições laboratoriais, contribuindo para uma validação eficaz do modelo adotado.

Considerando o valor da descarga de sedimentos obtida através do método eleito como mais representativo (Q_{st_x}) como uma referência de 100% e que a

descarga de sedimentos totais obtidas em laboratório (Qst_{Lab}) seja um valor X . teremos que este valor X representa uma fração do valor do Qst_x . A seguir, é apresentado a dedução deste percentual que pode ser determinado pela equação (30).

$$\left[\begin{array}{l} Qst_x \\ Qst_{Lab} \end{array} \right] \begin{array}{l} \swarrow \\ \searrow \end{array} \begin{array}{l} 100\% \\ X \end{array}$$

$$Qst_{Lab} \cdot \left(\frac{100}{100} \right) = X \cdot Qst_x$$

$$X = \left[\frac{Qst_{Lab}}{Qst_x} \right] \quad (30)$$

Onde:

Qst_x = Descarga de sedimentos totais obtido pelo método mais representativo;

Qst_{Lab} = Descarga de sedimentos totais obtido pelas análises laboratoriais.

Sendo X , o quão maior ou menor é a descarga de sedimentos de laboratório (Qst_{Lab}) é em relação ao método eleito mais representativo (Qst_x). O mesmo pode ser adotado como um coeficiente de correção que quando multiplicado a descarga de sedimentos totais obtidas pelo método resultará em um valor semelhante a do obtido em laboratório. Logo a equação (30) pode ser reescrita conforme a equação (31).

$$Coef_{correção} = \left[\frac{Qst_{Lab}}{Qst_x} \right] \quad (31)$$

Após a obtenção dos fatores de correção, plota-se um gráfico com os coeficientes em relação à vazão do Rio Amambai. A construção de um gráfico de correção possibilita visualizar a relação entre esses coeficientes e as diferentes magnitudes de vazão. Ao analisar a nuvem de pontos resultante, é viável estabelecer uma curva de ajuste, que se torna uma ferramenta valiosa para determinar o coeficiente de correção com base na vazão observada em campo.

A utilização desta curva de ajuste proporciona a capacidade de refinar o valor da descarga de sólidos totais obtida pelo método escolhido, oferecendo uma correção mais precisa e adaptada às condições específicas do Rio Amambai. Em cenários em que o volume da vazão está aquém ou além dos valores históricos inicialmente considerados na elaboração do gráfico, sugere-se a extrapolação da curva. Essa técnica permite obter o coeficiente de correção correspondente ao volume em questão, ampliando assim a aplicabilidade do modelo.

A abordagem de extrapolação da curva torna o modelo mais versátil, possibilitando sua utilização em condições de vazão que se situam fora do intervalo histórico inicialmente contemplado. Dessa forma, a metodologia adotada oferece uma solução flexível, capaz de lidar de forma eficaz com uma variedade de cenários hidrológicos, garantindo resultados mais confiáveis mesmo diante de situações atípicas.

3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efetuar a análise dos métodos matemáticos Modificado de Einstein (MME) e Simplificado de Colby (MSC), foi conduzida uma triagem das variáveis essenciais necessárias para a realização da análise de cada método. Os resultados desta triagem foram organizados em dois Quadros, identificados como (3) e (4), os quais estão apresentados posteriormente.

No Quadro (3), estão detalhados os dados de entrada necessários para conduzir a análise do Método Modificado de Einstein. Esses dados foram adquiridos e, em seguida, utilizados para realizar a análise por meio do programa Eisten.xls, desenvolvido por Anderson Braga e disponibilizado como anexo no Livro "Hidrossedimentologia Prática" de Carvalho (2008). Os valores resultantes da descarga de sedimentos são apresentados na última coluna do quadro, destacados em amarelo.

Quadro 3 - Triagem de dados necessários para o Método Modificado de Einstein

Data	Vazão do rio (m³/s)	Velocidade de escoamento do rio (m/s)	Profundidade média do rio (análise de QI e QS) (m)	Largura do rio (m)	Área do perfil transversal no local de amostragem (m²)	Temperatura da água (° C)	D65: maior diâmetro de 65% dos sedimentos são mais fino (mm)	D35: maior diâmetro de 35% dos sedimentos são mais fino (mm)	Concentração medida de sólidos suspensos [ppm] (mg/l)	Distância do bico do Amostrador ao fundo (m)	Descarga total [Qst MME] (t/d)
03/10/2019	108,170	0,760	2,270	62,535	142,202	26,000	0,269	0,213	29,440	0,250	632,370
06/11/2019	92,560	0,780	2,060	57,487	118,471	26,700	0,274	0,227	30,610	0,250	547,820
04/02/2020	177,280	0,890	2,820	70,653	199,274	26,400	0,378	0,274	103,220	0,250	3180,400
18/08/2020	154,250	0,940	2,800	58,458	163,969	20,700	0,278	0,250	82,700	0,250	4021,520
08/10/2020	104,700	0,780	2,220	60,442	134,276	27,600	0,419	0,368	49,770	0,250	530,762
24/11/2020	121,720	0,810	2,550	58,75	149,598	26,600	0,419	0,368	43,080	0,250	528,533
07/01/2021	178,150	0,930	3,090	62,263	192,221	26,700	0,409	0,338	98,620	0,250	2938,180
20/05/2021	130,620	0,840	2,550	61,137	155,659	20,500	0,419	0,368	42,570	0,250	1047,110
07/07/2021	120,250	0,870	2,340	59,339	138,819	16,700	0,500	0,399	21,660	0,250	623,453
14/09/2021	103,660	0,810	2,140	59,861	128,073	25,700	0,744	0,696	13,700	0,250	126,200
28/10/2021	203,510	0,940	3,530	60,985	215,56	24,900	0,419	0,378	4,520	0,250	364,486
18/11/2021	151,950	0,90	2,860	59,15	169,38	26,400	0,276	0,260	51,910	0,250	1810,000
09/03/2022	89,880	0,770	2,070	56,217	116,11	28,500	0,278	0,227	35,460	0,250	624,464
28/06/2022	104,540	0,770	2,690	58,187	135,075	21,600	0,235	0,187	35,340	0,300	899,798
27/07/2022	92,080	0,780	2,340	58,21	118,07	22,500	0,278	0,253	27,700	0,300	626,408
25/08/2022	113,450	0,80	2,490	58,007	142,155	20,700	0,269	0,212	68,660	0,300	1364,020
21/09/2022	104,510	0,80	2,680	56,484	131,141	22,000	0,274	0,239	68,710	0,300	1222,530
15/10/2022	320,160	1,170	5,020	64,683	274,682	22,000	0,317	0,259	152,850	0,300	6676,420
15/11/2022	267,270	1,050	4,180	62,616	253,913	23,000	0,269	0,229	81,440	0,300	2844,640
12/01/2023	148,370	0,890	3,090	59,023	167,542	27,000	0,266	0,212	75,960	0,300	1911,800
02/02/2023	202,030	0,980	3,860	60,509	206,668	27,000	0,269	0,220	147,920	0,300	4299,220

Fonte: Autor, 2023.

De maneira análoga, foi realizada uma triagem dos dados indispensáveis para a análise pelo Método Simplificado de Colby, os quais são detalhados a seguir. Esses dados foram então inseridos no programa Formulas_Qsolida_corrigida.xls, também desenvolvido por Anderson Braga e disponibilizado como anexo no Livro "Hidrossedimentologia Prática" (Carvalho, 2008). Os valores resultantes da descarga de sedimentos são exibidos na última coluna do Quadro (4), igualmente destacados em amarelo.

Quadro 4 - Triagem de dados necessários para o Método Simplificado de Colby

Data	Vazão do rio (m³/s)	Velocidade de escoamento do rio (m/s)	Profundidade média do rio (m)	Largura do rio (m)	Concentração medida de sólidos suspensos [ppm] (mg/l)	Descarga total [Qst MSC] (t/d)
03/10/2019	108,170	0,760	2,270	62,540	29,440	646,350
06/11/2019	92,560	0,780	2,060	57,490	30,610	607,922
04/02/2020	177,280	0,890	2,820	70,650	103,220	2731,934
18/08/2020	154,250	0,940	2,800	58,460	82,700	2077,410
08/10/2020	104,700	0,780	2,220	60,440	49,770	935,344
24/11/2020	121,720	0,810	2,550	58,750	43,080	955,670
07/01/2021	178,150	0,930	3,090	62,260	98,620	2636,232
20/05/2021	130,620	0,840	2,550	61,140	42,570	1039,273
07/07/2021	120,250	0,870	2,340	59,340	21,660	642,156
14/09/2021	103,660	0,810	2,140	59,860	13,700	406,576
28/10/2021	203,510	0,940	3,530	60,990	4,520	359,314
18/11/2021	151,950	0,900	2,860	59,150	51,910	1395,766
09/03/2022	89,880	0,770	2,070	56,220	35,460	647,825
28/06/2022	104,540	0,770	2,690	58,190	35,340	728,437
27/07/2022	92,080	0,780	2,340	58,210	27,700	579,576
25/08/2022	113,450	0,800	2,490	58,010	68,660	1260,203
21/09/2022	104,510	0,800	2,680	56,480	68,710	1201,019
15/10/2022	320,160	1,170	5,020	64,680	152,850	7050,941
15/11/2022	267,270	1,050	4,180	62,620	81,440	3393,034
12/01/2023	148,370	0,890	3,090	59,020	75,960	1818,460
02/02/2023	202,030	0,980	3,860	60,510	147,920	4173,924

Fonte: Autor, 2023.

A previsão do comportamento de partículas é uma tarefa complexa e por essa razão os métodos de análise empírica procuram incorporar uma ampla gama de variáveis que possam influenciar nesse movimento. No contexto da segurança durante a formulação de projetos apoiados em um modelo empírico, é fundamental reconhecer que o próprio modelo empírico pode conduzir a estimativas notavelmente superiores do transporte de sedimentos em comparação com as condições reais. Tal divergência deriva do fato de que cada método fora desenvolvido em um ambiente com suas próprias características e peculiaridades. Dessa forma, há uma necessidade de instituir um coeficiente que possa majorar esse desvio.

Essa tendência se tornou evidente ao confrontar os resultados da descarga de sedimentos obtidos por meio de ensaios laboratoriais com os dados decorrentes dos métodos empíricos. Esse contraste pode ser visualizado no Quadro (5) apresentado abaixo, onde se é apresentado os valores de descarga de sedimentos totais calculados por MSColby, MMEinstein e realizados por medições em campo/laboratório, respectivamente nesta ordem.

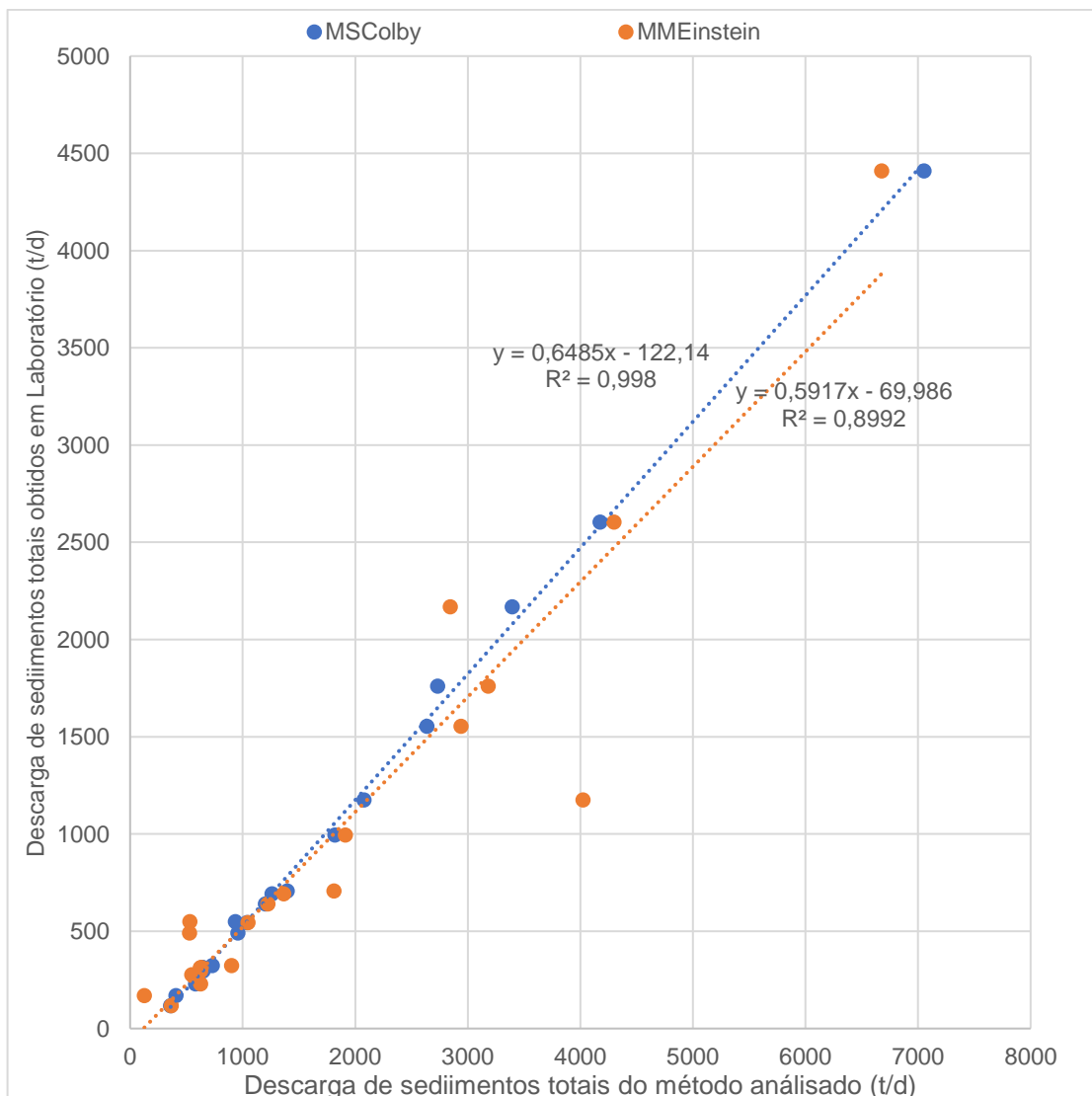
Quadro 5 - Descarga de sedimentos obtidas para MSColby, MMEinstein e Laboratório

Data	Vazão do rio (m ³ /s)	Descarga total [Qst MSC] (t/d)	Descarga total [Qst MME] (t/d)	Descarga total [Qst LAB] (t/d)
03/10/2019	108,170	646,349	632,370	313,450
06/11/2019	92,560	607,922	547,820	276,420
04/02/2020	177,280	2731,934	3180,400	1759,510
18/08/2020	154,250	2077,410	4021,520	1174,280
08/10/2020	104,700	935,344	530,762	549,200
24/11/2020	121,720	955,670	528,533	490,260
07/01/2021	178,150	2636,232	2938,184	1552,690
20/05/2021	130,620	1039,273	1047,108	544,550
07/07/2021	120,250	642,156	623,453	311,190
14/09/2021	103,660	406,576	126,200	169,230
28/10/2021	203,510	359,314	364,486	117,080
18/11/2021	151,950	1395,766	1810,002	706,680
09/03/2022	89,880	647,825	624,464	295,160
28/06/2022	104,540	728,437	899,798	322,890
27/07/2022	92,080	579,576	626,408	229,230
25/08/2022	113,450	1260,203	1364,021	691,800
21/09/2022	104,510	1201,019	1222,529	640,360
15/10/2022	320,160	7050,941	6676,423	4409,420
15/11/2022	267,270	3393,034	2844,642	2167,000
12/01/2023	148,370	1818,460	1911,801	993,910
02/02/2023	202,030	4173,924	4299,222	2603,540

Fonte: Autor, 2023.

Existe uma similaridade alta entres os valores obtidos empiricamente, mas os mesmos são em média duas vezes maiores que o valor esperado. Isto se deve, como dito anteriormente, ao fato de que estes métodos foram desenvolvidos para um curso d'água específico com características especifica, por tanto um fator de ajuste é necessário, para que melhor representem os dados históricos, assim, estimando dados futuros com mais precisão. Mas mesmo com esta variação é possível notar uma alta correlação entre os valores obtidos, no Gráfico (3) estão representados os comparativos entre cada método e os valores medidos.

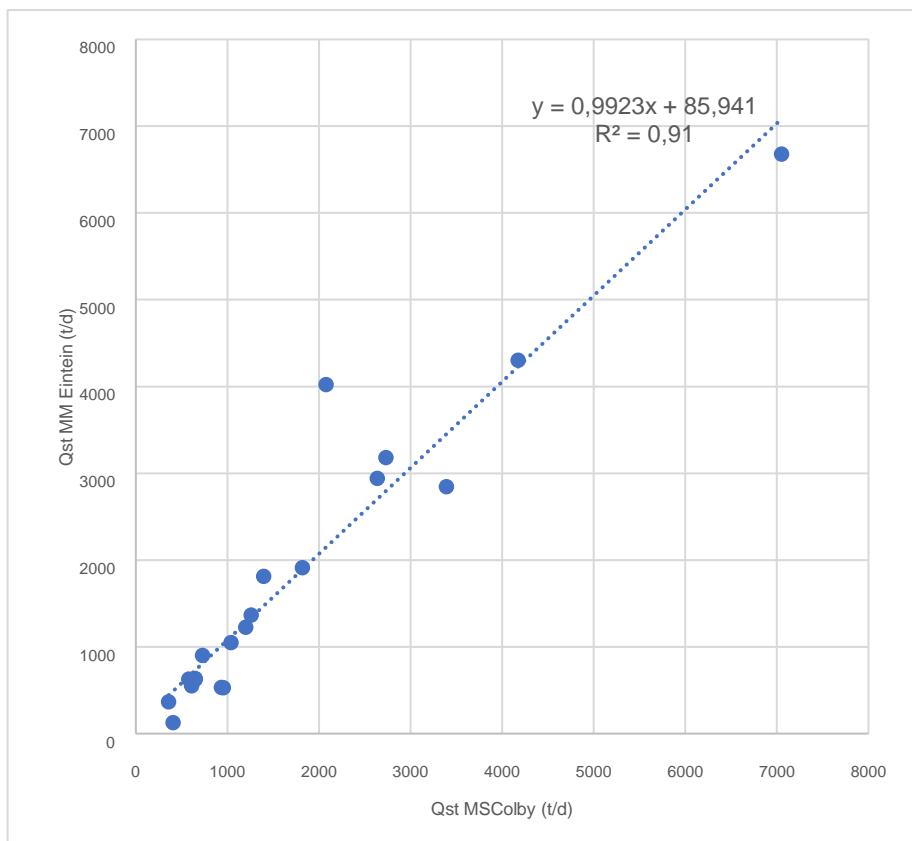
Gráfico 3 - Vazão de sedimento laboratório vs Método Modificado de Einstein (MMEinstein) e Método Simplificado de Colby (MSColby)



Fonte: Autor, 2023.

No eixo X do gráfico, são exibidos os valores de descarga de sedimentos totais (QST obtidos pelos métodos analisados, os quais estão relacionados com os valores obtidos em laboratório apresentados no eixo Y. Para cada data de análise, um ponto laranja foi gerado para o Método Modificado de Einstein (MMEinstein) e um ponto azul para o Método Simplificado de Colby (MSColby). Em seguida, foi determinada uma curva de ajuste para cada nuvem de pontos, avaliando-se a representatividade da mesma em relação à nuvem de pontos. Apesar da notável discrepância entre os valores da descarga de sedimentos medidos e os obtidos de métodos empíricos, é importante destacar que uma correlação significativa existe entre esses dois conjuntos de dados. Isso fica evidenciado pela correlação de 99,8% no caso do Método Simplificado de Colby (MSColby) e de 89,9% para o Método Modificado de Einstein (MMEinstein). Para o rio em análise neste estudo em específico - o Rio Amambai - observou-se uma maior representatividade associada ao Método Simplificado de Colby. Ao representar graficamente a correlação entre os dois métodos através do Gráfico (4), torna-se evidente a semelhança dos valores obtidos.

Gráfico 4 - Descarga de sedimentos MMEinstein vs MSColby

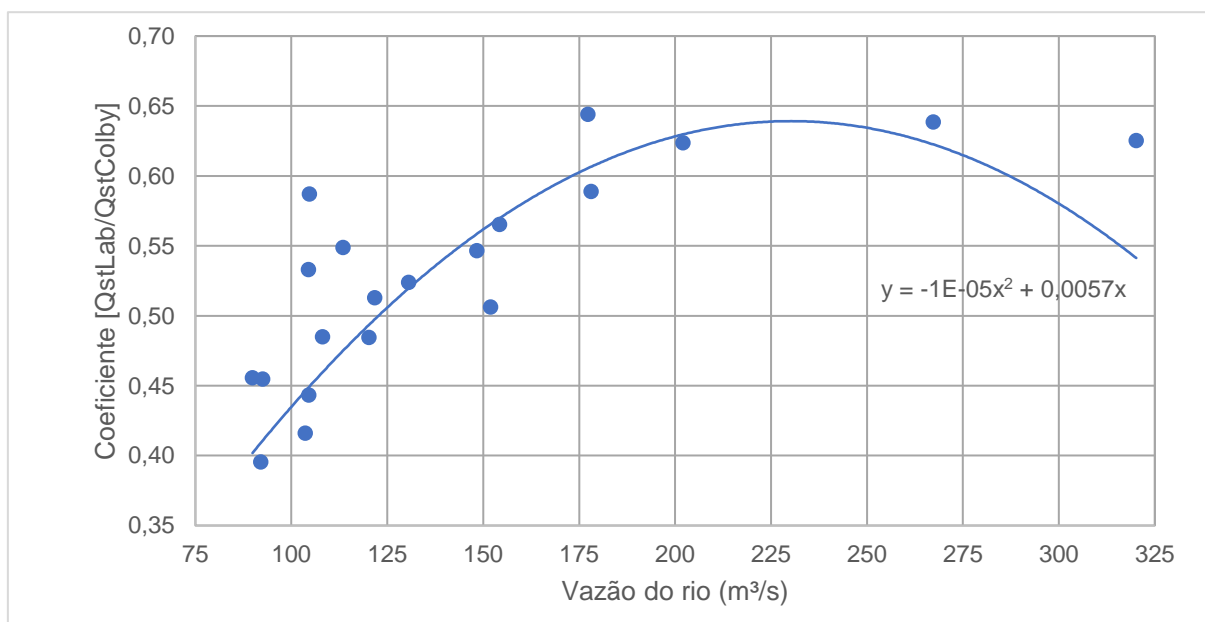


Fonte: Autor, 2023.

Observa-se pelo Gráfico (4) que a nuvem de pontos geradas pela associação dos valores de descarga de sólidos totais obtidas pelo método MMEinstein e MSColby produziram uma curva de ajuste de aproximadamente 45°, o que assim como o valor de correlação de 0,91 (91%) demonstram que ambos métodos podem ser eleitos para representar a descarga de sedimentos totais do Rio Amambai – MS.

O modelo de Einstein permitiu uma análise abrangente de uma ampla gama de variáveis de entrada, que para este curso d'água se mostrou pouco relevante. A alta correlação observada indica que, embora o MMEisten considere inúmeras variáveis que visam minimizar os erros associados ao método empírico, mas sua contribuição para os valores finais não se revelou significativas. Como resultado, o método simplificado de Colby se apresentou como uma opção eficaz, permitindo a redução de custos relacionados à: coleta de dados no local; emprego de mão de obra qualificado; aquisição/manutenção de equipamentos dispendiosos e análises laboratoriais.

Gráfico 5 - Coeficientes de correção de Descarga de sedimentos sólidos de acordo com a vazão, para o Rio Amambai - MS



Fonte: Autor, 2023.

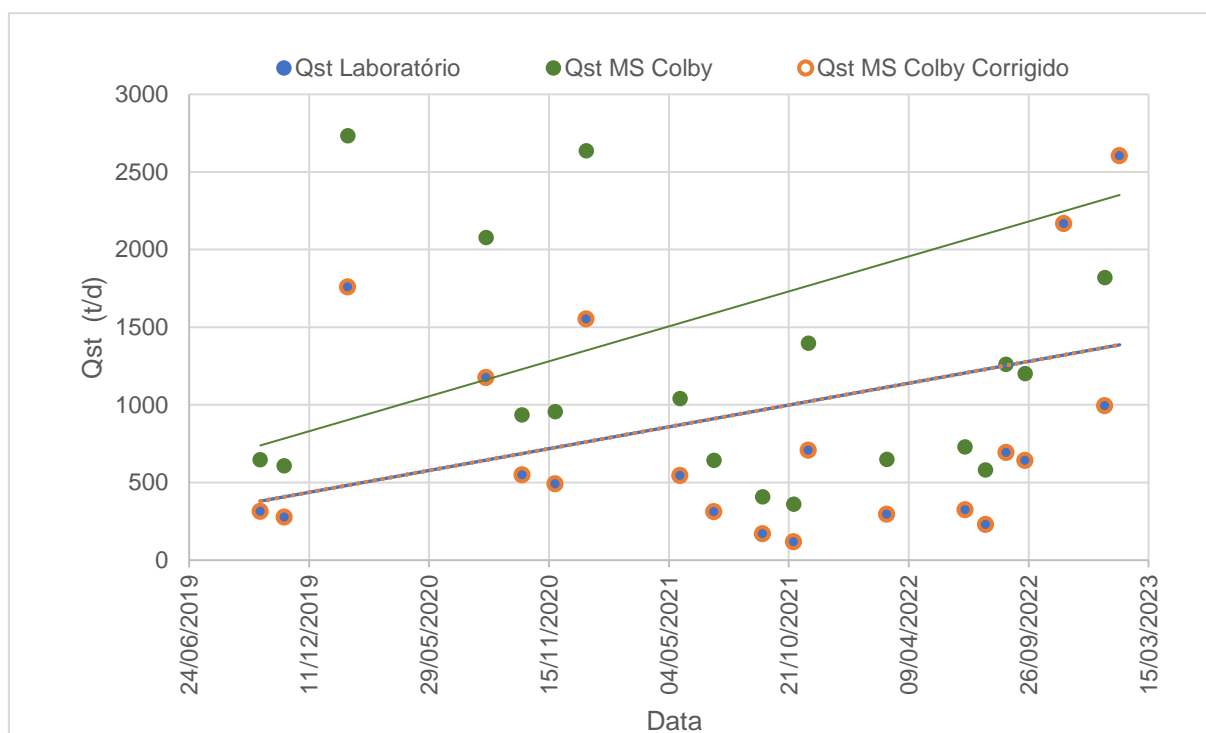
De forma a calibrar os resultados obtidos pelo Método Modificado de Colby (MSColby) no contexto do Rio Amambai - MS, desenvolveu-se o Gráfico 5 baseado

nos dados históricos sedimentológicos utilizados neste estudo. Esses coeficientes variam de acordo com as diferentes vazões apresentada. O eixo "X" é representado pelas vazões históricas observadas enquanto no eixo "Y" são apresentados os respectivos coeficientes de correção que devem ser multiplicados pelos valores obtidos para Descarga de Sólidos Totais obtidos pelo MSColby.

Estes coeficientes foram obtidos conforme a equação (31) pela divisão da Descarga de Sedimentos Sólidos empírica (Q_{stLab}) pela Descarga de Sedimentos Sólidos de Colby ($Q_{stColby}$), o que torna os valores de $Q_{stColby}$ mais próximos aos de Q_{stLab} .

A fim de apresentar a atuação dos coeficientes, no gráfico 6 são apresentadas as respectivas vazões para três casos: Descarga de Sólidos Totais empírica (Q_{st} Laboratório), Descarga de Sólidos Totais Pelo Método de Colby (Q_{st} MS Colby) e a Descarga de Sólidos Totais Pelo Método de Colby com a utilização dos coeficientes desenvolvidos.

Gráfico 6 - Descarga de Sedimentos Sólidos Totais de Colby com e sem correção



Fonte: Autor, 2023.

O Gráfico 5 dos coeficientes de correção engloba valores de vazão variando de 89,878 a 320,156 metros cúbicos por segundo, que correspondem à faixa de vazões registradas na série histórica analisada. Para vazões que se situam além

dessa faixa, os coeficientes de correção podem ser obtidos por meio da extrapolação da curva.

Em resumo, os resultados deste estudo sugerem que o Método Simplificado de Colby corrigido pode ser aplicado com sucesso para estimar o escoamento sedimentar total do rio Amambai. Essa escolha reduz o custo da coleta de dados de campo enquanto permite alta correlação com os resultados modificados do método Einstein. Porém, é importante ressaltar que cada fluxo pode apresentar características distintas e a escolha do método ideal deve ser criteriosa, levando em consideração as condições específicas de cada caso.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desempenhou uma análise entre dois métodos matemáticos, o Método de Einstein Modificado (MME) e o Método de Colby Simplificado (MSC), na estimativa do transporte total de sedimentos no Rio Amambay, situado no estado do Mato Grosso do Sul. O objetivo primordial foi discernir qual método melhor representava o comportamento analisado em campo do transporte de sedimentos nesse rio específico.

A análise exigiu a coleta e processamento criteriosos dos dados necessários para aplicação dos métodos. E por meio dos softwares *Formulas_Qsolida_corrigida.xls* e *Einstein.xls* de Anderson Braga, fornecidos em anexo ao Livro *Hidrossedimentologia Prática* (Carvalho, 2008), obtive-se os valores de descarga de sedimentos totais para o Método Simplificado de Colby e Método Simplificado de Einstein respectivamente.

Observou-se que os métodos analisados têm a tendência de extrapolar os valores de descarga de sólidos totais em comparação com dados históricos. Provavelmente, isso é atribuído às características específicas de cada ambiente em que esses métodos foram desenvolvidos, juntamente com os ajustes de imprecisões que os métodos consideram.

Ao confrontar os resultados dos métodos com os dados históricos, detectou-se uma discrepância notável, apesar da presença de uma correlação significativa entre eles. Essa divergência culminou em uma necessidade de se adotar um fator de ajuste para estabelecer uma melhor correspondência entre os mesmos. A correlação foi de 99,8% para o Método Simplificado de Colby (MSColby) e 89,9% para o Método Modificado de Einstein (MMEinstein), se comparado com os valores de Descarga Sólida Total medidos em Campo/Laboratório. Consequentemente, no contexto particular do Rio Amambai, o Método Modificado de Colby foi adotado devido à sua maior representatividade.

Considerando que o método Método Simplificado de Colby (MSColby) demonstrou-se representativo, bem com o Método Modificado de Einstein (MMEinstein), e que entre ambos apresentaram boas correlações, torna-se possível utilizar o método Método Simplificado de Colby (MSColby) por ser menos exigente em termos de entrada de dados, tornando mais simples e amigável a utilização.

Quanto ao Método Modificado de Einstein, apesar de considerar diversas variáveis de entrada, o que se esperava que gerasse uma melhor representação, suas contribuições para os resultados finais não se mostraram significativas. Portanto optou-se pelo Método Simplificado de Colby junto ao gráfico de coeficientes de correção desenvolvido como uma opção eficaz, permitindo a redução de custos associados à coleta de dados de campo, mão de obra especializada, aquisição e manutenção de equipamentos, além de análises laboratoriais.

Este estudo amplia a compreensão do comportamento do transporte de sedimentos no Rio Amambai - MS e destaca o Método Simplificado de Colby, com a aplicação de coeficientes de correção, como alternativa viável para estimar o transporte de sólidos totais nessa bacia hidrográfica. O estudo também fomenta a utilização de métodos empíricos validados quando aplicáveis, sustentando sua viabilidade para o monitoramento de recursos hídricos, além de oferecer uma base para pesquisas futuras e aprimoramento dos métodos hidrossedimentares.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. F., MATINC, C., MENDES, A. B., KONRAD, O.. Efeitos do uso de frequência de ultrassom na dispersão de sedimentos agregados. **Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais**, v. 8, n 3, p. 97-111. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/spc2179-6858.2017.003.0010>.
- AUGUSTO, F. G.; DANELON, A. F.; SPOLADOR, H. F. S.. Water resource quality effects on water treatment costs: An analysis for the Brazilian case. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 188, 2021. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800921001920>. Acesso em: 29 set. 2023;
- BELLÓ, Sergio Luiz. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA OCUPAÇÃO URBANA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS HIDROSEDIMENTOMÉTRICAS DE UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA DE ENCOSTA. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, [s. l.], 2004.
- BRAGA, C. de C.; CABRAL, J. B. P.; LOPES, S. M. F.; BATISTA, D. F. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Reservatório da UHE CAÇU - Goiás. **Ciência e Natureza**, [S. l.], v. 39, p. 81–98, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/0.5902/2179460X26978>>. Acesso em: 2 out. 2023.
- BRAGA, E. de A. S. et al. Classification of groundwater based on estimated total dissolved solids. **Águas Subterrâneas**, [s. l.], v. 35, n. 2, 2021. Disponível em: ><https://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30051>>. Acesso em: 01 out. 2023;
- BRITO, R.N.R. de et al. Características sedimentares fluviais associadas ao grau de reservação da mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense. **Acta Amazonica**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 173–180, 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100017>>. Acesso em: 1 out. 2023;
- BUSSI, G. et al. Impact of dams and climate change on suspended sediment flux to the Mekong delta. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 755, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142468>>. Acesso em: 20 maio 2023;
- CARVALHO, N.O.. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2008, 599 p.;
- CASTRO, Jhon Linyk Silva et al. Mata ciliar: Importância e funcionamento. **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2017.
- CHAGAS, D.S.. **Relação entre concentração de sólidos suspensos e turbidez da água medida com sensor de retroespalhamento óptico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). 2015. p. 78. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015;
- CHAKRAPANI, G.J.. **Factors controlling variations in river sediment loads**. Current Science, [s. l.], v. 88, n. 4, p. 569–575, 2005. Disponível em: < <http://large.stanford.edu/publications/coal/references/docs/569.pdf>>. Acesso em: 02

out. 2023;

PURKIS, S., RIEGL, B.. Coral Reefs of the Gulf: Adaptation to Climatic Extremes in the World's Hottest Sea. **Springer-Verlag**. Berlin: Springer Nature, 2012,279 p.. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/978-94-007-3008-3_1>. Acesso em : 02 out. 2023;

CUNHA, C.M.L., SOUZA, R.C. Aplicação do Método de Colby e Hembree na Estimativa do Transporte de Sedimentos em um Rio da Região Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 2, p. 123-136. 2010.

DEAN, D. J. et al. Sediment supply versus local hydraulic control on sediment transport and storage in a river with large sediment loads. **Journal of Geophysical Research : Earth Surface**, [s. l.], v. 121, p. 82–110, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/2015JF003436>>. Acesso em: 29 set. 2023;

DEMATTE, J., DEMETRIO, V.. Fotointerpretação de padrões de drenagem de bacias hidrográficas na caracterização de solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas no estado do paraná. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 3, p. 569-577, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-90161995000300026>>. Acesso em: 29 set 2023;

DETHIER, E. N.; RENSHAW, C. E.; MAGILLIGAN, F. J. Rapid changes to global river suspended sediment flux by humans. **Science**, v. 376, n. 6600, p. 1447-1452, 2022. Disponível em: < <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1141187> >. Acesso em: 02 out 2023;

FARACO, R., PIRES, M., ROCHA, A., PRADO, M. (2008). Macrolactamas bioativas e síntese de macrociclos por reação de carbocicliza  o radicalar mediada por hidreto de tri-n-butilest nio. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1499-1513. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0100-40422008000600041>>. Acesso em: 02 out 2023;

FERREIRA,  . O.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, A. P.. Gestão De Recursos Hídricos: Estudo De Caso : Represamento Do Ribeirão São. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 4., 2012, Pernambuco. **Anais: SIMGEO**;

BORGES, A., FICK, C., MANICA, R. (2017). Sedimentologia e estratigrafia de um depósito deltaico gerado por modelagem física empregando amostragem tipo testemunho. **Pesquisas Em Geociências**, v. 44, n. 1, 79-91. Disponível em: <<https://doi.org/10.22456/1807-9806.78253>>. Acesso em: 02 out 2023;

GUERRA, R. A. T.; et al. **Fundamentos em Geologia**. 1. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2011. v. 1;

GRISON, F.; KOBAYAMA, M. TEORIA E APLICAÇÃO DA GEOMETRIA HIDRÁULICA: REVISÃO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 12, n. 2, 2011. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/232>>. Acesso em: 28 set. 2023;

LEE, H.J., JUN K.W., KIM S.D., TAK W.J.; Using Drone and LiDAR to Assess Coastal Erosion and Shoreline Change due to the Construction of Coastal Structures.

Journal of Coastal Research, [s.l.], v. 95, p. 674–678, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.2112/SI95-131.1>>. Acesso em: 01 out. 2023;

LI, et al. Global trends in water and sediment fluxes of the world's large rivers. **Science Bulletin**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 62–69, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.09.012>>. Acesso em: 01 out. 2023;

LOPES, M. A. G.. **Reconstituição da ruptura da barragem das minas da Fonte Santa: Análise da propagação da onda de cheia no vale a jusante**. 2012. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012;

MIKE, R. Leeder. **Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics**. 2. ed. Nova Jersey: Editora Wiley-Blackwell. 2011. Disponível em: <<https://download.e-bookshelf.de/download/0000/5998/10/L-G-0000599810-0002364151.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2023;

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, n. 12, p. 1306–1313, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001200013>>. Acesso em: 28set. 2023;

MIRANDA, R. B. et al. **Ferramenta computacional para a estimativa da Descarga Sólida Total por meio do Método Simplificado de Colby**. XI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, [s. l.], p. 1–12, 2014. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east.amazonaws.com/Sumarios/170/27154677e7530495529a82917ea786e6_6169a65ad503786344b11d6d224e3582.pdf>. Acesso em: 14 maio 2023;

PEIXOTO, R., ROSMAN, P., VINZON, S. A morphodynamic model for cohesive sediments transport. **RBRH**, v. 22, e. 57, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170066>>. Acesso em: 01 out. 2023;

CARVALHO, C., et al. Efeito do intemperismo natural e artificial acelerado nas propriedades físicas, mecânicas e colorimétricas de painéis OSB. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.14>>. Acesso em: 01 out. 2023;

PHILLIPS, J. Weathering instability and landscape evolution. **Geomorphology**, v. 67, n. 1-2, p. 255-272, 2005. Disponível em em: <<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.012>>. Acesso em: 01 out 2023;

POLETO, Cristiano. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014. 249 p.;

POSADA G., L.; NORDIN, JR., C. F. Descarga de sedimentos en ríos grandes. **Avances en Recursos Hidráulicos**, [S. l.], n. 02, p. 49–59, 1994. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/91927>>. Acesso em: 2 out. 2023;

SCHICK, J., BERTOL, I., COGO, N. P. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob

chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1906–1917, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600025>>. Acesso em: 01 out. 2023;

SINNAKAUDAN, S. K.; SULAIMAN, M. S.; TEOH, S. H. Total bed material load equation for high gradient rivers. **Journal of Hydro-Environment Research**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 243–251, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jher.2010.04.018>>. Acesso em: 01 out. 2023;

ALVAREZ, A., SZUPIANY, R., TRENTO, A. Transporte de sedimentos de fondo en el río salado (santa fe, argentina). **RBRH**, v. 10, n. 1, p. 79-88, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p79-88>>. Acesso em: 13 maio 2023;

COSTA, A., TELES, R.. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.14583/2318-7670.v02n02a02>>. Acesso em: 13 maio 2023;

TUCCI, C. E M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 944 p.;

de VASCONCELOS, B. R.; PARANHOS FILHO, A. C.; SMANIOTTO, C. R.. Análise da cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Amambaí-MS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 2009, Campo Grande. **Anais ABRHidro**;

VERCRUYSSSE, K.; GRABOWSKI, R. C.; RICKSON, R. J. Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 166, p. 38–52, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.016>>. Acesso em: 2 out 2023;

WALLING, D.E. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. **Journal of Soils and Sediments**, v. 13, n. 10, p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11368-013-0767-2>>. Acesso em: 01 out. 2023.