UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO-UNINOVE

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FABIO RICHARD FLAUSINO

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO EMERGÉTICA NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS – ANÁLISE EMERGÉTICA DE CÓRREGOS DO PROGRAMA CÓRREGO LIMPO EM SÃO PAULO

São Paulo

2023

Fabio Richard Flausino

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO EMERGÉTICA NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS – ANÁLISE EMERGÉTICA DE CÓRREGOS DO PROGRAMA CÓRREGO LIMPO EM SÃO PAULO

PROCEDURE FOR EMERGETIC EVALUATION IN THE DEPOLLUTION OF URBAN RIVERS - EMERGETIC ANALYSIS OF STREAMWAYS IN THE CÓRREGO LIMPO PROGRAM IN SÃO PAULO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor** em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe

Henriques Librantz

Co orientador: Prof. Dr. Geraldo

Cardoso de Oliveira Neto

São Paulo

2023

Flausino, Fabio Richard.
Procedimento para avaliação emergética na despoluição de rios urbanos – análise emergética de córregos do programa córrego limpo em São Paulo / Fabio Richard Flausino. 2023.
130 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2023.
Orientador (a): Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz.

1. Saneamento básico. 2. Serviços ecossistêmicos. 3. Emergia. 4. Transformidade.
I. Librantz, André Felipe Henriques. II. Título

CDU 658.5

UNINOVE
Universidade Nove de Julho

ATA DE DEFESA DA TESE

Ao vigésimo primeiro dia do mês de junho de dois mil e vinte e três, às 09h30, do programa de Pós-Graduação, desta Universidade, reuniu-se em sessão pública a Comissão Julgadora da tese de Doutorado de Fábio Richard Flausino sob o título "PROCEDIMENTO PARA A AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS – ESTUDO DE UM CÓRREGO EM SÃO PAULO COM DADOS DO PROGRAMA "CÓRREGO LIMPO".

Integraram a comissão os professores: Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz (UNINOVE), o Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (FEI), a Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo (UNINOVE), a Profa. Dra. Ana Paula Branco Nascimento (USJT), o Prof. Dr. Fabio Ytoshi Shibao (UNG) e o Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto (UNINOVE) sob a presidência do primeiro, orientador da tese e em segundo o coorientador. A banca examinadora, tendo decidido aceitar a tese, passou à arguição pública do candidato. Encerrados os trabalhos, os examinadores deram parecer final sobre a tese.

	Parecer
Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz	APROVADO
Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto	APROVADO
Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo	APROVADO
Profa. Dra. Ana Paula Branco Nascimento	APROVADO
Prof. Dr. Fabio Ytoshi Shibao	APROVADO
Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto	APROVADO

Parecer:
Aprovado, devendo realizar algumas correções solicitadas pela banca na versão final da tese.

Em conclusão, o candidato foi considerado APROVADO, no grau de Doutor em Engenharia de Produção. E, para constar, eu, Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, diretor do Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção, lavrei a presente ata que assino juntamente com os membros da banca examinadora.

São Paulo, 21 de junho de 2023.

Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz

Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo

Profa. Dra. Ana Paula Branco Nascimento

Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto

Prof. Dr. Fabio Ytoshi Shibao

Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz

Este trabalho é dedicado à minha família – Deyse, John e Ana Júlia que incansavelmente estão ao meu lado nessa jornada, com perseverança, amor e paciência, ao meu pai (in memoriam) que me ensinou que estudar sempre foi o caminho, e a minha mãe que sempre acreditou e viabilizou a minha história.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Nove de Julho pelo apoio ao desenvolvimento científico e a democratização do conhecimento.

À CAPES pelo fomento as bolsas de estudos que viabilizam estudos como este.

À Professora Dra. Rosângela Vanalle que foi a primeira orientadora durante a realização desta tese.

Ao Professor Dr. Geraldo Cardoso que contribui de maneira decisiva para que os resultados apresentados fossem gerados de forma científica e mesmo após desligamento da instituição, continuou contribuindo com o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. André Felipe Librantz que assumiu a orientação e contribui com a elaboração final desta tese,

Ao Professor Dr. Henrique Ortega que generosamente contribui com a elaboração desta tese, desde período anterior ao ingresso no programa.

Aos professores Dr. Fabio Shibao, Dra. Amarilis Gallardo, Dra. Ana Paula Nascimento, Dr. Luís Fernando que contribuíram fundamentalmente para o refinamento desta tese.

Á todos os professores e a secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção (PPGEP/UNINOVE) que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desta tese.

Ao amigo Edson Camilli incentivador do embrião deste trabalho e incentivador do programa córrego limpo.

Aos amigos Elias Matias, Anderson da Costa, Rodrigo Dutra, Tulza Cavalcanti, Marcos Macedo, Washington Luís que sempre apoiaram e acreditaram que esse trabalho seria possível.

À minha amiga Rosi Cavalcanti que sempre esteve ao meu lado em momentos difíceis e sempre acreditou que eu fosse capaz de alcançar esse título.

À minha mãe, dona Maria Helena que nunca duvidou da minha capacidade mesmo quando eu mesmo duvidei.

Ao meu pai, senhor Rubens (in memoriam), defensor incondicional da democracia e da necessidade de estudar, estudar e estudar.

À minha esposa Deyse que vivenciou cada segundo desta história e teve paciência, perseverança e amor para viabilizar a conclusão deste trabalho junto a mim.

Aos meus filhos, John e Ana, tudo aconteceu porque vocês existem e fazem parte da minha vida, que isso sirva não de lição, mas de apoio para que saibam que são capazes de realizar qualquer coisa nessa vida.

À casa de Vó Catarina que me mostrou um novo caminho, quando a escuridão tomava conta de minha vida. AXÉ!

“Você pode dizer que sou um sonhador
Mas eu não sou o único
Eu espero que algum dia você junte-se a nós
E o mundo viverá como um só.”

(JOHN ONO LENNON, 1971)

RESUMO

A utilização de indicadores emergéticos para avaliação de processos complexos como a despoluição de rios urbanos visa contribuir para melhor utilização e preservação de recursos, além da valoração dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pelo corpo de água. Diante deste contexto, realizou-se uma revisão bibliométrica e sistemática que identificou a ausência da utilização de indicadores emergéticos no processo de despoluição de rios urbanos. Com isso, o objetivo deste trabalho é propor um procedimento de avaliação emergética do processo de despoluição de rios urbanos que permita aos técnicos, acadêmicos e gestores de processos de revitalização de rios urbanos a melhoria no acompanhamento e nas tomadas de decisões diretamente relacionadas ao processo. Conclui-se que um procedimento de avaliação a partir da emergia contribui com a teoria no desenvolvimento de novas análises científicas aplicadas em processos de revitalização urbano e de preservação da natureza a partir da realização de um estudo de caso múltiplo. A aplicação deste procedimento de avaliação contribui com a sociedade na melhoria da disposição de recursos públicos e na efetiva manutenção dos rios urbanos que disponibilizam serviços ecossistêmicos a todas as partes interessadas (moradores, poder concedente e companhia de saneamento). Na prática, o estudo de caso múltiplo aplicado em cinco córregos que foram despoluídos na primeira etapa do programa córrego limpo apresenta a efetiva utilização dos indicadores emergéticos demonstrando a melhoria da sustentabilidade na região e apresentando contribuições para todos os stakeholders na eficiência da provisão de recursos e na qualidade do ambiente local. A utilização deste novo método de avaliação auxilia no acompanhamento do processo de despoluição desde o início, demonstrando a sustentabilidade do processo para adequação de recursos e manutenção do corpo de água a ser despoluído.

Palavras-chave: saneamento básico, serviços ecossistêmicos, emergia, transformidade.

ABSTRACT

The use of emergy indicators to evaluate complex processes such as the depollution of urban rivers aims to contribute to a better use and preservation of resources, in addition to valuing the ecosystem services provided by the body of water. Given this context, a bibliometric and systematic review was carried out that identified the absence of the use of emergy indicators in the process of depollution of urban rivers. Therefore, the objective of this work is to provide an emergy evaluation procedure for the depollution process of urban rivers that allows technicians, academics, and managers of urban river revitalization processes to improve monitoring and decision-making directly related to the process. It is concluded that an evaluation procedure based on emergy contributes with a theory in the development of new scientific analyzes applied in processes of urban revitalization and nature preservation based on the realization of a multiple case study. The application of this evaluation procedure contributes to society in improving the provision of public resources and in the effective maintenance of urban rivers that provide ecosystem services to all interested parties (residents, granting authority and sanitation company). In practice, the multiple case study applied in five streams that were depolluted in the first of the clean stream program shows the effectiveness of the use of emergy indicators demonstrating the improvement of sustainability in the region and contributing contributions to all those interested in the efficiency of the water supply stage. resources and the quality of the local environment. The use of this new assessment helps in monitoring the depollution process from the beginning, demonstrating the sustainability of the process to support resources and maintain the method of water body to be depolluted.

Keywords: basic sanitation, ecosystem services, emergy, transformity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Estrutura da Tese – Elaborado pelo autor 23
Figura 2 – Detalhe da estrutura da Tese – Elaborado pelo autor 23
Figura 3 - Número de publicações que utilizaram emergia por ano 25
Figura 4 - Número de artigos publicados pelos periódicos selecionados 26
Figura 5 - Publicações por metodologia utilizada 27
Figura 6 - Relação de estudos e temática do conhecimento 27
Figura 7 - Diagrama de um sistema genérico para despoluição de rio urbano. Fonte: Adaptada de Buenfil (2011). 34
Figura 8 - Tipo de publicação (fonte: o autor) 37
Figura 9 - Total de publicações por ano (Fonte: o autor). 38
Figura 10 - Origem das publicações (fonte: o autor). 38
Figura 12 - Análise do referencial identificado (fonte: o autor, adaptado de OLIVEIRA NETO, et.al., 2018). 39
Figura 13 - Modelo de revisão bibliométrica e sistemática (Adaptado de OLIVEIRA NETO, et. al., 2018). 40
Figura 16 - Diagrama sistêmico do fluxo de emergia na despoluição de rios urbanos (adaptado de Odum 2001) 51
Figura 17 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Charles de Gaulle (Fonte Sabesp 2011). 59
Figura 18 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Tenente Rocha (Fonte Sabesp 2011). 59
Figura 19 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego IPESP (Fonte Sabesp 2011). 60
Figura 20 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Ciclovia (Fonte Sabesp 2011) 60
Figura 21 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Elisa Maria (Fonte Sabesp 2011) 61
Figura 22 - Diagrama sistêmico do fluxo de emergia na despoluição de córregos urbanos. 62
Figura 23. Diagrama resumido dos fluxos de emergia em um ecossistema (Fonte: https://www.unicamp.br/fea/ortega/portoalegre/portoalegre.htm) 64
Figura 24 - Relação Energia e Emergia em uma cadeia produtiva – Fonte: Brown, Ulgiati, 1997 64
Figura 25 - Diagrama sistêmico dos fluxos e índices emergéticos – Fonte: Brown, Ulgiati, 1997 65

Figura 26 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Charles de Gaulle. 74
Figura 27 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Charles de Gaulle 75
Figura 28 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no córrego Charles de Gaulle 76
Figura 29 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Tenente Rocha. 80
Figura 30 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Tenente Rocha 81
Figura 31 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Tenente Rocha 81
Figura 32 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego IPESP 85
Figura 33 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego IPESP 85
Figura 34 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego IPESP 86
Figura 35 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Ciclovia 90
Figura 36 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Ciclovia 91
Figura 37 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Ciclovia 91
Figura 38 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Elisa Maria 95
Figura 39 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Elisa Maria 96
Figura 40 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Elisa Maria 96
Figura 41 – Conjunto de indicadores nos córregos estudados 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para revisão bibliométrica e sistemática 41
Tabela 2 - Indicadores emergéticos 51
Tabela 3 - SE, Indicadores e Fundamentação teórica (autor) – NA (Não analisado). 58
Tabela 4 - Etapas da análise emergética 62
Tabela 5 - Parâmetros emergéticos córrego Charles de Gaulle 72
Tabela 6 - Indicadores emergéticos do Córrego Charles de Gaulle 73
Tabela 7 - Serviços Ecossistêmicos no córrego Charles de Gaulle 74
Tabela 8 - Parâmetros emergéticos córrego Tenente Rocha 77
Tabela 9 - Indicadores emergéticos do Córrego Tenente Rocha 78
Tabela 10 - Serviços Ecossistêmicos no córrego Tenente Rocha 79
Tabela 11 - Parâmetros emergéticos córrego IPESP 82
Tabela 12 - Indicadores emergéticos do Córrego IPESP 83
Tabela 13 - Serviços Ecossistêmicos no córrego IPESP 84
Tabela 14 - Parâmetros emergéticos córrego Ciclovia 87
Tabela 15 - Indicadores emergéticos do Córrego Ciclovia 88
Tabela 16 - Serviços ecossistêmicos Córrego Ciclovia 89
Tabela 17 - Parâmetros emergéticos córrego Elisa Maria 92
Tabela 18 - Indicadores emergéticos do Córrego Elisa Maria 93
Tabela 19 - Serviços ecossistêmicos Córrego Elisa Maria 94
Tabela 20 - Conjunto de indicadores nos córregos avaliados 94

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO 11

1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO 11

1.2 – PROBLEMA DE PESQUISA 20

1.3 - OBJETIVO 21

1.4 – JUSTIFICATIVA 21

1.5 – ESTRUTURA DA TESE 22

2 – REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA 24

2.1 – REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA AVALIAÇÃO EMERGÉTICA NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 25

2.2 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EMERGÉTICA PARA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 28

2.3 – IMPACTO DOS INDICADORES EMERGÉTICOS NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 29

2.4 – INDICADOR DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 30

3 - METODOLOGIA 33

3.1 – CRITÉRIOS PARA REVISÃO SISTEMÁTICA 35

3.2 – REVISÃO SISTEMÁTICA PARA PROPOR O MODELO CONCEITUAL PARA AVALIAR A DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 44

3.3 – PROPOSTA DE MODELO TEÓRICO PARA APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO EMERGÉTICA NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 45

3.4 - FLUXOGRAMA PARA REALIZAÇÃO DO MODELO TEÓRICO 46

3.5 - MODELO TEÓRICO 47

3.6 – DIAGRAMA SISTÊMICO E FLUXO EMERGÉTICO NA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 51

3.7 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE, USANDO EMERGIA, DA DESPOLUIÇÃO DE RIOS URBANOS 53

4. OBJETOS DE ESTUDO E INDICADORES EMERGÉTICOS 54

4.1 – ÁREA DE ESTUDO..... 54

4.2- PROGRAMA CÓRREGO LIMPO (PCL)..... 54

4.2.1 - AÇÕES DO PCL PARA REVITALIZAÇÃO DOS RIOS..... 56

4.2.2 – PARÂMETRO DE CONTROLE DO PROGRAMA CÓRREGO LIMPO (PCL). 57

4.2.3 – INDICADORES NO PROGRAMA CÓRREGO LIMPO (PCL)..... 57

4.3 – CÓRREGOS ANALISADOS..... 58

4.3.1 – CÓRREGO CHARLES DE GAULLE..... 59

4.3.2 – CÓRREGO TENENTE ROCHA 59

4.3.3 – CÓRREGO IPESP..... 60

4.3.4 – CÓRREGO DA CICLOVIA (HORTO)..... 60

4.3.5 – CÓRREGO ELISA MARIA 61

4.4 – LEVANTAMENTO DE DADOS..... 61

4.4.1 - TABELA EMERGÉTICA 62

4.4.2 – HIERARQUIA EMERGÉTICA..... 64

4.4.3 - ÍNDICES EMERGÉTICOS..... 64

5- RESULTADOS 67

5.1 – CÁLCULOS EMERGÉTICOS PARA AVALIAÇÃO DE CÓRREGOS 67

5.2 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DO CÓRREGO CHARLES DE GAULLE 71

5.2.1 – AVALIAÇÃO DA EMERGIA E ANÁLISE DOS INVESTIMENTOS PARA DESPOLUIR O CÓRREGO CHARLES DE GAULLE 73

5.2.2 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS - CÓRREGO CHARLES DE GAULLE 73

5.2.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CÓRREGO CHARLES DE GAULLE 74

5.3 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DO CÓRREGO TENENTE ROCHA 76

5.3.1 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E ANÁLISE DOS INVESTIMENTOS-CÓRREGO TENENTE ROCHA 78

5.3.2 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NA DESPOLUIÇÃO DO CÓRREGO TENENTE ROCHA 79

5.3.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CÓRREGO TENENTE ROCHA 79

5.4 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DO CÓRREGO IPESP 82

5.4.1 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E DOS INVESTIMENTOS NA DESPOLUIÇÃO DO CÓRREGO IPESP 83

5.4.2 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS - DESPOLUIÇÃO CÓRREGO IPESP 84

5.4.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CÓRREGO IPESP 84

5.5 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DO CÓRREGO CICLOVIA (HORTO) 86

5.5.1 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E ANÁLISE DOS INVESTIMENTOS NA DESPOLUIÇÃO DO CÓRREGO CICLOVIA 88

5.5.2 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS - DESPOLUIÇÃO CÓRREGO CICLOVIA 89

5.5.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CÓRREGO CICLOVIA 89

5.6 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA DO CÓRREGO ELISA MARIA 92

5.6.1 – AVALIAÇÃO EMERGÉTICA E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS - CÓRREGO ELISA MARIA 94

5.6.2 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO CÓRREGO ELISA MARIA 94

5.7 – RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES NO CONJUNTO DE CÓRREGOS ESTUDADOS 97

6 – DISCUSSÕES 100

7 - CONCLUSÕES 104

8 - BIBLIOGRAFIA 107

APÊNDICE A 115

APÊNDICE B 118

APENDICE C 121

APENDICE D 124

APENDICE E 127

1 – INTRODUÇÃO

A proposição de indicadores emergéticos para melhoria no processo de despoluição de córregos urbanos, busca apresentar uma nova metodologia para análise de corpos de água localizados em grandes metrópoles a partir de dados levantados do Programa córrego limpo (PCL) na cidade de São Paulo. O PCL iniciou-se em 2007 e a partir deste período vem realizando ações de revitalizações para melhorar aspectos, sociais, ambientais e econômicos inseridos no contexto do programa.

Observa-se que desde seu início, o PCL utiliza como parâmetro de controle de suas ações, apenas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que avalia apenas a qualidade da água. Nesse contexto, a proposição de indicadores que possibilitem a análise integrada de todos os aspectos envolvidos no processo (custos com obras, manutenção e serviços ambientais) visa o aprimoramento dos serviços prestados, além dos aspectos visuais implícitos após a revitalização do corpo de água.

1.1 - Contextualização

A organização das nações unidas (ONU) definiu em 2015 dezessete objetivos para o crescimento sustentável (ODS), tendo como propósito a proteção dos recursos naturais para assegurar a paz e a prosperidade presente e futura, dentre os objetivos destacamos o ODS 6 – Água e Saneamento, que visa a universalização da disposição de água e saneamento para todas as pessoas no mundo. Ações para o desenvolvimento dessa ODS vêm sendo adotadas em países da Europa e os Estados Unidos desde os anos 1970, visando conter a deterioração da água nos rios urbanos e melhorando significativamente a qualidade da água.

Porém países em desenvolvimento como a China, Índia e Brasil que iniciaram uma rápida urbanização na década de 1980 tiveram um aumento da população urbana, que provocou adensamento nas grandes metrópoles, comprometeram os espaços naturais do meio ambiente e causaram degradação e poluição, principalmente em rios e córregos (XU, et.al, 2019; SILVA, BASTOS, 2012).

A falta de uma política social e ambiental e de um projeto urbanístico causou nas metrópoles dos países em desenvolvimento, problemas de saneamento básico, sobretudo no descarte de esgotos. Devido a isso, os corpos de água tornarem-se receptores de

descartes irregulares de esgoto sanitário e industrial, que foram determinantes para a degradação e poluição física e ambiental em rios urbanos (ZUFFO, 2016).

O déficit habitacional, aliado a ocupação de áreas de manancial e das beiras de córregos, acarretam inúmeros desafios ao saneamento em São Paulo, principalmente nos bairros pobres (BATTEMARCO, et.al, 2017).

A retirada dos esgotos in natura nos corpos d'água, se agrava com o adensamento urbano e falta de planejamento, pois as ocupações irregulares destinam seus esgotos para os córregos, sem tratamento prévio (CRUZ, et.al, 2019).

A coleta de resíduos e a destinação adequada das águas pluviais, possibilita que os rios urbanos não sejam destino de lixo e de descarte irregulares, a gestão adequada pode minimizar os impactos que chuvas torrenciais causam, como as enchentes. O dimensionamento correto de galerias, assim como a retirada de lançamentos irregulares de esgoto, permite que o rio só receba água proveniente das chuvas (COMETTI, et.al, 2020).

A retirada dos esgotos lançados em galerias de águas pluviais e em rios urbanos, é fundamental para processos de revitalização de rios urbanos. A falta de infraestrutura e planejamento, que ocasiona o lançamento dos esgotos em local inadequado, causando a poluição e inviabilidade do uso destas águas para fins humanos e até industriais (SCHRECONGOST, et.al., 2020).

Os esforços das autoridades, assim como a participação de todas as partes interessadas, para formular e aplicar a legislação, conscientizar a população e a efetiva integração com pesquisas direcionadas para o tema, devem viabilizar as abordagens e tomadas de decisão com intuito de solução das questões de descarte irregular de esgotos em córregos urbanos. (OKUMAH, YEBOAH, 2019).

A preservação, conservação e manutenção de recursos hídricos é um serviço ambiental que envolve diversos atores sociais (população, poder público, empresas de saneamento) na questão do crescimento sustentável (TRAVASSOS, SCHULT, 2013). Diversas atividades humanas e industriais estão diretamente relacionadas a gestão de recursos hídricos, logo, um processo de despoluição de córregos envolve diversos fatores, tais como a qualidade de vida e a preservação do meio ambiente.

O processo de despoluição de rios urbanos é uma tarefa de ação no meio ambiente que possui valor intrínseco para valoração, pois ao propor intervenções nos corpos d'água, todo o meio ambiente sofrerá impacto. A integração entre os envolvidos, faz parte de um complexo sistema de reurbanização e alteração de fatores que podem ser mensurados de acordo com a intervenção feita (SUN, et.al, 2016).

A despoluição de rios urbanos visa solucionar problemas causados pela ocupação irregular e falta de saneamento. Em alguns casos, não é ´possível resolver os problemas que levaram à degradação destes rios e serem canalizados (CARVALHO, 2011).

A avaliação e sentimentos das comunidades sobre os rios urbanos permite identificar as formas de participação da população, e a conscientização aumenta a limpeza no rio, perfazendo uma parceria informal com o poder concedente (ROSA, et.al., 2015).

O poder concedente pode organizar seus serviços para atender os cidadãos de forma economicamente viável, socialmente inclusiva e ambientalmente sustentável. A governança urbana pode criar modelos de gestão específicos para a cidade para orientar sua prestação de serviços (TIMEUS, et.al, 2020).

A adoção de políticas para desenvolver um maior equilíbrio entre humanidade e meio ambiente vem sendo aplicadas em questões públicas, desde 1972, com intuito de promover um desenvolvimento sustentável (WANG, XU, 2017).

A diminuição dos custos e a necessidade de maior uso de recursos naturais, é uma das principais pautas da humanidade diante dos desafios que a sociedade apresenta para recuperação e preservação dos recursos naturais para as futuras gerações, essa demanda perfaz a inserção dos custos dos serviços ecossistêmicos na pauta global de mitigação dos efeitos ambientais, contribuindo com o bem-estar humano (COSTANZA, et.al, 1997).

A necessidade de reintegração dos rios a paisagem urbana, as questões hídricas e o envolvimento da população, trouxeram à pauta governamental a necessidade de ações para despoluição dos rios urbanos, fomentando ações de diversos atores sociais (poder concedente, imprensa, organizações não governamentais - ONGs) para criação de programas de despoluição no Brasil (MORSCH, et.al, 2016).

No Brasil, a coleta e tratamento de esgotos não consegue atender as necessidades da despoluição de rios urbanos diante de um crescimento urbano sem planejamento (MOTA, et.al, 2015).

Embora a Lei 11.445 de 20 de janeiro de 2007 possua definições concretas das metas sobre o saneamento básico, não houve um avanço significativo na universalização dos serviços de saneamento básico. Os dados do Plano Nacional do Saneamento Básico – PLANSAB de 2019 mostraram que pouco mais que a metade da população brasileira (54,8%) é atendida por serviços de coleta e tratamento de esgotos.

Dentre os inúmeros aspectos que envolvem o baixo nível na prestação dos serviços de saneamento básico no Brasil, destaca-se o impacto do lançamento de esgotos in natura em corpos de água. E não há discussões sobre os serviços ecossistêmicos nesse contexto (FLAUSINO, GALLARDO, 2021).

A despoluição de rios urbanos está relacionada aos princípios da sustentabilidade, pois os benefícios econômicos, sociais e ecológicos da revitalização atendem o modelo triple bottom line (TBL), e mostra-se interessante a aplicação de indicadores compostos que correlacionem a água, o meio ambiente e a energia (KILKIS, 2016).

A análise de processos ambientais avalia a produção de recursos e externalidades, significando assim que a energia utilizada pelo sistema ressurge irrevogavelmente após a produção sob a forma de bens e serviços e formas degradadas, como a poluição. E há necessidade de incorporar as interdependências biofísicas na determinação de indicadores de sustentabilidade (GONÇALVES, GONÇALVES, 2018).

A necessidade de ampliação dos indicadores em processos de despoluição de rios urbanos compreende diversos papéis e impactos que esses rios possuem na vida das pessoas e deve ir além da formulação dos indicadores hidrológicos tangíveis que utilizam variáveis físicas e químicas da qualidade da água (PROCOPIUCK, et.al, 2020).

Os parâmetros a serem usados devem quantificar e qualificar as interações entre o rio e os sistemas naturais adjacentes, para a governança multinível, permitindo as partes interessadas e aos tomadores de decisão, avaliar as estratégias mais viáveis (PARTELOW, et.al., 2020).

Os serviços ecossistêmicos (SE) foram classificados pelo MEA (AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005), como os serviços fornecidos diretamente (água, solo, florestas) e indiretamente (recreação, apreciação estética, bem-estar espiritual) a sociedade, proporcionando contribuições da natureza para a sociedade e sendo fundamentais para a manutenção da vida.

Os SE estão associados a ações para conservação de áreas urbanas e adequada prestação dos serviços de saneamento básico, e estão vinculadas as categorias de provisão (água limpa), regulação (enchentes), cultural (parques lineares) e suporte (controle de erosões) (HICKS, et.al., 2015).

A integração dos SE a despoluição de rios urbanos engloba a relevância do serviço de saneamento prestado, assim como a conscientização da população sobre sua importância (FONSECA, et.al., 2014). A identificação dos SE nos processos de despoluição contribui com a avaliação da prestação de serviços em locais urbanos diretamente relacionadas ao meio ambiente (PRESTON e HEARNE, 2017).

O entendimento da sociedade das contribuições que as áreas verdes e preservadas proporcionam a população, assim como a necessidade de um crescimento sustentável integram a abordagem do problema da despoluição dos rios urbanos, essa abordagem possui como premissa o fomento de discussões, fóruns e ações que contribuam com a sustentabilidade global, partindo de iniciativas governamentais e não governamentais (GAUDURETO, et.al., 2018).

A abordagem dos serviços ecossistêmicos foi utilizada em Seul na Coréia do Sul, onde a despoluição do córrego Cheong Gye Cheon permitiu a reintegração da população a região, a qual ganhou infraestrutura para atividades de lazer e socialização, oferecendo locais para descanso e realização de eventos, alterando a relação dos moradores com a região (DUMAS, et.al., 2012).

A introdução da abordagem de SE, assim como o envolvimento de atores sociais (políticos, empresários e cidadãos), faz parte de um modelo que visa a preservação e integração de toda sociedade ao meio ambiente para viabilizar programas para despoluição de rios urbanos (WEYLAND, et.al., 2019).

O avanço dos centros urbanos sobre a natureza sem o devido cuidado ambiental, social e urbanístico degrada os recursos naturais e diminui os SE em rios e córregos. Há um aumento da frequência e intensidade da poluição em corpos de água urbanos (SURYA, et.al., 2020). E é cada vez mais importante identificar e avaliar os fatores determinantes que causam mudanças nos corpos hídricos a partir de indicadores que possam evidenciar os impactos e resultados de ações para melhoria da sustentabilidade em processos de recuperação. (LV, et.al., 2018; LIU, et.al., 2019).

Os ecossistemas fornecem recursos e serviços aos seres vivos, de forma direta (comida, água, combustível) e indireta (formação de solo, regulação de inundações etc.). A inclusão deles na avaliação ajuda a conservar os ecossistemas, demonstrando benefícios e justificando a restauração (EVERARD, MOGGRIDGE, 2011).

O conceito de cidade sustentável depende da revitalização de rios urbanos, pela constatação de que a modificação, perda de habitat e fragmentação da paisagem vêm sendo causada pelo desenvolvimento de uma infraestrutura que privilegia o adensamento urbano e as grandes obras que são ameaças significativas ao ecossistema urbano e a sustentabilidade, além de poluir os corpos de água (LI, et.al., 2017).

Na avaliação de ações socioambientais observa-se que os indicadores convencionais não conseguem incorporar os critérios de análise de ciclo de vida pois seus indicadores de custo-benefício não conseguem valorar os feedbacks e a qualidade dos recursos. (SANTAGATAA, et.al., 2020).

Dentre os estudos de indicadores para avaliações de corpos de água, foram selecionados alguns estudos que apresentam aplicações pontuais, sem demonstrar todos os aspectos inseridos em um processo de despoluição de rio. Entre eles podemos citar:

Análise de entrada e saída (IOA)

- Environmental efficiency analysis of the Yangtze River Economic Zone using super efficiency data envelopment analysis (SEDEA) and tobit models (CHEN, et.al., 2017).
- Health assessment for urban rivers based on the pressure, state and response framework—A case study of the Shiwuli River (ZHAO, et.al., 2019).
- Gray water and environmental externalities: International patterns of water pollution through a structural decomposition analysis (INCERA, et.al, 2017).

Avaliação do ciclo de vida (LCA)

- In search of key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China (CHEN, et.al., 2019).
- Optimizing the integration of pollution control and water transfer for contaminated river remediation considering life-cycle concept (ZHANG, et. al., 2019); Are stormwater pollution impacts significant in life cycle assessment?

- A new methodology for quantifying embedded urban stormwater impacts (PHILLIPS, et.al., 2018).

Pegada ecológica (EF)

- Ecosystem service valuation method through grey water footprint in partially monitored subtropical watersheds (TAFFARELLO, et. al., 2020).
- Assessment of the water resource carrying capacity based on the ecological footprint: a case study in Zhangjiakou City, North China (DAI, et.al., 2019).
- A comprehensive insight into water pollution and driving forces in Western China case study of Qinghai (FAN & FANG, 2020).

Pegada de carbono (CF)

- Relationships between ecosystem services and human well-being changes based on carbon flow — A case study of the Manas River Basin, Xinjiang, China (XU, et.al., 2019).
- Particulate matter-attributable mortality and relationships with carbon dioxide in 250 urban areas worldwide (ANENBERG, et. al., 2019).

Análise custo-benefício (ACB)

- Impact of Land Use/Cover Change on Yangtze River Delta Urban Agglomeration Ecosystem Services Value: Temporal-Spatial Patterns and Cold/Hot Spots Ecosystem Services Value Change Brought by Urbanization (LI, et.al., 2019).
- Cost–benefit analysis of full and partial river restoration: the Kishon River in Israel (BECKER, et.al., 2018).
- How much is an urban stream worth? Using land senses and economic assessment of an urban stream restoration (YAACOVI, et.al., 2021).

A seleção de um indicador para avaliar os serviços ecossistêmicos de um processo de despoluição de córregos, está associada a necessidade de melhorar o processo, assim o uso de indicadores robustos determina a credibilidade e a capacidade de aprimorar a prestação destes serviços (COCHRAN, et.al., 2020).

O indicador deve medir as entradas (custos e trabalho) e as saídas (benefícios do recurso revitalizado) para avaliar o sistema e negar, aprovar e ampliar investimentos e novas intervenções, na busca de modelos mais sustentáveis (GIRARD, NOCCA, 2019).

A diversidade de parâmetros (ambientais, econômicos, técnicos e sociais) dos processos de despoluição de rios urbanos exige rigor na escolha de indicadores de sustentabilidade, sendo que a análise emergética reflete tanto a contribuição do sistema econômico como a do meio ambiente (BROWN & ULGIATI, 2002). A emergia pode ser definida como a energia disponível usada anteriormente, direta ou indiretamente, para produzir um recurso (ODUM, 1996). Ela incorpora os conceitos de qualidade de energia no conceito de transformidade para avaliar sistemas complexos de forma integrada.

A metodologia emergética (ODUM e ODUM, 1981) possibilita visualizar o impacto de forças do ambiente (energia solar, chuvas) em sistemas menores (córregos). Todos os serviços ecossistêmicos são gerados pelas forças que atuam na biosfera (energia solar, calor geotérmico e potencial gravitacional), elas contribuem com trabalho útil ("emergia") a um sistema. A emergia total que permite sua provisão, e seu potencial é um recurso que é esgotado quando e consumido ou contaminado (VIGLIA, et.al., 2018).

Em um processo de despoluição de rios urbanos devem ser avaliadas todas as entradas e as saídas, entre estas últimas os serviços ecossistêmicos. A teoria emergética (ODUM, 1988) permite medir todos estes fluxos e utilizar seus valores para obter índices que permitem avaliar o processo de forma abrangente, sendo possível sua aplicação na revitalização de rios urbanos (BERRIOS, et.al., 2018).

A avaliação ambiental, em termos de emergia, permite contabilizar a taxa de uso de recursos naturais, a eficiência do processo, a capacidade de suporte do meio ambiente e a produção de resíduos, que determinam a sustentabilidade de um sistema. Os índices que surgem da análise emergética permitem considerar a capacidade dos serviços ecossistêmicos, aspectos ecológicos e econômicos contribuindo para o uso dos indicadores pelos tomadores de decisão (GIANNETTI, et.al., 2006).

A teoria emergética permite uma avaliação mais abrangente, convertendo as diferentes forças atuantes em uma unidade comum, que pode ser expressa em (sej) - joules equivalentes solares (LIU, et.al, 2019; SONG, et.al., 2019).

A utilização de emergia é considerada adequada para avaliação de sistemas híbridos, naturais e econômicos, para avaliar o grau de sustentabilidade em sistemas antrópicos, como bacias hidrográficas (ZHAN, et.al., 2018).

Diversos estudos usaram os indicadores emergéticos para avaliar questões hídricas, como a restauração de áreas pantanosas e hidrovias a partir de índices emergéticos, antes e depois a restauração (SUN, et.al, 2019; DI, et.al, 2019).

Outros estudos demonstram a evolução do ecossistema e o investimento que a natureza realiza a partir de cálculos das contribuições do ambiente e antrópicas na restauração ecológica em bacias hidrográficas (SUN, et.al., 2021; ZHONG, et.al., 2018).

A avaliação emergética e a qualidade da água foi utilizada como referência para medir o desenvolvimento econômico e a contribuição da emergia inserida no processo de restauração de bacias hidrográficas nos estudos de ZHANG, et.al., 2017 e LV, et.al, 2018.

Outras pesquisas relacionam os indicadores emergéticos ao nível de desenvolvimento econômico regional, a taxa de urbanização e ao uso racional dos recursos em zonas úmidas e urbanas (ZENG, et.al., 2010; SU, et.al., 2013).

A análise das relações entre os recursos hídricos, a economia e o meio ambiente na promoção de sustentabilidade e manutenção da integridade e saúde do ecossistema foram estudadas por DI, et.al, 2019 e SONG, et.al, 2021.

Estudos demonstraram que a utilização da emergia contribui para eficácia na avaliação do valor natural dos recursos em rios e no desenvolvimento sustentável urbano, a partir de uma gestão racional de recursos (CHEN, et.al, 2009; PULSELLI, et.al., 2011).

Observa-se na avaliação de ações socioambientais que os indicadores convencionais (biofísicos e econômicos) não se encaixam na avaliação do ciclo de vida, pois não captam suas especificidades, como os feedbacks e a qualidade dos recursos. (SANTAGATAA, et.al., 2020).

A redução na entrada de recursos adquiridos na economia e o aumento no uso de recursos naturais, que afetam diretamente os serviços ecossistêmicos em corpos de água foi demonstrada nos estudos de (ZHAN, et.al., 2018; SONG, et.al, 2019).

Outros estudos calcularam indicadores de emergia em corpos d'água, pântanos e florestas contribuindo para melhorar os serviços ecossistêmicos. O conceito de serviços ecossistêmicos demonstrou-se útil para facilitar a comunicação entre as partes interessadas e os formuladores de políticas (LIU, et.al., 2019; LV, et.al, 2020).

A avaliação emergética permite calcular o valor dos serviços ecossistêmicos em processos que melhoram florestas, pântanos, bacias hidrográficas, águas subterrâneas e áreas agrícolas. Ela oferece informações para apoiar a conservação de um ecossistema, formular planos de construção de sociedades mais sustentáveis e políticas de compensação ecológica. (WANG, et.al, 2019; LI, et.al., 2021).

A teoria do valor em emergia, que parte do conhecimento da conversão de energia potencial, permitiu avaliar os benefícios do uso dos recursos hídricos urbanos, aplicando esses métodos para avaliar esses benefícios em Zhengzhou, China. Ela forneceu ideias e métodos para avaliar esses benefícios (WU, et.al., 2020).

A pesquisa de WU, et.al (2018) sobre o rio Qingyi na cidade Xinzheng na China, permitiu avaliar com indicadores emergéticos a diluição de poluentes como forma de avaliar as perdas ambientais e a compensação da poluição da água mediante diluição, obtendo valores de forma quantitativa e precisa.

A avaliação dos benefícios ecossistêmicos em rios urbanos com base na teoria emergética permite mensurar os benefícios que os recursos naturais disponibilizam a sociedade. A contabilidade emergética está diretamente relacionada a quantidade e a qualidade da energia inserida em todo fluxo do processo (WU, et.al., 2019).

Observa-se que o método de avaliação de emergia (EME) é uma ferramenta eficaz para analisar a sustentabilidade de um sistema porque o método integra as contribuições econômicas e ambientais (HE, et.al., 2020).

1.2 – Problema de pesquisa

Este estudo faz uso da metodologia da emergia e dos índices usados em casos similares: pântanos (LIU, et.al., 2019), bacias hidrográficas e florestas (ZHAN, et.al., 2018; LIU, et.al., 2019), e revitalização de rios urbanos (LV, et.al., 2018), não foi identificado trabalhos que utilizassem a avaliação emergética e seus indicadores para melhorar a sustentabilidade do processo de recuperação de córregos e rios urbanos.

Com base nessa lacuna de pesquisa buscar-se-á responder a seguinte pergunta de pesquisa - “**Como propor um procedimento de avaliação emergética para o processo de despoluição de rios urbanos?”.**

A contribuição teórica deste estudo é o desenvolvimento de novas análises científicas aplicadas em processos de revitalização urbano e de preservação da natureza,

apresentado novos indicadores de sustentabilidade. A utilização de indicadores emergéticos por prestadores de serviços de saneamento e/ou pelo poder concedente, propõe a sustentabilidade de processos de reurbanização, além da otimização na destinação de recursos.

A aplicação dos indicadores emergéticos pode melhorar percepção e valorização dos serviços ecossistêmicos e a atuação das populações urbanas nos processos da revitalização dos rios urbanos. A análise bibliográfica, bibliométrica e sistemática sobre indicadores emergéticos de casos similares, indica que podem ser usados no planejamento da despoluição de um córrego urbano (LIU, et.al., 2019).

A tese está estruturada da seguinte forma: Materiais e Métodos, Resultados, Proposta de aplicação, Estudo de Caso, Discussão e Conclusão.

1.3 - Objetivo

Propor um procedimento a partir de indicadores emergéticos para avaliação do processo de despoluição de rios urbanos, aplicando o procedimento em córregos do Programa Córrego Limpo (PCL) a partir de um estudo de caso múltiplo. Os objetivos específicos são:

a) Adaptar o conceito metodológico de emergia para monitoramento da qualidade no processo de despoluição de córregos urbanos;

b) Desenvolver um procedimento para aplicação da teoria Emergética em intervenções de córregos urbanos;

c) Aplicar o procedimento de avaliação emergética em bacias hidrográficas atendidas pelo Programa Córrego Limpo (PCL) na cidade de São Paulo, considerando como base teórica os cenários publicados pelo programa;

d) Apresentar as contribuições da avaliação emergética na despoluição de córregos atendidos pelo programa Córrego Limpo;

1.4 – Justificativa

A falta de planejamento, o agravamento da escassez hídrica e o adensamento urbano constituem a tríade que determina a necessidade de se buscar água em mananciais

distantes da área urbana, deste modo, a disponibilização de água potável é comprometida. Por outro lado, o descarte dos esgotos não é realizado em local adequado, causando a poluição dos rios urbanos e assim, fechando um ciclo que se opõe a um desenvolvimento de uma sociedade sustentável (MA, et.al.,2020).

As mudanças observadas nos processos urbanos, nos aspectos físicos, ambientais e sociais, devido a interação humana, motivam estudos usando a abordagem de sistemas complexos. As mudanças socioespaciais e morfológicas, a modulação ambiental e surgimento de novas estruturas políticas, exigem uma avaliação interdisciplinar (SENGUPTA, 2017).

A aplicação de programas como o PCL que possuem uma abordagem de integração entre sociedade, meio ambiente e poder concedente indica a necessidade de avaliação dos resultados a partir de indicadores que possibilitem a demonstração dos resultados alcançados (FLAUSINO, GALLARDO, 2021).

Dentre os indicadores para avaliação de sustentabilidade em intervenções realizadas em ambientes urbanos, observa-se a necessidade de utilização de parâmetros que integrem as ações para uma análise mais abrangente, sendo a Emergia uma análise que permite a análise dos aspectos inseridos em questões hídricas (PULSELLI, et. al., 2011)

A análise emergética é capaz de avaliar na mesma unidade recursos diferentes e a energia produzida que é acessível a todo sistema (MERLIN, BOILEAU, 2017). O método emergético permite avaliar o impacto das ações humanas e os recursos necessários para a recuperação (ODUM, 1996).

1.5 – Estrutura da Tese

Para atender os objetivos visados, o trabalho foi estruturado em cinco capítulos:

Capítulo 1 – Introdução e Justificativa.

Capítulo 2 – Revisão Bibliométrica sobre o estado da arte dos temas sob estudo, identificando as lacunas de pesquisa no tema proposto.

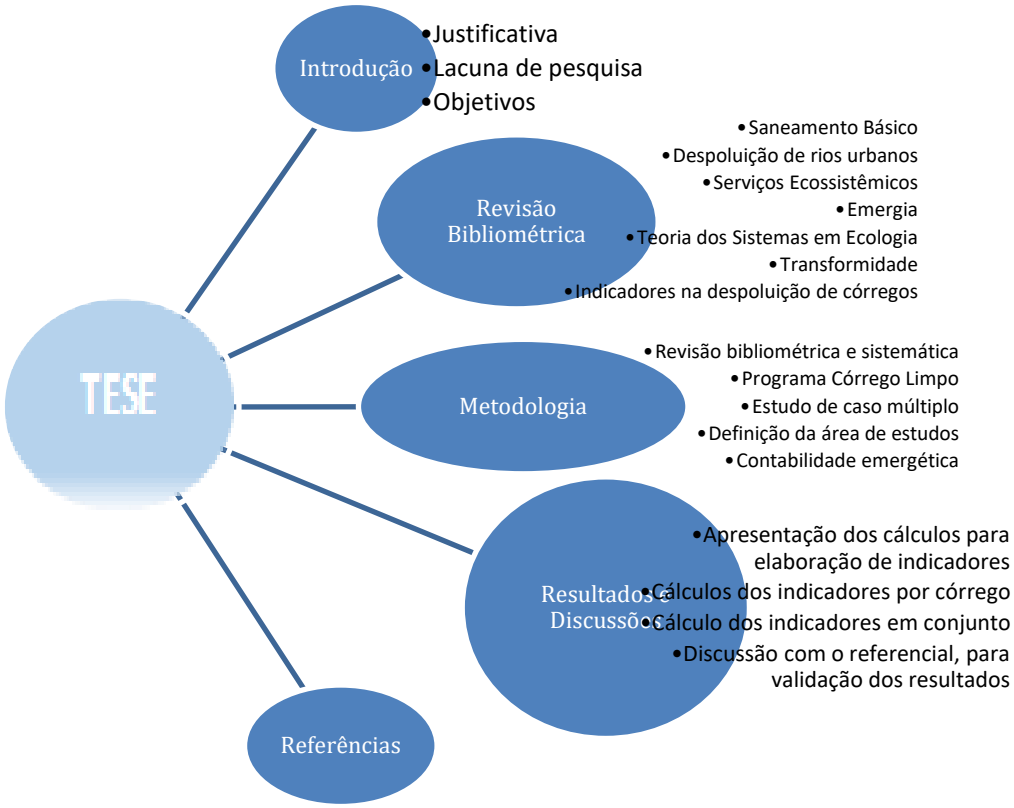
Capítulo 3 – Método de Pesquisa proposto de acordo aos objetivos do trabalho.

Capítulo 4 – Apresentação dos resultados obtidos e as discussões sobre os cálculos realizados e a sua relevância para o processo estudado.

Capítulo 5 – Apresentação do referencial teórico utilizado.

Figura 1– Estrutura da Tese – Elaborado pelo autor

Figura 2 – Detalhe da estrutura da Tese – Elaborado pelo autor



2 – REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

O levantamento bibliométrico realizado identificou que a maioria dos artigos possuem relação com emergia e serviços ecossistêmicos, porém sem citar diretamente intervenção em rios urbanos nem aferir indicadores na despoluição ou revitalização de rios urbanos. Foram identificados 40 artigos em que a avaliação emergética foi utilizada para desenvolver indicadores em processos de intervenção ambiental, portanto sendo relevantes para o desenvolvimento da teoria aplicada.

As publicações relacionadas com o assunto começaram em 1988, porém não se identificou a utilização de emergia em trabalhos sobre revitalização e/ou restauração de corpos hídricos, anteriores a 2010 conforme o estudo bibliométrico realizado por HE, et.al. (2020).

A análise de conteúdo dos 40 artigos selecionados identificou 19 artigos que apresentam correlação direta com o tema proposto, pois utilizaram a avaliação emergética em questões de revitalização de bacias hidrográficas, pântanos ou estão inseridos em questões hídricas. A revisão bibliométrica realizada determinou quantitativamente o desenvolvimento de um novo campo de conhecimento, demonstrando a relevância teórica e prática do estudo para o tema proposto, de acordo com o número de publicações por ano.

Além disso, avaliou-se o número de publicações por periódico para mensurar quais periódicos publicam o maior número de artigos sobre avaliação emergética, processos de revitalização e indicadores de sustentabilidade, concluindo que a análise do número de publicações por periódico é essencial para pesquisadores entenderem e posicionar seu trabalho em um jornal apropriado (COSTA, et.al. 2020).

Por fim, as metodologias de pesquisas utilizadas nos estudos selecionados durante a revisão sistemática foram analisadas para verificar a aplicação da avaliação emergética bem como sugerir a utilização deste método em pesquisas futuras, devido à pouca utilização em estudos atuais sobre rios urbanos e assuntos correlatos (OLIVEIRA NETO et al., 2018).

A análise de todos os 19 artigos selecionados pela revisão sistemática, identificou práticas similares a avaliação emergética para desenvolvimento de indicadores em serviços ecossistêmicos e questões hídricas respondendo as questões levantadas por esse

estudo, com o intuito de preencher a lacuna de pesquisa. A revisão sistemática realizada neste estudo a partir da bibliometria contribui com as análises de conteúdo, auxiliando na replicabilidade científica e na transparência dos resultados obtidos (OLIVEIRA NETO, et.al, 2018).

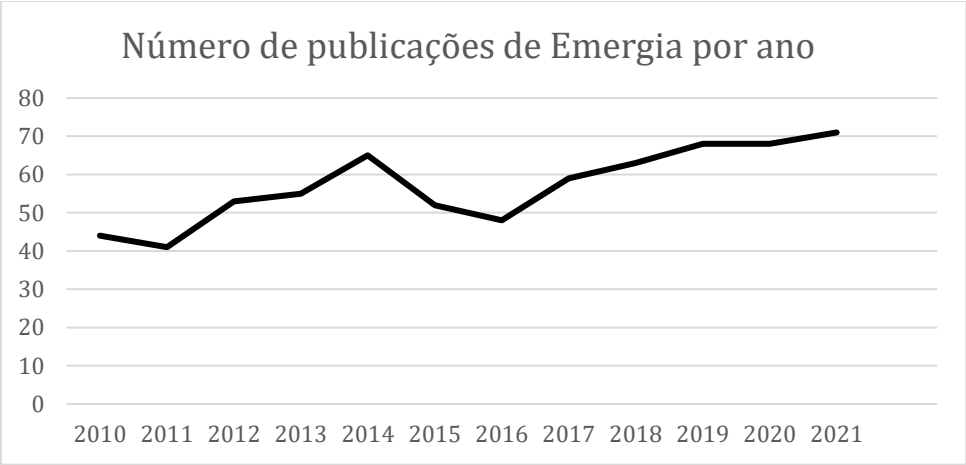
Assim sendo, a utilização da avaliação emergética em processos de despoluição de rios urbanos é proposta por esta pesquisa, a partir da realização de um modelo teórico para apreciação da viabilidade de introdução dos conceitos de emergia na despoluição de rios urbanos, adotando os indicadores propostos por ODUM (2001).

2.1 – Revisão bibliométrica da avaliação emergética na despoluição de rios urbanos

A Figura 3 apresenta o número de publicações a partir de 2010 no contexto deste artigo, demonstrando aumento ano a ano, com uma ligeira queda entre 2015 e 2016 e posterior aumento de publicações desde então. O recente aumento de publicações reforça a visão da necessidade de revitalização de corpos hídricos, assim como a busca pela sustentabilidade nas questões hidrológicas.

A necessidade de aplicação de indicadores que avaliem processos complexos (ex.: despoluição de rios em áreas urbanas) que impactam diretamente na restauração de recursos hídricos é demonstrada pelo aumento de pesquisas nessa área.

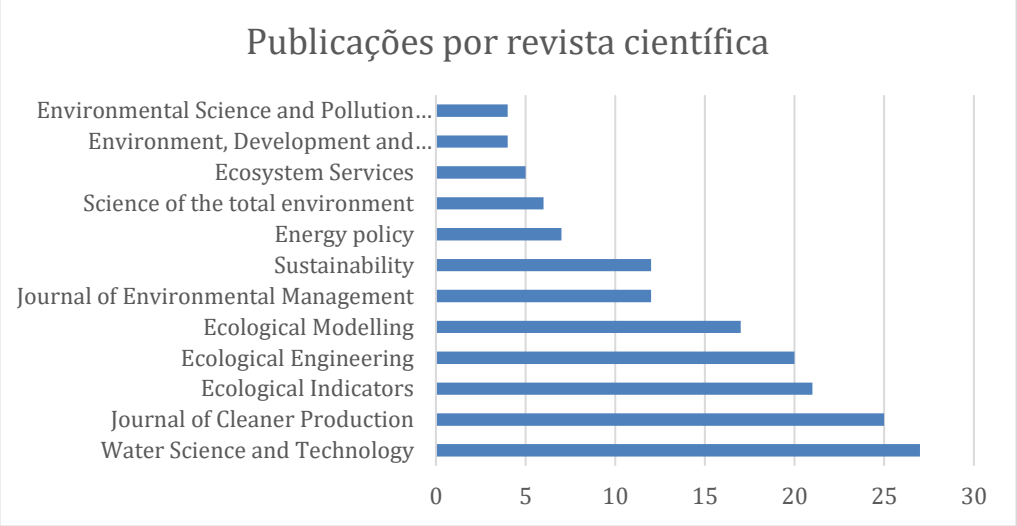
Figura 3 - Número de publicações que utilizaram emergia por ano



A Figura 4 apresenta que a revista Water Science and Technology publicou o maior número de pesquisas relacionadas a análises de bacias hidrográficas (27 artigos identificados na pesquisa bibliométrica) devido ao seu escopo diretamente conectado as principais questões de sustentabilidade em bacias hidrográficas. Outras publicações que também colaboraram com a publicação de 25 e 22 artigos respectivamente foram o

Journal of Cleaner Production e a Ecological Indicators. Os artigos estudados destas publicações, enfocam a utilização de indicadores emergéticos em ações de revitalização e de capacidade de desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas localizadas em locais onde houve crescimento industrial.

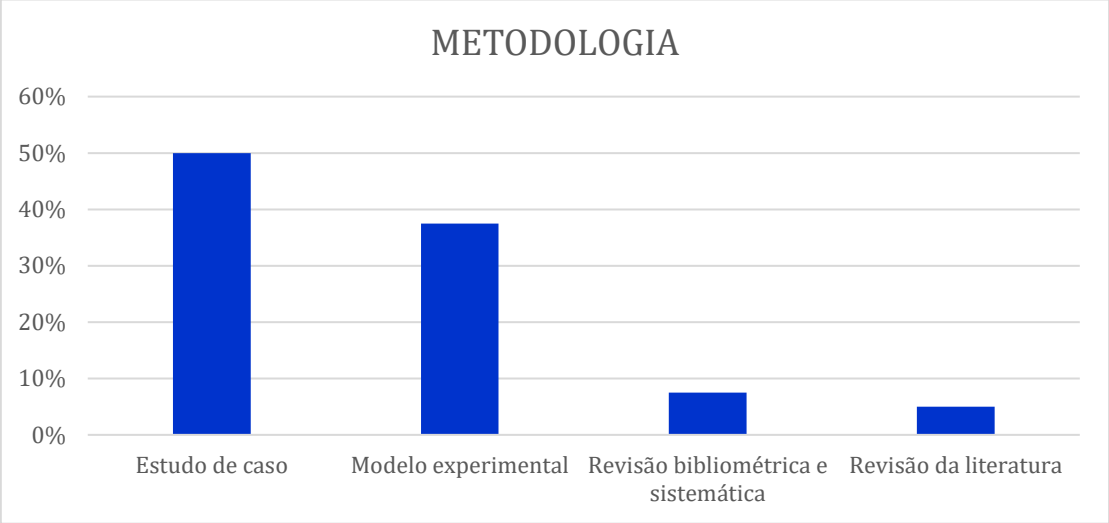
Figura 4 - Número de artigos publicados pelos periódicos selecionados



A figura 5 apresenta as metodologias utilizadas nos artigos que foram inseridos na revisão sistemática deste trabalho. A concepção do modelo teórico apresentado neste artigo utilizou estudos que aplicaram a metodologia de estudo de caso (50%) e modelo experimental (38%) em situações complexas (sistemas hidrológicos e urbanos) permitindo uma investigação significativa de eventos reais envolvendo a avaliação emergética.

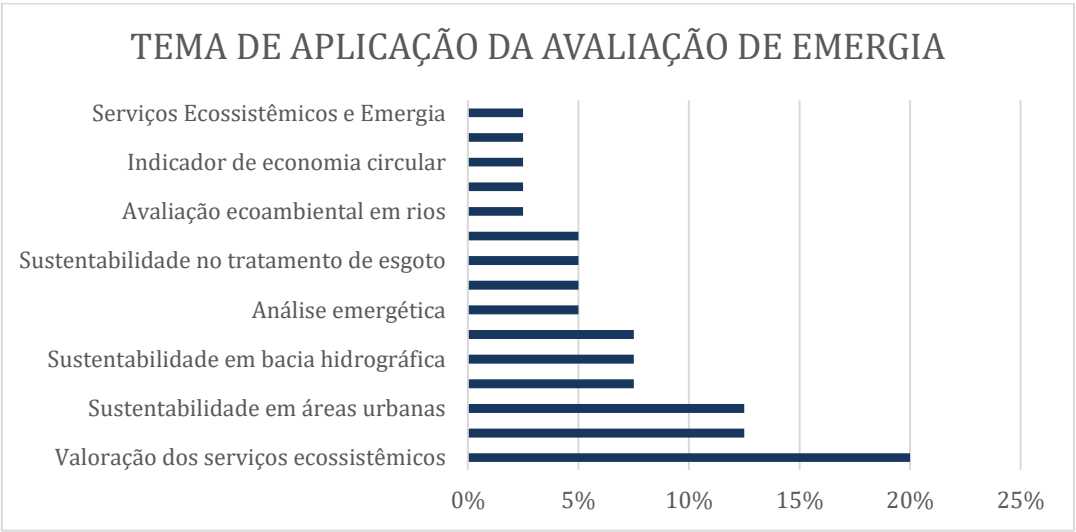
A utilização destas metodologias em 88% dos trabalhos demonstra que a aplicação da avaliação emergética têm sido aplicadas para validação da teoria em questões práticas, porém sem aferir resultados em processos urbanos de despoluição de córregos, sendo que indicadores de sustentabilidade emergéticos são utilizados para melhoria e desenvolvimento de regiões onde são necessárias disponibilização ou restauração dos serviços ecossistêmicos. desenvolvimento de regiões onde são necessárias disponibilização ou restauração dos serviços ecossistêmicos serviços ecossistêmicos.

Figura 5 - Publicações por metodologia utilizada



O maior número de estudos de avaliação emergética identificados associaram emergia com valoração de serviços ecossistêmicos (20%). A revisão sistemática identificou que a maioria dos estudos se referiam a questões relativas a água (figura 6).

Figura 6 - Relação de estudos e temática do conhecimento



As pesquisas que utilizaram a avaliação emergética estão relacionadas a aspectos da sustentabilidade em áreas úmidas (13%), áreas urbanas (13%), abastecimento de água (8%) e tratamento de esgotos (5%)) assim como, a necessidade de valoração dos recursos hídricos (8%), mencionando apenas uma das questões que este artigo visa responder, sem efetivamente observar revitalização de rios urbanos.

Esta descoberta é importante para apresentar a gestores e sociedade que a utilização de indicadores emergéticos pode contribuir para redução de custos e impactos

ambientais, apresentando o potencial da utilização desta avaliação no desenvolvimento de políticas públicas em ações como a despoluição de rios urbanos. A revisão bibliométrica e sistemática apresenta aspectos relevantes inseridos no contexto de revitalização hídrica a partir de análises emergéticas, porém não identificou diretamente procedimentos para aplicação de indicadores emergéticos em processos de despoluição de rios urbanos. Assim sendo, este trabalho apresenta um modelo para aplicação da teoria na despoluição de rios ou córregos urbanos.

2.2 – Aplicação da metodologia emergética para despoluição de rios urbanos

A utilização de análise emergética em despoluição de rios urbanos é um tema que ainda não possui publicações específicas conforme a pesquisa bibliométrica realizada identificou, no entanto pode-se aferir pesquisas em campos similares, como a revitalização de regiões pantanosas que agregaram melhorias e indicadores emergéticos para apreciação dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pelo ambiente pesquisado, assumindo que os indicadores, podem contribuir com a sustentabilidade do processo de revitalização do meio ambiente estudado (SONG, et.al., 2020)

Dentre os temas próximos a análise emergética da poluição de rios urbanos, encontramos um estudo sobre o oferecimento insuficiente de serviços de esgotos e a perda das funções ecológicas dos rios (LV, et.al., 2020).

A análise emergética de sistemas complexos é valiosa devido a sua capacidade de quantificar os bens e serviços ecossistêmicos para melhorar processos (PULSELLI, et.al., 2011)

A aplicação do método de avaliação emergética permite o aprimoramento de ações de revitalização em regiões pantanosas (SONG, et.al., 2020), assim como pode contribuir para melhorias ecológicas em sistemas urbanos (SUN, et.al., 2021) e para a recuperação de áreas úmidas, onde foi identificada deterioração do meio ambiente natural (SONG, et.al., 2019).

O levantamento da dados identificou que a análise emergética supera as limitações dos indicadores da sustentabilidade a-longo-prazo que utilizam unidades diferentes, viabilizando a comparação da eficiência e da contribuição ambiental entre vários sistemas de produção, dentre eles, sistemas de cultivo agrícola e sistemas industriais, avaliados para estudar as relações entre entradas e eficiência (ZENG, et.al., 2010; CHEN, et.al., 2009; SU, et.al., 2013).

O uso da análise emergética permite determinar a eficácia das ações efetivas que foram tomadas com intuito de melhorar os serviços ecossistêmicos em recursos hídricos, além de valorizar monetariamente esses recursos, e determinar indicadores que possam viabilizar a manutenção do processo de forma sustentável (ZHAN, et.al., 2018; WU, et.al., 2019; CHEN, et.al., 2009).

A análise emergética utilizada por SONG, et.al., (2021) obteve a imagem completa de uma bacia para fornecer informações valiosas sobre as realidades locais, que podem incidir em políticas mais adequadas para a gestão da bacia hidrográfica.

O estudo de PULSELLI, et.al., (2011) demonstrou que a análise emergética possui o potencial de identificar e comparar a contribuição de muitos insumos para um processo de produção, destacando custos variáveis envolvidos no processo (produtos químicos, eletricidade etc.) além de verificar o papel dos recursos ambientais e de apoio às atividades humanas.

Conforme ZHONG, et.al., (2018) as análises emergéticas de subsistemas ajudam na compreensão holística da etapa de evolução toda a bacia, e permitem fazer a avaliação dos investimentos a serem realizados nos ecossistemas perturbados pelo homem, sendo fundamental para estabelecer um conjunto de indicadores para que a sustentabilidade de todo o sistema pode ser avaliada.

2.3 – Impacto dos indicadores emergéticos na despoluição de rios urbanos

O uso de índices emergéticos na revitalização de áreas úmidas pode melhorar a produção de serviços ecossistêmicos, ao aferir e comparar a sustentabilidade do processo e do ecossistema (SUN, et.al., 2021).

As ações de revitalização de rios requerem indicadores que demonstrem sua eficácia e viabilidade para obter recursos e permitir a população verificar a melhoria serviços ecossistêmicos que o rio irá disponibilizar. A teoria emergética analisa os fluxos de energia, materiais e dinheiro do sistema que são convertidos em emergia usando as transformidades específicas e depois disso, calcular os indicadores de desempenho (LV, et.al., 2018; WU, et.al., 2019).

Muito embora, não tenham sido identificados nessa pesquisa indicadores diretamente relacionados a despoluição de rios ou córregos urbanos, a utilização da metodologia emergética em áreas úmidas e pântanos foi considerada para realização das análises sistemáticas, sendo identificado o indicador emergético que conforme (SUN,

et.al., 2021) demonstra as melhorias ecológicas na revitalização de áreas úmidas e acredita-se que a sua utilização em processos de revitalização de rios urbanos possa contribuir com a disponibilização de SE.

A pesquisa de SUN, et.al., (2019) apresenta indicadores ecológicos de emergia e eco-exergia para medir o nível de sustentabilidade e auto-organização na restauração ecológica do ecossistema, o que é importante na reconstrução do equilíbrio ecológico de áreas úmidas degradadas e reversão da degradação do ecossistema.

O uso dos indicadores emergéticos permite avaliar o valor dos recursos hídricos, fornecendo assim uma referência para o planejamento e gestão unificados de recursos hídricos (DI, et.al., 2019).

O conhecimento da variação dos indicadores emergéticos de um sistema permite acompanhar a relação entre investimento em infraestrutura e a recuperação do meio ambiente e avaliar a sustentabilidade do processo (avalia a qualidade e o volume dos fluxos de entrada, antes e após o processo), incluindo na avaliação os recursos financeiros usados (ZHONG, et.al, 2018).

A teoria emergética mostra-se viável em questões hídricas e hidrológicas, no entanto ainda não estudou os rios urbanos, a pesquisa neste campo poderá contribuir na despoluição dos rios urbanos para recuperar seus serviços ecossistêmicos.

2.4 – Indicador de serviços ecossistêmicos na despoluição de rios urbanos

A pesquisa da literatura revelou falta de estudos sobre indicadores para medir os serviços ecossistêmicos (SE) vinculados a despoluição de rios urbanos, porém ela indicou que diversos estudos apresentam variáveis que podem correlacionar os aspectos sociais, ambientais e econômicos vinculada aos SE gerados ao diminuir a poluição da água urbana (LV, et.al., 2020; ZHONG, et.al, 2018; PULSELLI, et.al., 2011; SUN, et.al.,2019).

A análise integrada dos fatores econômicos e ecológicos no ecossistema urbano com indicadores emergéticos específicos pretende caracterizar a estrutura e funções do sistema e promover a reflexão sobre suas propriedades, a partir dos indicadores emergéticos para avaliar a restauração feita ou proposta (ZENG, et.al., 2010; SU, et.al., 2013, SUN, et.al., 2019).

A construção de indicadores dos SE pela metodologia em emergia a partir de uma base de parâmetros ambientais e econômicos dos processos envolvidos na revitalização

pode permitir entender a relação custo/benefício de melhores hábitos e medir a riqueza inerente aos recursos hídricos (ZHONG, et.al., 2018; PULSELLI, et.al., 2011; CHEN, et.al., 2009).

O estudo de LV, et.al., (2020) identifica a correlação existente entre os indicadores de emergia e as questões sociais, ambientais e econômicas vinculadas aos SE disponibilizados, sendo que existe a possibilidade destes indicadores contribuírem para mitigação da poluição em recursos hídricos urbanos.

A pesquisa de ZHONG, et.al., (2018) propõe a elaboração do diagrama completo de uma bacia hidrográfica completa para que a análise emergética possa fornecer informações valiosas para os tomadores de decisão, para a construção de políticas mais adequadas de gestão da bacia.

O uso dos indicadores emergéticos em SE permite integrar os fatores econômicos e ecológicos do meio urbano, para refletir indiretamente sobre a saúde do ecossistema (SU, et.al., 2013) visando ações para despoluição de rios urbanos.

A análise emergética realizada por ZENG, et.al., (2010) indica que é possível superar as limitações de outras análises aos cálculos o valor dos recursos em uma unidade comum e comparar a eficiência e a contribuição ambiental dos vários sistemas de produção, e descobrir a conexão entre a eficiência sistêmica e os fluxos de recursos.

O estudo realizado por CHEN, et.al., (2009) realizou a análise emergética dos rios chineses para avaliar os recursos usados, pela ótica da economia e do desenvolvimento sustentável, considerando aspectos biofísicos, sociais, econômicos e demográficos, e abordou o tema da construção de uma visão dos SE e sua importância na conservação dos recursos hídricos.

Muito embora o estudo de LIU, et.al., (2019) não aborde diretamente a despoluição de rios urbanos, ele apresenta uma questão importante no que tange a recursos hídricos, pois análise emergética identificou um aumento na disponibilização de serviços ecossistêmicos e a necessidade da implantação de um modelo sustentável no uso dos recursos hídricos estudados, para manutenção destes SE.

No levantamento realizado verifica-se que não existem estudos sobre indicadores emergéticos aplicados ao estudo dos processos de despoluição de rios urbanos, identificando assim uma lacuna de pesquisa. Assim, cabe utilizar esta metodologia em casos diretamente relacionados à limpeza e urbanização de rios urbanos.

A partir das verificações realizadas, optou-se pela realização de um estudo de caso para apreciação da viabilidade de introdução dos conceitos de emergia na despoluição de rios urbanos, adotando os dados disponíveis pelo poder concedente e a empresa de saneamento que opera na cidade de São Paulo.

3 - METODOLOGIA

Optou-se por um método qualitativo-explicativo com uma abordagem que facilite a compreensão dos serviços ecossistêmicos e seu valor no programa córrego limpo (PCL) na cidade de São Paulo, e explorar os temas de gestão e avaliação (GIL, 1991).

Como o PCL realizou inúmeras intervenções em córregos na cidade de São Paulo e o programa disponibiliza os dados de qualidade da água (DBO) pode-se elaborar um estudo de caso múltiplo, buscando apresentar as condições anteriores e posteriores a despoluição, assim como a determinação de que a utilização de casos múltiplos proporciona a replicação literal para o aprimoramento do PCL (YIN, 2010).

A realização deste estudo é classificada como sendo de natureza empírica, com o objetivo de levantar informações aprofundadas no contexto da despoluição dos córregos estudados e os limites entre os fenômenos estudados e o contexto estão definidos. A abordagem da presente pesquisa é quantitativa, pois as variáveis estudadas são mensuráveis e a compreensão do assunto em uma etapa inicial não permite conclusões definitivas (YIN, 2009).

A metodologia da emergia contabiliza todos os fluxos que participam de um processo, em termos da emergia solar equivalente (sej), que é usada, de forma direta e indireta, na obtenção de um recurso (produto ou serviço) (ODUM, 1996).

O resultado dessa contabilidade pode ser transformado em unidade monetária pelo emprego do EMR ‘Emergy - Money Ratio’. Os cálculos em emergia são efetuados a partir da multiplicação das transformidades pela sua energia específica, sendo a transformidade um fator que hierarquiza os recursos globais que foram utilizados para fazer uma unidade de determinado produto ou serviço.

Existe uma classificação dos recursos:

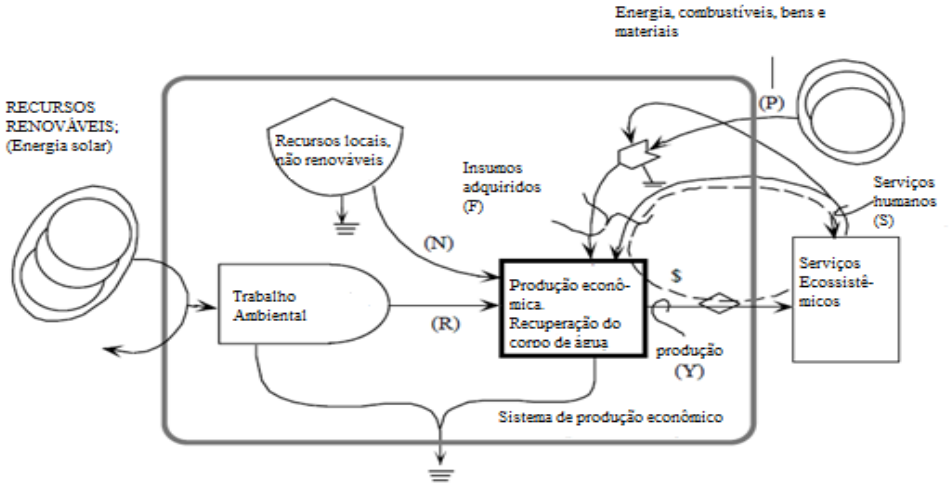
R: os recursos renováveis da natureza são aqueles cuja taxa de extração não excede sua taxa de regeneração (R),

N: recursos não renováveis da natureza cuja taxa de consumo é maior que sua taxa de regeneração. (N),

F: recurso proveniente da economia (F). São recursos produzidos por atividades antrópicas que usam recursos não renováveis (SILVA, 2016).

A figura 7 apresenta um diagrama geral para utilização da metodologia da Emergia, adotado para determinar as entradas e saídas dentro do sistema a ser estudado.

Figura 7 - Diagrama de um sistema genérico para despoluição de rio urbano. Fonte: Adaptada de Buenfil (2011).



A partir da análise do diagrama, obtêm se os fluxos e os índices emergéticos:

Fluxos de emergia:

Recursos renováveis da Natureza: (R) = Soma das emergias renováveis

Recurso não renováveis da Natureza: (N) = Soma das emergias não renováveis

Insumos Adquiridos da Economia: (F) = materiais (P) + serviços (S)

Emergia incorporada na produção do sistema: (Y) = (R+N) + (F)

Taxas ou índices de emergia:

Taxa de Investimento Emergética: (EIR) = F/(R+N)

Taxa do Saldo de Emergia: (EYR) = (Y/F)

Percentual de Emergia Renovável: (Ren) = (R/Y) x 100

Taxa de Intercambio de Emergia:

(EER) = (emergia de Y) / (emergia do dinheiro recebido pela venda de Y)

Fatores:

Em$/m^3 = (Y / m^3) / (sej/$)

Transformidade de Y = (emergia de Y) / (energia de Y)

O levantamento de documentos oficiais, literatura, artigos científicos, normas e teses, obtém dados e informações para justificar ou não a necessidade do estudo de um tema. A análise de conteúdo contribui com a descrição de dados existentes permitindo a inferência de conhecimentos relativos as variáveis analisadas (BARDIN, 1994).

A realização de uma análise bibliométrica e sistemática do estado da arte nos estudos que optaram pela metodologia emergética, verificou que embora utilizada em questões hídricas e de revitalização de rios, não há registros acadêmicos da utilização da Emergia em indicadores sustentáveis na despoluição de rios e córregos urbanos.

Não obstante a identificação da lacuna de pesquisa, observa-se que a metodologia emergética pode contribuir com a aplicação de melhorias em sistemas hídricos urbanos, viabilizando a utilização de recursos com maior assertividade (LV, et.al., 2018; WU, et.al., 2019).

A escolha pelo programa córrego limpo na cidade de São Paulo, se dá pelo interesse que a sociedade e o poder concedente têm demonstrado na aplicação de recursos que visam a despoluição dos principais rios que atravessam a metrópole (Tietê, Pinheiros e Tamanduateí). Não obstante, a sociedade e todas as partes interessadas vem ao longo dos últimos anos, buscando formas de minimizar os impactos que a falta de urbanismo causou ao meio ambiente.

3.1 – Critérios para revisão sistemática

A revisão bibliométrica e sistemática contribui para o exame de um conjunto de publicações de modo quantitativo e objetivo, identificando através de gráficos e dados os perfis das pesquisas relevantes sobre o tema proposto. Como resultado, os pesquisadores diminuem os vieses associados a outras revisões qualitativas (MONTECHI, et.al., 2021).

A utilização de gráficos e dados quantitativos auxilia na identificação de perfis de diversas publicações, assim como o desenvolvimento de uma análise de conteúdo contribui para categorizar e codificar os dados levantados (BARDIN, 1986). A construção da revisão sistemática, desenvolve-se a partir de método replicável, científico e transparente (MOHER, et al. 2009).

A revisão bibliométrica e sistemática realizada neste trabalho analisou as pesquisas científicas sobre a utilização da avaliação emergética para adoção de indicadores em processos de despoluição de rios ou córregos urbanos, com a finalidade de contribuir para a melhoria destes processos.

Foram criados os seguintes grupos de palavras-chave relacionadas a emergia, serviços ecossistêmicos, indicadores de sustentabilidade, revitalização/restauração de bacias hidrográficas e rios urbanos: (i) “emergia” e “serviços ecossistêmicos”; (ii) “emergia” e “indicadores de sustentabilidade”; (iii) “emergia” e “revitalização de rios

urbanos"; (iv) "emergia" e "restauração de bacias hidrográficas"; (v) "emergia" e "rios urbanos". Essas palavras-chave foram pesquisadas nas seguintes bases de dados: Elsevier, Google Scholar, Web of Sciences, Springer, Proquest.

A pesquisa identificou 726 artigos, que foram filtrados com base no método PRISMA para identificar os resultados que se enquadram no escopo da pesquisa (MOHER, et al. 2009), conforme mostrado na Figura 8.

Os estudos achados na revisão e a metodologia emergética determinaram a construção de um modelo teórico para avaliação de viabilidade dos indicadores propostos, a partir da introdução dos parâmetros de despoluição de rios, adotados e verificados pela pesquisa de dados secundários (análises da qualidade da água, anterior e posterior a limpeza do rio; custos apresentados durante a despoluição, disposição de recursos naturais (volume dos corpos de água) e população atendida).

A revisão bibliométrica e sistemática teve como critério de data inicial a pesquisa anterior realizada por HE, et.al (2020) sobre estudos que aplicaram a teoria emergética e observou que, muito embora as pesquisas sobre o tema tenham significativo aumento desde sua criação por ODUM em 1996, no que tange a estudos realizados sobre rios urbanos e sua despoluição, o assunto ainda é incipiente.

A utilização de análise emergética em despoluição de rios urbanos é um tema que ainda não possui publicações específicas conforme a pesquisa bibliométrica realizada identificou, no entanto pode-se aferir pesquisas em campos similares, como a revitalização de regiões pantanosas que agregaram melhorias e indicadores emergéticos para apreciação dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pelo ambiente pesquisado, assumindo que os indicadores, podem contribuir com a sustentabilidade do processo de revitalização do meio ambiente estudado (SONG, et.al., 2020).

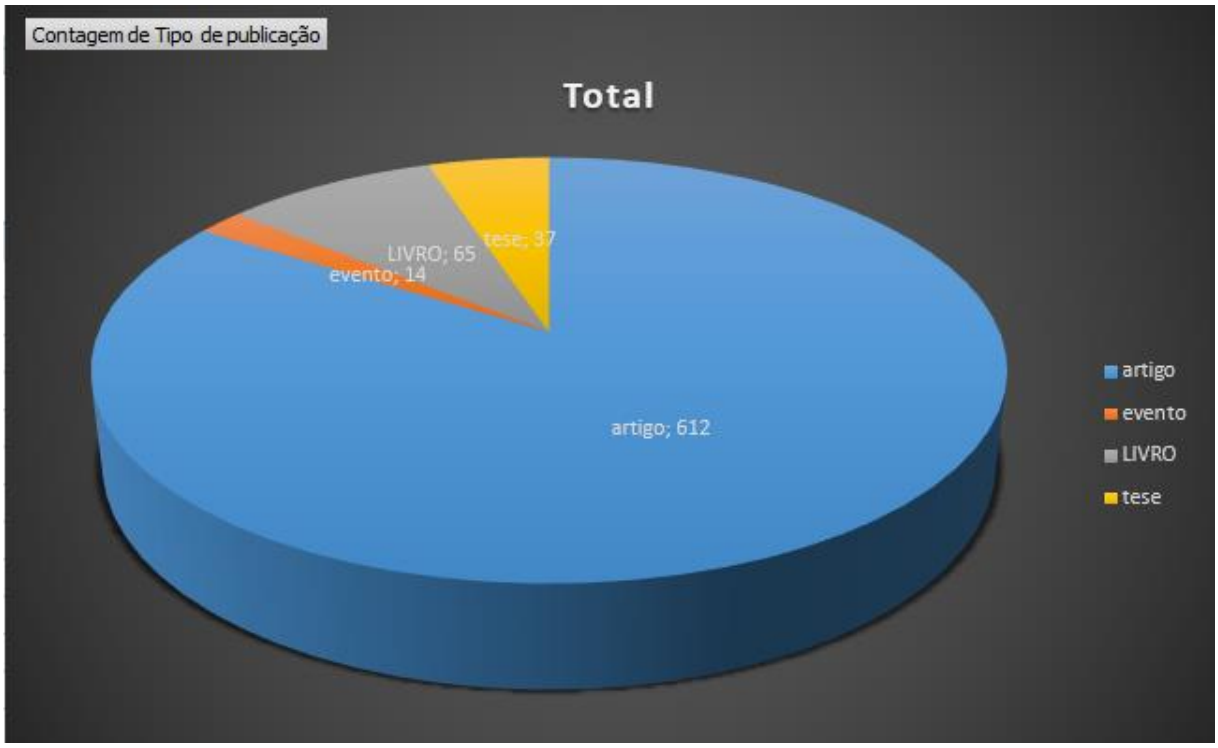
A introdução de um indicador de SE em trabalhos realizados em áreas úmidas (pântanos), SUN, et.al., (2021); SUN, et.al., (2019); demonstraram potencial de melhoria para a sustentabilidade de processos nessa área e possuem semelhança a aplicação a ser estudada, porém não é objetivamente equivalente, sendo uma referência para o desenvolvimento de estudos similares.

A partir de revisão bibliométrica realizada por HE, et.al. (2020) sobre estudos que aplicaram a teoria emergética como metodologia, observou-se que muito embora as pesquisas sobre o tema tenham significativo aumento desde sua criação por ODUM em

1996, no que tange a estudos realizados sobre rios urbanos e sua despoluição, o assunto ainda é incipiente.

Optou-se por verificar, o estado da arte do tema emergia e sua relação com despoluição de rios urbanos, serviços ecossistêmicos e indicadores de sustentabilidade, com o intuito de identificar uma lacuna de pesquisa que permita novos estudos para aplicação da teoria emergética. A figura 8, apresenta o número total e o tipo de publicação (artigo, evento, teses) relacionados ao tema proposto, identificando que no período estudado grande parte do material gerado por pesquisas foram publicados em revistas científicas.

Figura 8 - Tipo de publicação (fonte: o autor)



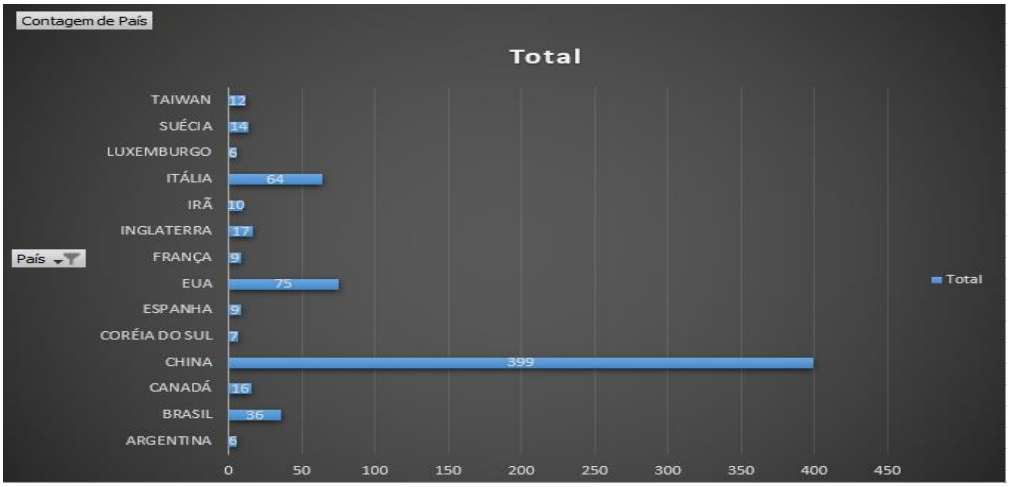
A pesquisa bibliométrica realizada em plataformas científicas (Elsevier, Google Scholar, Web of Sciences, Springer, Proquest etc.) identificou no período de 2006 até outubro de 2021, um total de 726 publicações onde as palavras-chave: emergia, revitalização de rios urbanos, serviços ecossistêmicos e indicadores de sustentabilidade foram utilizadas no título ou resumo. A figura 9, apresenta que no período estudado existe pequena variação entre 57 e 70 artigos publicados anualmente.

Figura 9 - Total de publicações por ano (Fonte: o autor).

Dentre as editoras, destaca-se a Elsevier que agrupa a maioria de revistas de impacto para o tema proposto (sustentabilidade, serviços ecossistêmicos, emergia), sendo que foram encontradas 307 publicações nesta plataforma.

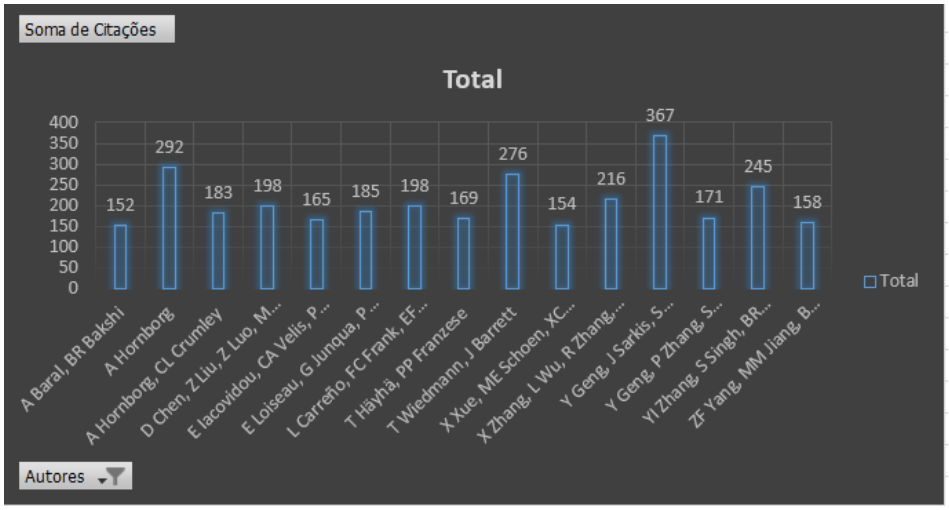
As pesquisas sobre a aplicação da metodologia emergética tem sido realizada em diversas localidades do mundo, porém o estado da arte dos estudos está centralizado na China onde foram publicados mais de 50% dos estudos sobre o tema emergia e sua relação com recursos hídricos e questões urbanas, como apresentado na figura 10.

Figura 100 - Origem das publicações (fonte: o autor).



A maioria das publicações foram realizadas na China e os pesquisadores chineses são os mais citados, no entanto as pesquisas sobre serviços ecossistêmicos e rios urbanos, possuem publicações em países diversos, conforme apresenta a figura 11.

Figura 11 – Autores e artigos mais citados (fonte: o autor).



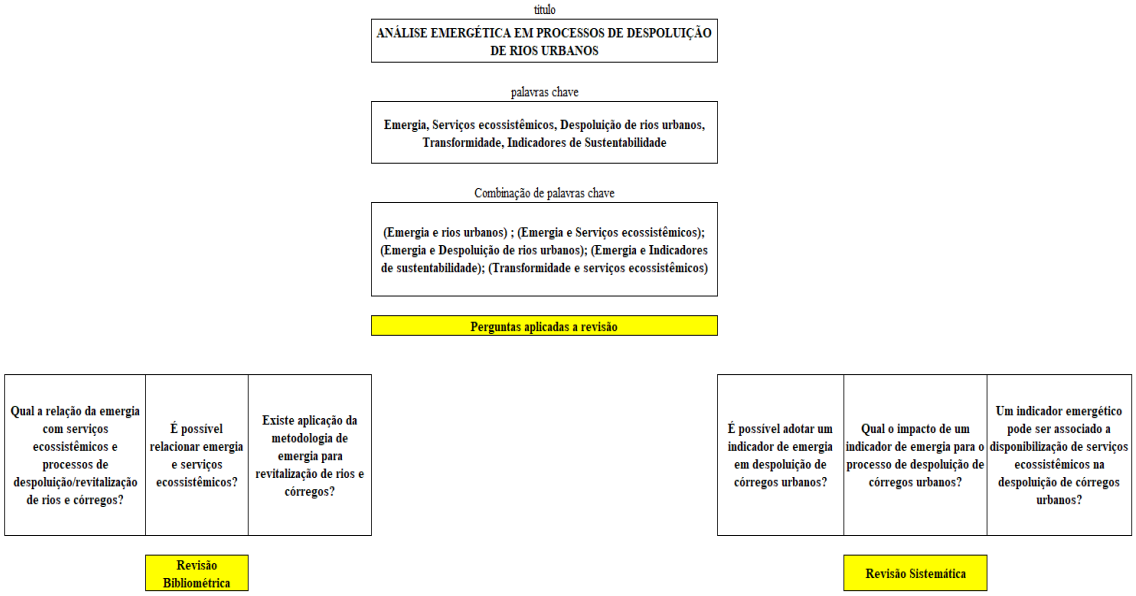
Os dados levantados foram analisados para conhecer o estado da arte sobre análise emergética em despoluição de rios urbanos, serviços ecossistêmicos e aplicação de indicadores de emergia. A pesquisa bibliométrica buscou responder as seguintes perguntas básicas: (a) Qual a relação da emergia com serviços ecossistêmicos e processos de despoluição/revitalização de rios e córregos? (b) É possível relacionar emergia e serviços ecossistêmicos? (c) Seria útil aplicar a metodologia de emergia na revitalização de rios e córregos? A análise considerou os 19 artigos selecionados após a leitura, identificação de correlação ao tema e adaptação da abordagem proposta por OLIVEIRA NETO, et.al., 2018. A análise de conteúdo dos artigos, livros e anais de congressos identificados durante a pesquisa bibliométrica, levou a figura 12.

Figura 11 - Análise do referencial identificado (fonte: o autor, adaptado de OLIVEIRA NETO, et.al., 2018).

Os artigos que não foram considerados (655 artigos excluídos) na revisão sistemática, estão relacionados a questões ambientais e a utilização da avaliação emergética em aspectos que não estão diretamente conectados a rios, córregos ou bacias hidrográficas, assim como foram identificados 31 artigos que utilizaram avaliação emergética em questões ambientais e contribuem com a metodologia, sem aderência direta a questões de emergia em estudos hidrográficos.

O levantamento mostrou que a maioria dos artigos estudam a interrelação entre a emergia e os serviços ecossistêmicos, porém não citam rios urbanos. Não há trabalhos de análise emergética, mas, não para o caso da despoluição ou revitalização de rios urbanos. Não obstante, identificou-se 40 artigos potenciais para desenvolvimento de uma análise emergética com índices de desempenho dos processos de despoluição de rios urbanos, pois verifica-se nesses estudos potenciais parâmetros a serem utilizados em uma nova abordagem para utilização da metodologia da Emergia.

Figura 12 - Modelo de revisão bibliométrica e sistemática (Adaptado de OLIVEIRA NETO, et. al., 2018).



A tabela 01 mostra os critérios usados na validação do tema e as lacunas de pesquisa descobertas.

Tabela 1 - Critérios para revisão bibliométrica e sistemática

Autor	Ano	Método	Sustentabilidade - econômica	Sustentabilidade - sociedade	Sustentabilidade - ambiental	Aplicação de emergia
H Li, C Lv, M Ling, C Gu, Y Li, Z Wu, D Yan	2021	Estudo de caso			"O método foi usado para ajustar os padrões de compensação ecológica e o estudo também prova que as mudanças climáticas e ambientais grande impacto na compensação ecológica"	Valoração dos serviços ecossistêmicos
F Song, F Su, C Mi, D Sun	2021	Estudo de caso	"Os resultados demonstraram o desenvolvimento econômico regional e a taxa de urbanização"		"A utilização dos recursos das zonas húmidas foi estudada para demonstrar que indústrias relacionadas com as zonas húmidas têm um efeito positivo na melhoria dos Sec's de áreas úmidas"	Valoração dos serviços ecossistêmicos
J Sun, X Yuan, H Liu, G Liu	2021	Modelo Experimental			A energia e a exergia do eco mostraram-se adequadas para avaliar os efeitos do projeto de restauração do pantanal.	Sustentabilidade e revitalização de zonas húmidas
H Lv, X Guan, Y Meng	2021	Estudo de caso	"O resultado mostrou que o solo urbano para construção tem o maior valor econômico, e trouxe problemas ecológicos para a cidade em detrimento do consumo recursos naturais."		O modelo pode melhorar o sistema de contabilização do valor dos recursos fundiários urbanos, que tem grande significado teórico e prático na realização da gestão racional dos recursos fundiários urbanos.	Plano geral de uso da terra
Y Pan, B Zhang, Y Wu, Y Tian	2020	Estudo de caso		Os resultados da avaliação e realidades locais, é imperativo tomar medidas eficazes para perseguir uma caminho mais sustentável através do equilíbrio entre proteção ecológica e crescimento econômico.	"O resultado mostrou que O ecossistema natural do Simão forneceu inúmeros serviços ecossistêmicos, implicando enormes contribuições do ecossistema natural do Simão para benefício humano"	Sustentabilidade em áreas urbanas
C Wang, X Li, H Yu, Y Wang	2019	Estudo de caso	Os resultados mostraram que os valores econômicos de conservação do solo e manutenção diminuiu.			Valoração dos serviços ecossistêmicos

W Liu, J Zhan, F Zhao, H Yan, F Zhang, X Wei	2019	Modelo Experimental	O estudo demonstrou que a proteção do meio ambiente natural é de igual importância para a economia e para o desenvolvimento.	O conceito de serviços ecossistêmicos usado facilita a comunicação entre as partes interessadas e os formuladores de políticas		Valoração dos serviços ecossistêmicos
F Song, F Su, D Zhu, L Li, H Li, D Sun	2019	Estudo de caso	Os recursos adquiridos externamente tornaram-se a parte mais importante da emergia total utilizados na área de estudo".		Os recursos renováveis demonstraram uma contribuição positiva para melhorar a sustentabilidade desenvolvimento de zonas húmidas.	Sustentabilidade e revitalização de zonas húmidas
J Sun, X Yuan, G Liu, K Tian	2019	Estudo de caso	O ecossistema de zonas úmidas após a restauração depende principalmente de recursos renováveis do ambiente local.		O estudo determinou que a integridade ecológica de ecossistemas de zonas úmidas devem ser restaurados tanto quanto possível no construção de zonas húmidas	Sustentabilidade e revitalização de zonas húmidas
D Di, Z Wu, X Guo, C Lv, H Wang	2019	Modelo Experimental		"Os resultados mostram que a aplicação dos recursos hídricos na vida social e no meio ambiente ecológico pode não só garantir justiça e manter o ambiente ecológico, mas também realizar o uso eficiente da água recursos em bacias hidrográficas".	A quantidade de água dentro do rio deve ser garantida para manter a saúde do rio, sendo necessário evitar a deterioração do eco ambiente causada pela intrusão de água industrial.	Valorização dos recursos hídricos
Z Wu, D Di, H Wang, M Wu, C He	2019	Modelo Experimental		"O estudo apresentou a necessidade de promover a construção de uma sociedade que economize água e realize a coordenação de desenvolvimento sustentável na sociedade econômica"	"O estudo apontou benefícios eco ambientais fluviais efetivamente com a contribuição e benefícios dos recursos hídricos fluviais no ecossistema. "	Avaliação eco ambiental em rios
J Zhan, F Zhang, X Chu, W Liu, Y Zhang	2018	Modelo Experimental	A rápida acumulação de capital levou ao aumento do investimento, foco em desenvolvedores de retornos curtos, aumento do custo da terra urbana		"A transformação industrial resultou em mudanças no uso e cobertura da terra e perda da função SE e degradação ambiental"	Sustentabilidade e revitalização de zonas húmidas

CM Lv, MH Ling, X Guo, DY Di, HS Zhou	2018	Modelo Experimental			"A taxa de contribuição dos recursos hídricos calculados pelo método emergético mostrou-se útil para avaliar os reais benefícios e contribuições dos recursos hídricos"	Valorização dos recursos hídricos
S Zhong, Y Geng, H Kong, B Liu, X Tian…	2018	Estudo de caso		O estudo fornece informações políticas valiosas para que os tomadores de decisão apliquem a gestão sustentável de bacias hidrográficas considerando as realidades locais.		Sustentabilidade em bacia hidrográfica
J Zhang, YC Fu, WL Shi, WX Guo	2017	Modelo Experimental			"O método selecionado para estimar a ecologia da bacia hidrográfica e o custos de restauração são necessários para mitigar danos ecológicos e fornecendo ações de proteção positiva para avaliar a saúde do rio."	Sustentabilidade e revitalização em bacias hidrográficas
M Su, BD Fath, Z Yang, B Chen, G Liu	2013	Modelo Experimental		“Os gestores urbanos devem entender e considerar as diretrizes na escala das aglomerações urbanas e em seguida, estabelecer esquemas de gestão adequados de acordo com as condições específicas do ecossistema urbano."	"Estados de saúde em termos de resiliência e impacto ambiental deve ser melhorado por medidas de gestão eficazes, tais como controlar o crescimento populacional, reciclar o lixo e reduzir descarga de resíduos, reduzindo a dependência de insumos externos de energia e materiais”.	Sustentabilidade em áreas urbanas
FM Pulselli, N Patrizi, S Focardi	2011	Estudo de caso	"A análise do investimento mostrou as perdas de água que influenciam os indicadores de emergia, bem como as dimensões nos custos de manutenção da infraestrutura."			Sustentabilidade e revitalização em bacias hidrográficas

R Zeng, Y Zhao, Z Yang	2010	Modelo Experimental	"O estudo apresenta o aumento contínuo dos requisitos de desenvolvimento econômico que induzem a entrada total de energia ampliado".			Valoração dos serviços ecossistêmicos
Dan Chen, Jing Chen,Zhaohui Luo, Zhuwu Lv	2009	Modelo Experimental	"O valor natural da água é avaliado quantitativamente e pode ser comparado com a quantidade equivalente de dinheiro unidades. Portanto, este método fornece novos insights sobre o toda a economia chinesa e o valor da água do rio."			Valorização dos recursos hídricos

Os estudos considerados para construir o marco referencial, encontraram vários casos de uso da metodologia emergética em situações de engenharia hidráulica, mas não em regiões urbanas, ou em processos de despoluição de córregos urbanos.

A pesquisa bibliográfica mostra que os estudos emergéticos foram aplicados em regiões onde se visa restaurar os serviços ecossistêmicos.

A tabela 1 de apresentação dos resultados apurados na revisão sistemática está organizada de acordo as questões levantadas pela tese, e analisa o uso da metodologia emergética no cálculo de serviços ecossistêmicos em casos similares à despoluição de rios urbanos.

3.2 – Revisão sistemática para propor o modelo conceitual para avaliar a despoluição de rios urbanos

O modelo teórico proposto por este trabalho foi desenvolvido a partir da revisão bibliométrica e sistemática realizada apresentada no capítulo 3.

A partir da revisão sistemática verificou-se que a avaliação emergética permite avaliar a qualidade dos fluxos de energia e comparar os valores das distintas de energia (sol, água) com outros sistemas (recursos financeiros e humanos) (SONG, et.al., 2021).

A avaliação emergética permite avaliar o desempenho dos ecossistemas e sua sobrevivência (caso de rios e córregos urbanos) pela adoção de indicadores que relacionam toda a emergia usada com os recursos naturais (SUN, et.al., 2019).

O cálculo de rendimento da emergia incorporada pelo sistema indica o saldo de energia primária que é disponibilizada para a economia que consume os produtos, ou seja, mede o benefício obtido após o processo (SONG, et.al., 2021).

O uso de indicadores emergéticos, em forma paralela as análises econômicas, é importante porque avaliam a função do sistema produtivo dentro do ecossistema, indicando a pressão que ele exerce sobre o ambiente e verificar se impactos causados podem ser absorvidos pelo ecossistema da região (LV, et.al., 2020, LI, et.al., 2021).

Os trabalhos de pesquisa achados na revisão sistemática da literatura indicam que a avaliação emergética (ODUM, 2001) pode avaliar a despoluição de rios urbanos.

O modelo usado considera os resultados obtidos na avaliação emergética de casos similares aos da proposta de pesquisa, após uma reflexão sobre a vinculação dos procedimentos metodológicos e sua efetiva implantação em processos de despoluição.

3.3 – Proposta de modelo teórico para aplicação de avaliação emergética na despoluição de rios urbanos

O modelo teórico propõe o uso da metodologia emergética (ODUM, 2001) e a criação de novos indicadores que viabilizem a despoluição de rios urbanos, otimizando a tomada de decisões nos processos de saneamento básico, urbanização e meio ambiente.

Para a teoria emergética o desenvolvimento socioambiental deve caminhar lado a lado ao empreendedorismo (auto-organização) para construir um futuro sustentável para as gerações futuras (ODUM, 2001). A metodologia emergética identifica os problemas existentes (poluição dos rios) e usa os indicadores emergéticos para avaliar a situação do ecossistema em diversas circunstâncias. O principal tema de estudo é a produção de conhecimento e seu uso na avaliação dos serviços ecossistêmicos recuperados na despoluição dos rios urbanos e na gestão ecológica do espaço urbano.

Na revitalização de áreas úmidas, os indicadores emergéticos demonstram as melhorias ecológicas (SE), o aprimoramento da gestão e a maior sustentabilidade (SUN, et.al., 2021). É possível replicar esse processo na revitalização de rios urbanos.

O modelo teórico (figura 14) para análise emergética da despoluição de rios e córregos urbanos está dividido em quatro etapas: (a) recursos naturais, (b) revitalização, (c) dados coletados e (d) indicadores emergéticos), a avaliação emergética.

3.4 - Fluxograma para realização do Modelo teórico

A construção de um modelo teórico permite a adequação da teoria emergética a despoluição de rios urbanos. O uso de modelos teóricos visa encontrar relações entre teoria e dados empíricos (dados dos rios despoluídos), simplificando o entendimento a partir da delimitação ao tema proposto (SOUZA FILHO, STRUCHINER, 2021).

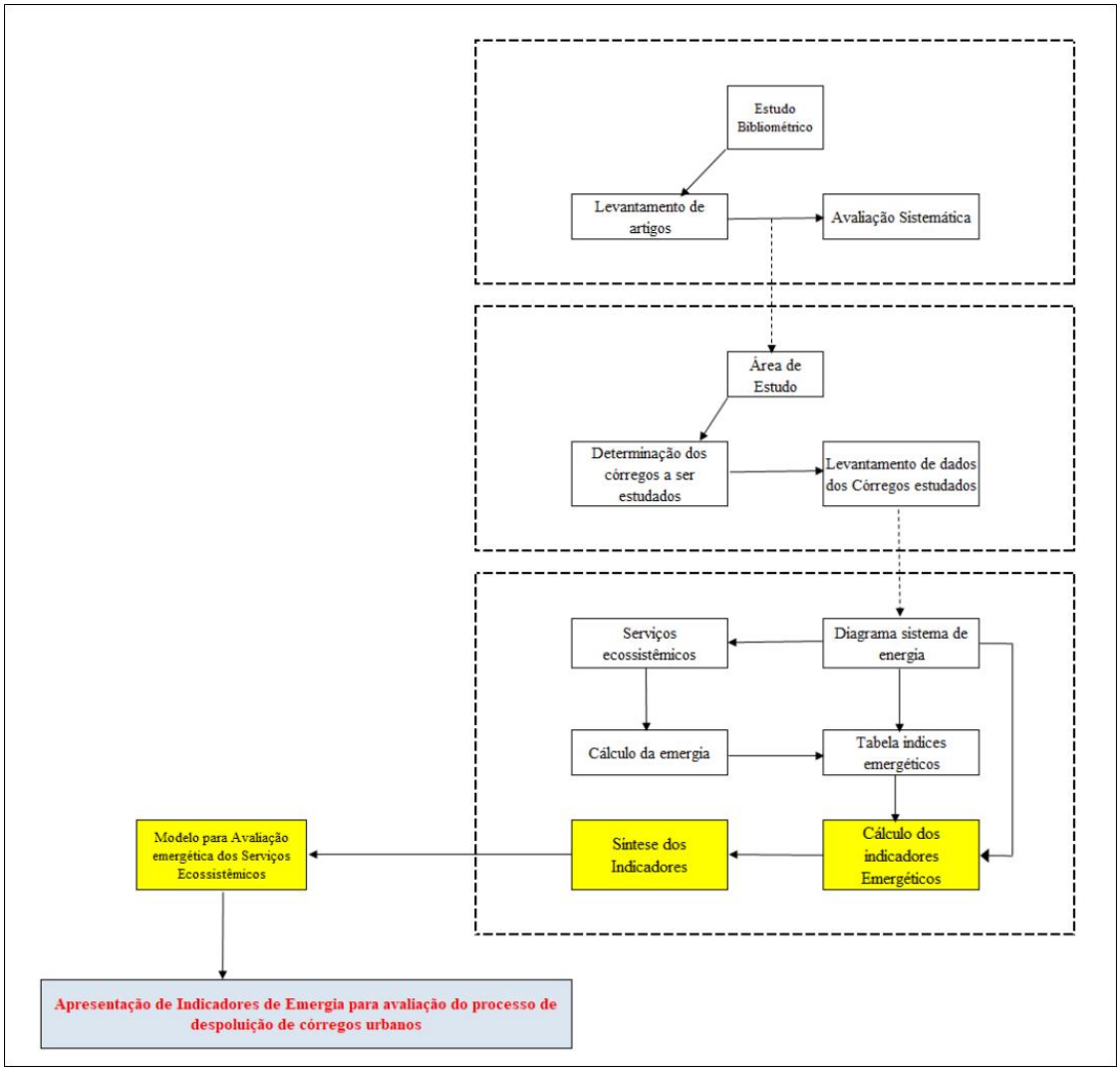
O envolvimento político e a iniciativa acadêmica para pesquisas relacionadas ao tema, podem responder conscientemente a problemas que se movem com rapidez em direção ao pensamento popular ou intelectual, observando que a pesquisa está diretamente conectada ao empreendedorismo social e intelectual (ELIAS, PATROCLO, 2004).

A construção do modelo teórico usa a metodologia emergética (ODUM, 2001) para postular o uso de indicadores da despoluição de rios urbanos, visando a otimização do uso de recursos e melhorar os processos de saneamento básico, urbanização, dotação de verbas para recuperar o meio ambiente), assim como a adoção da metodologia da observação continua dos serviços ecossistêmicos durante a revitalização urbana.

Para a teoria emergética, a política ambiental deve caminhar, lado a lado, da auto-organização social para viabilizar um futuro digno as gerações futuras (ODUM, 2001). Também, ela considera etapas na aplicação dos indicadores emergéticos na evolução social sustentável.

O fluxograma para elaboração do modelo adotado é mostrado na figura 14, ele assume uma relação entre a teoria emergética e as dimensões técnicas, econômicas e sociais da despoluição dos rios urbanos e com os serviços ecossistêmicos gerados nesse processo.

Figura 14 – Fluxograma para concepção do modelo teórico (elaborado pelo autor).



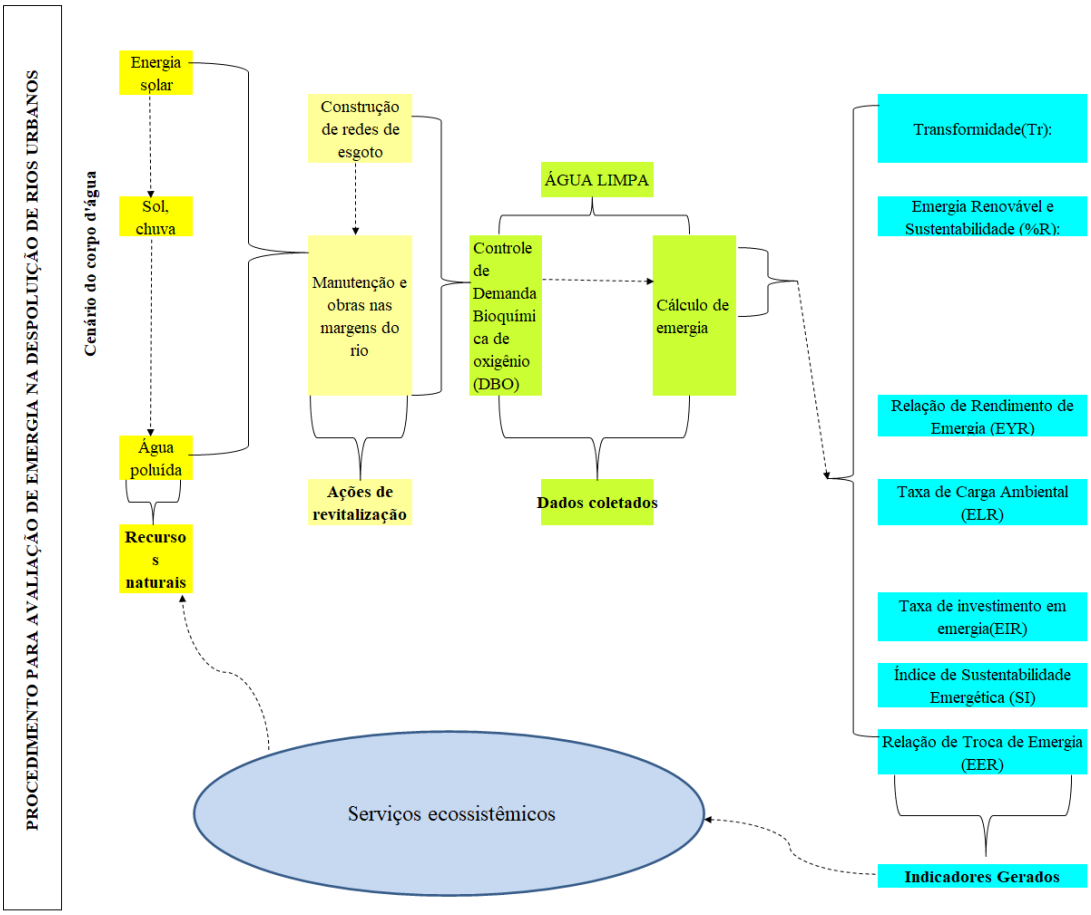
3.5 - Modelo teórico

O modelo teórico (figura 15) para análise emergética da despoluição de rios e córregos urbanos foi desenvolvido a partir da revisão sistemática de pesquisas que adotaram a emergia para avaliar sistemas de recursos hídricos similares e está dividido em quatro etapas (recursos naturais, revitalização, dados coletados e indicadores emergéticos).

As etapas da avaliação emergética, foram definidas considerando os componentes principais do diagrama de fluxos de energia do sistema estudado. A tabela 02, apresenta as etapas da avaliação emergética utilizados em estudos sistemas hidrográficos que utilizaram a teoria e os indicadores de emergia.

Os parâmetros e os indicadores emergéticos se vinculam ao circuito de energia mostrado no diagrama. Consideram a energia da natureza (renovável e não renovável) e a energia da economia (materiais e serviços) que entram no sistema (LV, et.al. 2018).

Figura 15 - Modelo teórico para avaliação emergética em rios urbanos



Etapa 1 – Recursos Naturais

Os recursos naturais considerados medem os parâmetros usados no cálculo das emergias em um processo de despoluição de um rio urbano (tabelas 2 e 3).

A energia solar, o índice pluviométrico, e a qualidade da água (DBO) fazem parte da contribuição natural para o desenvolvimento econômico e social (LV, et.al., 2018).

ZENG, et.al. (2010) demonstrou que as contribuições dos recursos naturais na avaliação emergética de bacias hidrográficas, como o fluxo e qualidade de água dos rios, estão relacionadas diretamente a saúde do ecossistema, e são fundamentais para preservar o ecossistema e os serviços ecossistêmicos (provisão, regulação, suporte e cultural) essenciais à manutenção da vida.

As avaliações emergéticas realizadas na bacia do rio Amarelo na China demonstraram que a qualidade do corpo de água (DBO), após retirada de sedimentos, se manifesta nos indicadores de emergia dessa bacia (DI, et.al., 2019).

Estudos identificaram que a falta de planejamento em bacias hídricas tem efeitos negativos que podem afetar alguns serviços ecossistêmicos. Ficou evidenciado que as bacias hidrográficas devem possuir programas de conservação e esforço integrado para melhorar a eficiência global da água (LIU, et.al., 2019, ZHONG, et.al, 2018).

A partir de análise realizada para verificar a deterioração de Zengchang, na China, demonstrou-se que avaliação emergética possui validade científica e viabilidade técnica, características necessárias para avaliar os danos ecológicos, fornecendo parâmetros para desenvolvimento de ações para mensurar a revitalização do rio (ZHANG, et.al., 2017).

Etapa 2 – Ações de Revitalização

Uma pesquisa em uma bacia hidrográfica na Itália usou indicadores emergéticos para avaliar processos produtivos, viabilizando a medição das contribuições de ações humanas na revitalização de corpos de água, que se refletem nos indicadores (tabelas, 1 e 2) antes, durante e após a revitalização (PULSELLI, et.al, 2011).

A avaliação emergética consegue medir a contribuição da natureza no desenvolvimento socioeconômico. A contribuição dos recursos hídricos calculados pelo método emergético permite avaliar as contribuições e os reais benefícios da revitalização de recursos hídricos como constatado por (LV, et.al.,2018).

No estudo de SUN, et.al., (2019) os dados de zonas úmidas, onde se fez avaliação das emergias mostraram que, após a restauração, aumentou a contribuição dos recursos renováveis na melhoria da qualidade da água e na redução das despesas econômicas.

Na revitalização, a escolha dos indicadores emergéticos determina os parâmetros da avaliação dos processos (purificação, distribuição de água), os investimentos e das obras no impacto ambiental (redes de esgoto e água pluvial), conforme WU, et.al. (2019).

Etapa 3 – Coleta de Dados

Os dados levantados na pesquisa antes citada (SUN, et.al., 2019) são mostrados nas tabelas 01 e 02. Eles levam a descobrir que, após a revitalização, a avaliação do desempenho sistêmico, de acordo com análises da qualidade da água, coleta de esgotos e os investimentos que impactam na despoluição do corpo de água.

A avaliação emergética da revitalização de um curso de água em uma bacia hidrográfica, indicou a quantidade de contribuições da natureza, materiais e serviços para revitalizar o rio ou córrego por unidade de produto (PULSELLI, et.al., 2011).

A análise dos fluxos de emergia permite entender a influência da infraestrutura nos indicadores operacionais e gerenciais, como o papel do estado e a contribuição do ambiente local. Ela avalia os benefícios eco ambientais no sistema fluvial dentro (qualidade da água) e fora do rio (margens do rio e regiões vizinhas) (WU, et.al., 2019).

A avaliação emergética é usada em estudos que quantificam os fluxos naturais e antropogênicos (materiais e serviços) para apreciar o papel dessas contribuições ao fornecimento de água em diferentes condições contextuais (PULSELLI, et.al.,2011).

Os resultados obtidos. a partir dos dados, sobre a qualidade da água mostram que o desempenho ecossistêmico de zonas úmidas após a restauração vai muito além do valor apresentado antes da restauração, aferindo, a partir dos indicadores emergéticos, os resultados da revitalização do rio e do conjunto de ações realizadas (SUN, et. al., 2019).

Etapa 4 – Conjunto de Indicadores

Os indicadores emergéticos adotados para avaliar a revitalização em corpos de água estabeleceu o limite do ecossistema urbano estudado tendo como base as divisões administrativas e disponibilidade de dados existentes e de investigações de campo (dados secundários) compilados pelo poder concedente e prestadores de serviços de saneamento, desenhando o diagrama de sistemas de energia e calculando a emergia (SU, et.al., 2013).

Os indicadores emergéticos (tabela 01 e 02) apresentados por (PULSELLI, et.al., 2011) podem ser utilizados em estudos semelhantes como valores de referência, pois refletem as características dos sistemas naturais que avaliam a emergia da água em rios ou córregos. Os valores podem mudar de acordo com a infraestrutura, como redes de esgoto, redes de água pluviais e desvios localizados ao longo do curso de água.

O estudo de (SU, et.al., 2020) mostra que os indicadores emergéticos permitem o monitoramento de longo prazo, avaliando os efeitos da restauração de zonas úmidas para aliviar danos ecológicos e cuidar da saúde do rio.

A avaliação de sistemas com base na emergia superar as barreiras que impedem a gestão adequada das bacias hidrográficas, o padrão sustentável a ser atingido se houver aumento das contribuições ambientais a médio e longo prazo (ZHONG, et.al., 2018).

A avaliação emergética, em regiões de bacias hidrográficas que sofreram impactos negativos, mostrou que os serviços ecossistêmicos apresentam melhorias após ações de revitalização. Ela permitiu a medição dos serviços ecossistêmicos derivados dessas intervenções usando os índices de emergia (SONG, et.al., 2021).

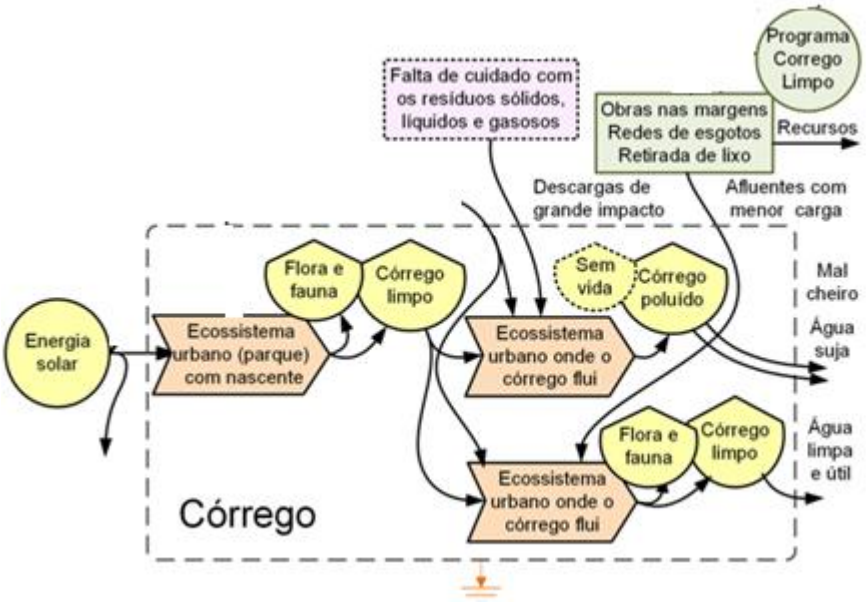
Os indicadores emergéticos (tabela 02) ajudam a compreender o processo de revitalização de uma bacia, fornecendo informações técnicas, sociais e políticas valiosas para tomadores de decisão, de modo que políticas mais adequadas para a sustentabilidade e gestão da bacia hidrográfica possam ser levantadas considerando as realidades locais. A avaliação emergética começa a partir da concepção do diagrama dos fluxos de emergia (figura 07) e da obtenção dos valores das entradas e saídas no sistema estudado, e convertendo todos os valores para emergia (joules de energia solar ou seJ).

A determinação dos índices emergéticos é concebida de acordo com as características do sistema a ser estudado (ZHANG, et.al, 2017, SUN, et.al., 2021).

3.6 – Diagrama sistêmico e fluxo emergético na despoluição de rios urbanos

A avaliação emergética parte do diagrama de fluxos de emergia do sistema estudado (figura 16) e da obtenção dos valores das entradas e saídas, convertendo todos eles em joules de emergia solar (seJ). As características do sistema determinam os índices emergéticos adequados, de acordo com ZHANG, et.al, 2017, SUN, et.al. (2021).

Figura 13 - Diagrama sistêmico do fluxo de emergia na despoluição de rios urbanos (adaptado de Odum 2001)



Dados dos fluxos básicos de emergia:

R: Energia livre renovável das entradas do meio ambiente: sol, chuva e vento. Se usaram os dados das vazões dos córregos e o índice DBO antes da despoluição.

N: Energia livre não renovável dos recursos do meio ambiente do local do sistema: solo, madeira e minerais quando são usados mais rápido do que são produzidos. Considera-se como energia livre o índice de esgoto retirado do corpo de água.

M: materiais provenientes da economia humana, pagos.

S: Emergia do trabalho humano realizado na despoluição, pagos;

Fluxos agregados de emergia:

I: Recursos da natureza: I = R + N

F: Recursos da economia: F = M + S

Y: Produtos do sistema: Y = I + F

Energia potencial do produto: Ep

Tabela *2* – Indicadores emergéticos

Indicadores	**Formula (Unidade)**	**Conceito**	**Referência**
Transformidade (Tr):	Tr = Y / Ep (sej/J)	Avalia a qualidade do fluxo de energia e permite comparações com outras formas de energia e com outros sistemas.	Chen, et.al (2009); Lv, et.al (2018)
Renovabilidade (%R):	%R = R / Y (%)	Relação entre a emergia dos recursos renováveis e a emergia total utilizada. Sistemas com valores altos têm maiores chances de sobrevivência no longo prazo.	Sun, et.al. (2019)
Taxa do saldo de emergia	EYR=Y/F	Indica o ganho em emergia para o sistema que consume o produto. Quando o valor for um, o sistema consome tanta emergia quanto disponibiliza para a economia.	Song, et.al. (2021)
Taxa de Carga Ambiental	ELR = (N+F) / R	Avalia a pressão que o sistema exerce no ecossistema. Valores altos indicam forte pressão sobre o ecossistema.	Lv, et.al (2020)
Taxa do investimento em Emergia	EIR=F / (N+R)	Intensidade do investimento econômico no ecossistema. Para ser viável na economia, o processo deve ter um valor semelhante ao valor médio da região.	Pan, et.al. (2020)
Relação benefício / impacto, em emergia	SI = EYR / ELR	Mostra o quanto o sistema se beneficia ao modificar e impactar o ambiente.	Li, et.al. (2021)
Taxa de troca de emergia	EER = Y/[EmSale] EmSale = produção x preço x (emergia/dólar)]	Os produtos mais ecológicos tendem a ter um valor EER mais alto do que os produtos da economia humana industrial. Um valor positivo indica que o consumidor ganha.	Zhan, et.al, (2018)

3.7 – Análise de Sensibilidade, usando emergia, da despoluição de rios urbanos

Os parâmetros usados nos cálculos emergéticos afetam diretamente os indicadores propostos pelas equações de emergia, como demonstrado no capítulo 4.1 a partir do modelo teórico adotado. A influência destes parâmetros nos cálculos dos fluxos de emergia e nos indicadores emergéticos permite a realização da uma análise de sensibilidade para ilustrar graficamente as melhorias obtidas com as intervenções propostas (LELIS, et.al., 2012).

Os indicadores emergéticos derivados da teoria emergética possuem relação direta com as emergias utilizadas no processo de despoluição de um córrego urbano, a partir desta constatação, observa-se a necessidade de seu uso para mostrar os impactos das emergias usadas nos indicadores da evolução do processo de revitalização.

A análise de sensibilidade apresenta, de forma gráfica, o impacto que os parâmetros possuem nos indicadores de emergia propostos, além de fornecer informações úteis as partes interessadas, ao demonstrar a evolução de cada indicador emergético a partir das mudanças identificadas pela análise da qualidade da água (OLIVEIRA NETO, et.al., 2017).

4. OBJETOS DE ESTUDO E INDICADORES EMERGÉTICOS

4.1 – Área de estudo

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Nacional nº 9.433/1997, determina a água como bem limitado, dotado de valor e indispensável a vida, a partir desta premissa destaca-se a necessidade de preservação, conservação e manutenção dos corpos d'água como um serviço essencial para a sociedade.

A falta de modelo de gestão urbano-ecológica levou a ocupação desordenada e a poluição completa dos rios em São Paulo, diante deste fato, a sociedade civil e o governo criaram um plano de revitalização dos cursos d'água que existem na cidade de São Paulo e a partir do ano 1990, criou-se o projeto Tietê, visando promover a revitalização do rio que atravessa a cidade de São Paulo de leste a oeste (BUENO & HENKES, 2016).

O processo de despoluição da bacia de um rio com o porte do Tietê, inserido em uma metrópole com as dimensões de São Paulo necessita de um projeto robusto, que deve partir da despoluição dos córregos que são seus afluentes, com essa perspectiva foi criado, dentro do Projeto Tietê, o Programa Córrego Limpo (SILVA, 2017).

A análise de programas como o PCL (Programa Córrego Limpo) deve observar um contexto mais abrangente do que apenas o da engenharia, que inclui o estudo da ação dos seres humanos nos ecossistemas urbanos (ecologia urbana) e do comportamento socioeconômico (WALSH, et. al., 2005).

4.2- Programa Córrego Limpo (PCL)

O escopo do projeto do PCL, define as responsabilidades das partes interessadas e as metas do programa, assim como os locais dentro precisavam de intervenção efetiva para melhorar seu desempenho. Foram escolhidos locais com maior visibilidade (córregos abertos) para demonstrar a efetividade do trabalho perante a sociedade (COLVIN, et.al., 2019).

O projeto PCL e o Projeto TIETÊ, observam a complexidade da ocupação urbana na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e consideram todos os aspectos envolvidos (sociais, ambientais e técnicos) (FLAUSINO, 2018). Segundo relatório da SABESP (2013) - A 1ª fase do PCL, definiu que o trabalho seria realizado em 42 córregos para serem despoluídos, destacando os objetivos a serem alcançados para efetivamente dar credibilidade ao programa que se iniciou, entre eles podemos citar:

- Resultados perceptíveis de despoluição a curto prazo (final de 2008);
- Atuação preferencial em córregos a céu aberto e/ou que passassem por áreas com grande afluxo de pessoas (parques, por exemplo);
- União de esforços entre a Sabesp e a PMSP, de forma integrada e no âmbito de suas atribuições.

Os resultados ao final da primeira etapa, mostraram que foi evitado o lançamento nos cursos d'água de um fluxo de esgoto de 500 litros por segundo que afetava a qualidade de vida de 800 mil habitantes da cidade de São Paulo (SABESP, 2013). Essa etapa foi concluída em março de 2009. A segunda etapa do PCL foi realizada entre 2009 e 2010 ampliando o número de córregos atendidos para 58, totalizando 100 córregos ao fim desta etapa. O sucesso alcançado pelo PCL nas duas primeiras fases, contribui para a implantação de uma terceira fase, almejando ampliar sua atuação para sanear áreas degradadas e urbanizar bairros carentes de São Paulo. Definiu-se nessa etapa a meta de atender mais 52 córregos para serem despoluídos, estabelecendo dezembro de 2012 como data limite de entrega.

A grave crise hídrica que ocorreu entre 2013 e 2014, interrompeu os investimentos no programa para fazer as obras necessárias para o abastecimento de água na RMSP, entretanto o monitoramento e manutenção continuaram, de modo a manter os córregos despoluídos, sendo retomado o programa em 2017, estabelecendo novas metas e fundamentalmente buscando a despoluição dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí.

A despoluição de um rio em uma metrópole como São Paulo é um grande desafio socioambiental. Muitas bacias afluentes ao rio principal estão localizadas em regiões onde os córregos foram cobertos por avenidas, ruas, invasões, loteamento de residências, dificultando o processo de identificação dos lançamentos de esgotos (FLAUSINO, 2018).

As bacias hidrográficas são unidades de gestão da drenagem, de acordo com o relevo da região geográfica, seu ponto mais baixo recebe toda água dos afluentes, fato que justifica a necessidade de despoluição dos córregos antes de chegar ao rio principal. A divisão hidrográfica permite a execução de obras de drenagem do esgoto sanitário para a obtenção de resultados efetivos e perceptíveis pela população urbana (SABESP, 2013).

Os córregos estruturam o funcionamento do espaço urbano, pois eles afetam a saúde da população. O saneamento básico e a coleta de esgotos são fundamentais na

gestão de uma microbacia. Quando as redes de coleta sofrem problemas de operação, os córregos recebem a carga dos esgotos e entram em pane (OURIVES, et. al., 2007).

A limpeza pública, a reurbanização de áreas urbanas e a despoluição das águas dos córregos, são as principais atividades realizadas no contexto do PCL visando a preservação e recuperação de áreas degradadas. Essas atividades requerem da atuação periódica do poder concedente (a prefeitura), porém, em uma outra forma, contam com a parceria com a população local (ACUÑA, et.al., 2017)

Não obstante as atividades supracitadas, observa-se que o aumento das redes de coleta de esgotos para retirar e cuidar do tratamento dos resíduos, não foi suficiente para atender a demanda de despoluição dos córregos urbanos da cidade (SABESP, 2011). A partir desta verificação, iniciou-se em 2007 uma parceria entre SABESP e prefeitura da cidade de São Paulo (PMSP), conhecido como o Programa Córrego Limpo (PCL).

As políticas urbanas vinculadas a despoluição de córregos ou rios urbanos, para viabilizar suas ações devem observar e cuidar da desocupação e limpeza das margens dos rios onde há moradias, regulares ou não regularizadas (RAMIRES JÚNIOR, et. al., 2014).

A ausência de políticas públicas que observem a inserção social é um dos desafios verificados pelo PCL pois, encostas, margens e várzeas foram intensamente ocupadas por ocupações irregulares. A disposição de moradias para a população mais carente, têm-se demonstrado insuficiente para absorver a demanda. No contexto do PCL, a revitalização dos rios urbanos necessita de políticas para suprir o déficit habitacional e desocupar áreas em margens de rios (ANELLI, 2015).

4.2.1 - Ações do PCL para revitalização dos rios

As ações necessárias a despoluição de rios urbanos demanda esforços conjuntos em diversas áreas (engenharia, habitação, urbanismo, sociedade cível, poder concedente). O sucesso no processo de despoluição depende do envolvimento e a interação das partes interessadas ou afetadas (ALENCAR, 2017).

Dentre as ações propostas pelo PCL estão a limpeza e reurbanização de espaços públicos e parques, a disposição adequada de redes coletoras de esgoto, a limpeza periódica das margens e espaços ao redor dos córregos, e a manutenção preventiva das redes coletoras para evitar extravasamento de esgotos (FLAUSINO, 2018).

A manutenção das redes de esgotos evita que o córrego seja poluído. A operadora de saneamento deve fazer o monitoramento e vistoria continua para cuidar da saúde do rio. Por outro lado, a prefeitura deve fazer a limpeza periódica das margens para evitar que as correntes causadas pelas chuvas arrastrem lixo ao rio e o poluam (FURIGO, 2020).

4.2.2 – Parâmetro de controle do Programa córrego limpo (PCL)

O parâmetro utilizado para controle da qualidade da água de rios e córregos é a medição da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), os órgãos de controle sanitário e hídrico consideram que este parâmetro é eficaz, pois indica se há condições para a existência de vida nos corpos de água (FLAUSINO, GALLARDO, 2019).

A carga orgânica em rios possui relação direta com o aumento da DBO, o que pode vir a causar a propagação de doenças de veiculação hídrica nas pessoas que tem contato com essa água, fato que determina o uso deste parâmetro no controle da qualidade e como indicador de limpeza dos corpos de água (CUNHA, FERREIRA, 2006).

Segundo a **ANA** (Agência Nacional de Águas) o uso da DBO como parâmetro de controle é indispensável no controle da qualidade da água e na detecção de possíveis lançamentos clandestinos de esgotos nos córregos e rios urbanos. A medição de uma DBO com no máximo 30 mg/l, determina a capacidade do corpo de água ter peixes, não possuir odor e avaliar o tratamento convencional realizado (SABESP, 2013).

Os dados de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foram obtidos das análises realizadas pela Companhia de Saneamento Básico da Cidade de São Paulo. Os córregos são considerados despoluídos quando o DBO é inferior a 30mg/L (RATNAYAKA, et.al., 2009).

O controle da DBO permite saber se o corpo de água está poluído. Esse dado permite a população visualizar o resultado das ações realizadas na revitalização e interagir no seu entorno (FLAUSINO, GALLARDO, 2019).

O DBO é o principal indicador de qualidade usado pelo PCL no controle monitoramento periódico dos recursos hídricos. Além disso, a integração da sociedade na zeladoria é fundamental para manter os índices de qualidade hídrica nas regiões atendidas pelo programa (ALENCAR, 2017).

4.2.3 – Indicadores no Programa córrego limpo (PCL)

Hoje os indicadores usados pelo PCL medem apenas a qualidade da água dos córregos monitorados, mas a participação da sociedade, requer o uso de indicadores mais robustos para a melhorar as ações visando a sustentabilidade (PAULIUK, 2018).

A tabela 03, apresenta as ações do PCL, os SE observados, os indicadores atuais, a proposta de um novo indicador baseado na Metodologia Emergética, e a fundamentação teórica que sustenta o uso deste novo indicador da despoluição de córregos urbanos.

Tabela 2 - SE, Indicadores e Fundamentação teórica (autor) – NA (Não analisado).

AÇÕES PCL	**Serviços Ecossistêmicos**	**Indicador atual e Potencial Indicador**	**Dados para inserir nos cálculos Emergéticos**	**Referências**	**Objetivo**
Implantação de rede de esgotos para retirada dos esgotos dos córregos	Regulação e Provisão	Índice de coleta de esgotos (SABESP)	Volume de rede implantada e custos inseridos	HURLBERT, (2020); MA, SUN, FU, et.al., (2020); SCHRECONGOST, PEDI, ROSENBOOM, et.al., (2020).	Adaptar o conceito de emergia no monitoramento do processo de despoluição de córregos urbanos
Realização de coletas periódicas e realização de zeladoria continua	Suporte	DBO	Valores de DBO e Valores envolvidos em obras do entorno	SABESP, (2013); ALENCAR, (2017); CUNHA, FERREIRA, (2006); FLAUSINO, GALLARDO, (2019);	Adaptar o conceito de emergia no monitoramento do processo de despoluição de córregos urbanos
Limpeza e manutenção das galerias e valores envolvidos em obras do entorno	Regulação, Provisão e Suporte	Não avaliados atualmente. Poderão ser analisados pela emergia.	Volume de obras e custos envolvidos	EVERARD, MOGGRIDGE, (2011); DELIBAS, TEZER, (2017); KOTSILA, ANGUELOVSKI, BARÓ, LANGEMEYER, SEKULOVA, CONNOLY, (2020).	Adaptar o conceito de emergia no monitoramento do processo de despoluição de córregos urbanos; Estudar a dinâmica dos índices de emergia nas bacias hidrográficas atendidas pelo programa Córrego Limpo (PCL) na cidade de São Paulo, tendo como base teórica os cenários publicados pelo programa (SABESP, PMSP);
Introdução de um indicador que avalie o processo como um todo	Suporte Cultural	Não avaliados atualmente. Poderão ser avaliados por indicadores emergéticos.	Correlação entre valores de entrada e saída, dentro de todo processo	ODUM, (1988); HE, ZHU, CHEN, LIU, CHEN & WANG, (2020); KILKIS, (2016); GONÇALVES, GONÇALVES, (2018); VIGLIA, et.al. (2018).	Modelo teórico da teoria emergética das intervenções em córregos urbanos. Cálculo do preço "justo" da despoluição) usando a razão de Intercâmbio Emergético (EER);

4.3 – Córregos analisados

A análise emergética foi feita em 5 córregos da região atendida pela SABESP – NORTE. A escolha visou permitir a observação das pessoas das características dos cursos de água no meio urbano. Considera-se que o uso dos indicadores da metodologia emergética permitirá replicar o trabalho de revitalização em outros espaços urbanos.

Os córregos avaliados, fazem parte da primeira etapa do PCL, que priorizou córregos em áreas urbanas e que fazem parte de parques ou locais que se tornaram praças após a revitalização, além de apresentar resultados de DBO que estão dentro do limite estabelecido em 2010, logo a sua utilização nesta pesquisa, permite a análise do programa desde o início.

A aplicação da metodologia emergética nos córregos avaliados, identificou que aspectos como a área, a população e os custos envolvidos na despoluição são distintos. Esses aspectos identificados pela pesquisa na concepção dos indicadores emergéticos, contribuíram com a demonstração da aplicabilidade da teoria no processo de despoluição.

4.3.1 – Córrego Charles de Gaulle

Figura 14 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Charles de Gaulle (Fonte Sabesp 2011).

Localizado na região oeste da cidade de São Paulo, o córrego Charles de Gaulle possui características de diversos corpos de água da RMSP, pois nasce em um parque (São Domingos) e atravessa áreas totalmente urbanizadas da capital paulistana em uma bacia de 0,75 km² de área. Os custos da revitalização foram de R$ 275.000,00 na primeira fase do programa córrego limpo. Atenderam 8.500 moradores e visitantes que procuram a região para caminhadas e contato com a natureza (FLAUSINO, 2018).

4.3.2 – Córrego Tenente Rocha

Figura 15 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Tenente Rocha (Fonte Sabesp 2011).

O córrego Tenente Rocha fica no bairro de Santana, na região norte de São Paulo, atendida na primeira fase do PCL. Ocupa 3,96 km² e o investimento foi de R$225.000,00. Na região existe um quartel da aeronáutica, um hospital militar e um aeroporto (Campo de Marte). Sua despoluição atendeu uma população de 40.000 pessoas, (SABESP, 2011).

4.3.3 – Córrego IPESP

Figura 16 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego IPESP (Fonte Sabesp 2011)

O córrego IPESP se localiza no bairro do Tremembé na zona norte de São Paulo, foi revitalizado na primeira fase do PCL em 2010, o investimento total realizado foi de R$ 350.000,00. A região do córrego é predominantemente residencial e a bacia despoluída possui uma área de 0,80 km², atendendo a uma população de 14.000 pessoas.

4.3.4 – Córrego da Ciclovia (Horto)

Figura 17 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Ciclovia (Fonte Sabesp 2011)

O córrego da ciclovia fica no Horto Florestal (Zona norte da cidade de São Paulo), ele fez parte da primeira etapa do PCL que atendeu 5.200 moradores e uma população flutuante de 1,6 milhões de pessoas que frequentam esse parque estadual de 1 km². Os custos totais da revitalização do córrego foram de R$ 275.000,00 (SABESP, 2011).

4.3.5 – Córrego Elisa Maria

Figura 18 - Fotos antes e depois da despoluição Córrego Elisa Maria (Fonte Sabesp 2011)

O córrego Elisa Maria possui uma área de 0,40 km² e atende a uma população de 4800 pessoas, se localiza em uma área predominantemente residencial. A área aberta do córrego está localizada em uma praça com recreação para a população da região. Os custos da despoluição do córrego foram de R$ 590.00,00 durante a primeira fase do PCL.

4.4 – Levantamento de dados

Os dados para os cálculos foram obtidos nos sites da companhia de saneamento do estado de São Paulo (SABESP) e da prefeitura da cidade de São Paulo (PMSP). Os valores das transformidade solar foram obtidas no site do Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada (LEIA) da Universidade de Campinas (UNICAMP).

O método de análise emergético é realizado da seguinte forma:

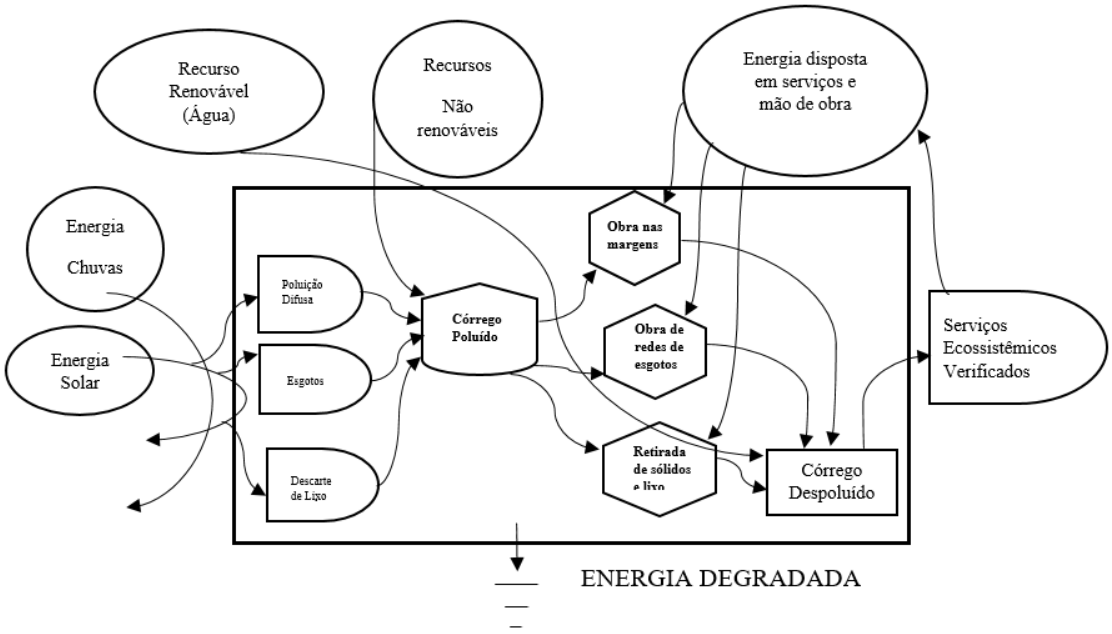
(1) Elaboração de um diagrama do sistema estudado, apresentando as entradas e saídas, os estoques e os processos que compõem o sistema (figura 22);

(2) Análise dos fluxos energéticos de entrada e saída dos sistemas de produção;

(3) Montagem da tabela emergética e cálculo dos índices emergéticos;

(4) Interpretação dos índices emergéticos comuns e proposição de indicadores para aprimoramento do processo de despoluição de córregos urbanos.

Figura 19 - Diagrama sistêmico do fluxo de emergia na despoluição de córregos urbanos.



4.4.1 - Tabela Emergética

A Tabela Emergética (tabela 4) de ODUM (1996) consta de 6 colunas.

1: Código. Categoria dos itens a serem analisados.

2: Item. Nome do recurso utilizado (fluxo de entrada).

3: Valor anual. É o valor numérico de cada item dos fluxos de entrada, que é considera sua unidade usual, grama, energia, dinheiro etc.

4: Unidades de cada fluxo de entrada.

5: Transformidade ou valor de Emergia Solar por unidade. Uma grande quantidade de Transformidade já foram calculadas e pode obtidas na literatura, para este trabalho adotamos a tabela construída pela UNICAMP.

6: Emergia (fluxo ou estoque). É calculada através da multiplicação dos dados na coluna 3 pela Transformidade na coluna 5.

Tabela 3 - Etapas da análise emergética

Córrego					
Código	**Item**	**Valor (unidades/ano)**	**Unidade**	**Transformidade**	**Emergia (sej/ano)**
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	xxx	J/ano	xxx	xxx
R2	Chuva	xxx	J/ano	xxx	xxx
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N)					
N	Água do corrego com esgoto	xxx	J/ano	xxx	xxx
N	Água do corrego sem esgoto	xxx	J/ano	xxx	xxx
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos com redes de esgoto	xxx	xxx	xxx	xxx
S2	Custos com manutenção das margens	xxx	xxx	xxx	xxx
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias utilizadas córrego sujo				xxx
Y	Soma das emergias utilizadas córrego limpo				xxx
Energia do produto (Ep) e cálculo de sua transformidade (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	xxx	J/ano	xxx	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	xxx	J/ano	xxx	

A tabela emergética considera: os recursos da natureza renováveis (R) e não renováveis (N); os recursos da economia: materiais (M) + serviços (S); e a emergia do produto do sistema (Y) que é a soma das emergias da natureza (I) e da economia (F).

Fluxos:

R: Energia das entradas renováveis do meio ambiente: sol, chuva e vento. Neste trabalho se considerou o volume de água nos córregos e o índice de DBO, antes e depois da despoluição dos córregos.

N: Energia dos recursos não renováveis provenientes do meio ambiente: solo, madeira e minerais quando sua taxa de uso é maior que sua taxa de renovação. Neste trabalho consideraremos aqui o esgoto retirado do corpo de água.

M: Energia de materiais comprados no sistema econômico: combustível, minerais, matérias primas, materiais de construção. Este item será representado pelos custos envolvidos na despoluição dos córregos.

S: Energia dos serviços humanos pagos em dinheiro.

Fluxos agregados:

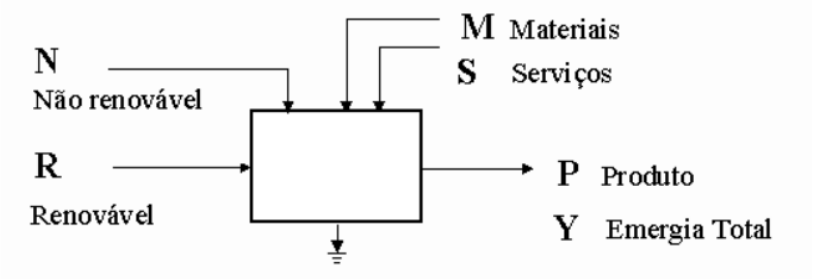
I: Recursos da natureza: I = R + N

F: Recursos da economia: F = M + S

Y: Produtos do sistema: Y = I + F

A figura 23, apresenta os fluxos agregados de emergia.

Figura 20. Diagrama resumido dos fluxos de emergia em um ecossistema
(Fonte: https://www.unicamp.br/fea/ortega/portoalegre/portoalegre.htm)



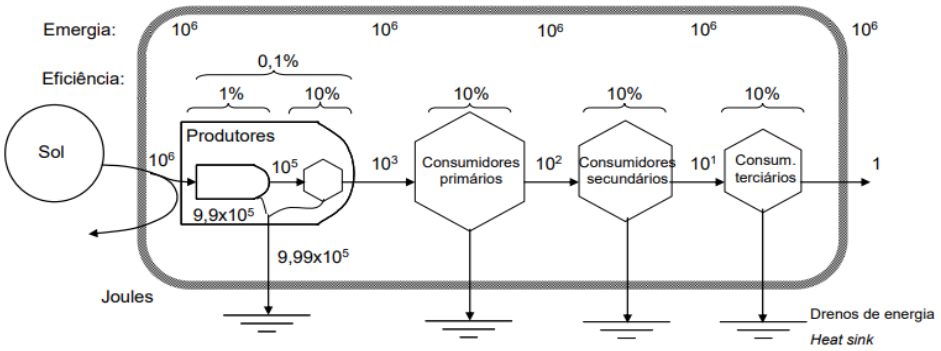
Com os dados na tabela, se calculam os fluxos de emergia, que são somados para obter os fluxos agregados de emergia. Se avalia a influência de cada item no processo. Com equações, se calculam os Índices Emergéticos e se faz o diagnóstico do sistema.

4.4.2 – Hierarquia Emergética

A Figura 24 apresenta um fluxo de energia resumido de uma rede de transformação de energia em série, analisando o fluxo da esquerda para a direita, nota-se que quantidade total de energia diminui, mas a qualidade aumenta, estabelecendo uma hierarquia energética que está diretamente conectada aos princípios da metodologia emergética.

Quando os fluxos de energia potencial interagem para gerar novas formas de energia há uma perda de energia e o recurso produzido contém menos energia potencial porem sua qualidade é maior, a energia transformada é capaz de reforçar outras unidades do sistema. A série de transformações cria uma hierarquia energética, como a mostrada na Figura 24. A hierarquia de energia é uma lei universal (ODUM,1996).

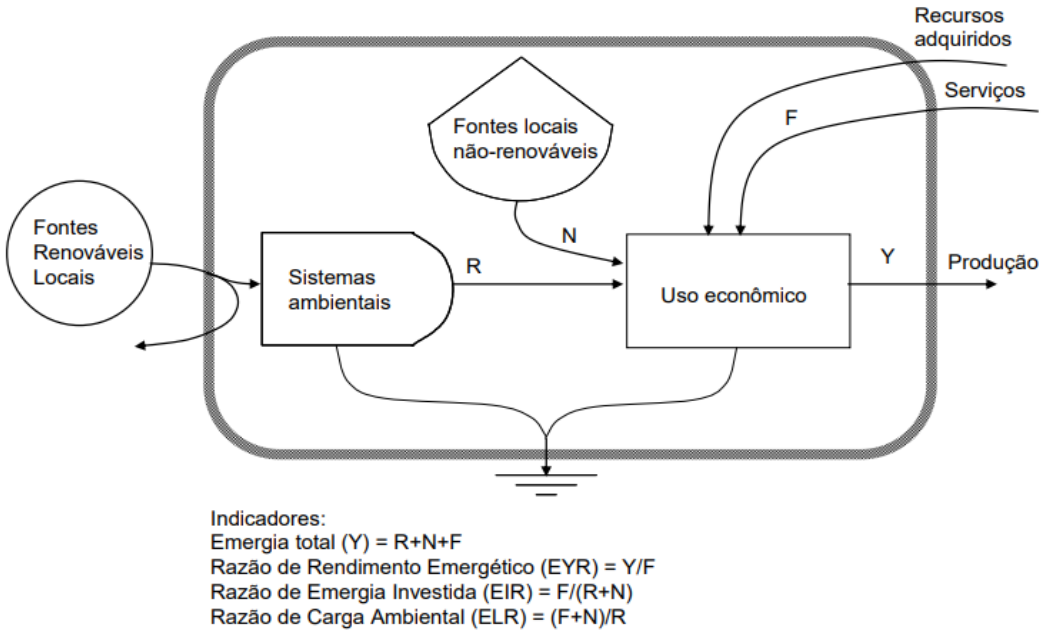
Figura 21 - Relação Energia e Emergia em uma cadeia produtiva – Fonte: Brown, Ulgiati, 1997



4.4.3 - Índices Emergéticos

Os índices emergéticos podem avaliar a despoluição de córregos (Figura 25).

Figura 22 - Diagrama sistêmico dos fluxos e índices emergéticos – Fonte: Brown, Ulgiati, 1997



a) Transformidade (Tr):

Avalia a qualidade do fluxo de energia e permite comparar outras formas de energia ou outros sistemas. A transformidade solar é a razão entre a emergia incorporada pelo sistema (Y) e a energia do recurso produzido (Ep), (Tr = Y/Ep).

b) Renovabilidade Emergética (%R):

A renovabilidade é a razão entre a emergia dos recursos renováveis e a emergia total usada. Sistemas com valores maiores de renovabilidade têm maiores chances de sobrevivência no longo prazo, são, portanto, mais sustentáveis. (%R = R/Y).

c) Razão de Rendimento Emergético (EYR):

Indica o valor absoluto do saldo de emergia do sistema, a taxa de energia primária disponibilizada para o sistema que consume o produto. Se, seu valor for próximo de um, o sistema consome tanta energia quanto a que disponibiliza. É a razão entre a emergia incorporada no produto pela emergia dos insumos que provém da economia (EYR=Y/F).

d) Taxa de Carga Ambiental (ELR):

É razão entre os recursos não renováveis e os recursos renováveis. Mede a carga que o sistema produtivo coloca no ecossistema. Valores altos de ELR indicam maior impacto do sistema econômico sobre a natureza (ELR = (N+F) / R)

e) Razão de Investimento de Emergia (EIR):

Avalia se os recursos da economia (F) investidos em um projeto tem uma boa contrapartida de recursos naturais [EIR=F/(N+R)]. Esta razão indica a capacidade competitiva de um investimento. Para ser econômico, o processo deve ter um valor de EIR similar ao valor médio das atividades da região. Se ele exige mais da economia que as outras opções, terá menos chances de subsistir.

f) Índice de Sustentabilidade Emergética (SI):

É a razão entre dois índices, o de Rendimento Emergético e o de Carga Ambiental: (SI = EYR/ELR). Indica a proporção entre o saldo de emergia gerado pelo investimento e sua carga no ambiente. Corresponde a taxa (beneficio/custo) usada na economia.

g) Razão de Intercâmbio de Emergia (EER):

É a razão entre a emergia oferecida no produto em relação a emergia obtida na troca. Os produtos que contam com mais trabalho da natureza possuem valores maiores que os produtos da economia humana. (EER = Y/ [produção x preço x (emergia/dólar)]).

5- RESULTADOS

O trabalho teve como base os diagramas de fluxos de energia do córrego (Figura 1) e do procedimento (Figura 2). Na Tabela 3 mostram os valores para o ano de 2020, nos cálculos foram usadas as transformidades de Odum (1996).

Os resultados serão apresentados primeiramente de forma individual em razão do volume de dados e para destacar os indicadores avaliados para cada local. Posteriormente será apresentado um capítulo com a relação de cada indicador no conjunto de córregos avaliados neste trabalho.

5.1 – Cálculos emergéticos para avaliação de Córregos

A avaliação emergética parte do diagrama de fluxos de energia (figura 01) e dos dados das entradas e saídas de energia no córrego, convertendo todos os dados em joules de energia solar (seJ). O cálculo dos índices emergéticos deve atender as características do sistema a ser estudado (ZHANG, et.al., 2017; SUN, et.al., 2021).

Consideramos os parâmetros relativos as entradas de recursos naturais renováveis (R) e os recursos naturais não renováveis (N). No caso da despoluição de rios urbanos foram a chuva e energia solar (R) e o fluxo água antes e depois da despoluição (N), atendendo as propostas de ODUM (1996) e ZHANG, et.al., (2017). Os dados dos aportes da economia consideraram materiais (M) e serviços (S). Neste trabalho, os custos das obras e manutenção de sistemas de esgotamento sanitário na região do córrego estudado.

Apresentam-se as equações que transformam as energias da natureza em fluxos de emergia para medir a contribuição da água (CHEN, et.al., 2009; LV, et.al., 2018).

$$Se = rad \times S \times (1-alb) \qquad (1)$$

Onde:

Se = energia solar recebida (Joules/ano),

rad = radiação incidente (joules/metro quadrado/dia),

S = área da bacia (metros quadrados) e alb é o albedo.

$$Re = P \times G \times S \qquad (2)$$

Onde:

Re = energia da chuva (Joules/ano);

P = precipitação (milímetro/ano);

G =energia livre de Gibbs (Joules/grama);

S = área total da bacia hidrográfica (metros quadrados)

Epw = BODp x q x Eom **(3)**

Onde:

Epw = energia da água poluída (Joules/ano);

BODp = demanda bioquímica de oxigênio no fluxo poluído (miligramas/litros);

q = vazão máxima (litros/segundo);

Eom = energia do material orgânico (Joules/litro).

Os materiais (M) e serviços (S) foram os custos da manutenção e implantação de sistemas de esgotos na região do córrego e das obras para revitalização de corpos d'água (LV, et.al., 2018; PULSELLI, et.al., 2011). A seguir apresentamos as equações usada.

F1 = Ti / Slf **(4)**

Onde:

F1 = estimativa do valor anual das obras realizadas em dólares (U$/ano);

Ti = investimento total (U$);

Slf = vida útil das redes de esgoto (anos).

F2 = oc*pop **(5)**

Onde:

F2 = valor do trabalho humano pago (U$/ano);

oc = custo unitário da operação (U$/população/ano);

pop = população da área do córrego.

A emergia total (Y) é a emergia da água do rio, a soma de todas as emergias usadas na revitalização para melhorar a qualidade da água.

Ao incorporar os dados da qualidade da água na equação 6 obtemos sua energia (SUN, et.al., 2019; DI, et.al., 2019).

Ecw = BODc x q x Eom **(6)**

Onde:

Ecw = energia da água limpa (Joules/ano);

BODc = diferença na demanda bioquímica de oxigênio da água revitalizada;

Q = vazão (litros/segundo);

Eom = energia do material orgânico (Joules/kg).

Os valores obtidos com as equações antes citadas, de 1 a 6, permitem para calcular os indicadores de emergia para fazer a avaliação da despoluição de rios urbanos.

A transformidade (Tr) permite converter um fluxo de energia em um fluxo de emergia. Com os valores da emergia das energias que participam do processo podemos comparações formas de energia ou mesmo sistemas. A transformidade solar é específica para cada processo ou sistema e é obtida ao dividir a emergia incorporada (Y) pela energia do recurso produzido (ODUM, 1996; LI, et.al., 2021).

$$Tr = Y/Ep \qquad (7)$$

Tr é a transformidade (seJ/J); Y é a emergia incorporada no recurso produzido (seJ/ano); Ep é a energia do recurso produzido (Joule/ano).

A Renovabilidade é a razão entre a emergia dos recursos renováveis e a emergia total. Os sistemas mais renováveis têm maior chance de sobrevivência (ODUM, 1996).

$$\%R = R/A \text{ x } (100) \qquad (8)$$

%R é o percentual de renovabilidade x 100; R soma dos recursos renováveis (seJ/ano); Y é a energia total usada (seJ/ano).

O rendimento emergético do sistema (EYR) indica o ganho em energia primária para o sistema que consumirá o produto. É a razão entre a emergia incorporada no produto e a emergia dos insumos da economia (ODUM, 1996; LV, et.al., 2018).

$$EYR=S/F \qquad (9)$$

Na qual: EYR é a taxa de produção de emergia; Y é a energia do recurso produzido (Sej/ano); F é a soma da energia das ações realizadas (F1) e da energia das ações operacionais (F2).

A razão de carga ambiental (ELR) é a razão entre recursos não renováveis e recursos renováveis. A avalia a pressão que o subsistema causa no ecossistema. Valores altos indicam maior carga da economia sobre o meio ambiente (LI, et.al., 2021).

$$ELR = (N+F) /R) \quad (10)$$

F soma as emergias das obras materiais (F1) e das ações operacionais (F2).

O índice de investimento em emergia (EIR), avalia se investimento econômico em um projeto tem uma boa contrapartida de recursos naturais. Para sobreviver na economia, o processo deve ter um EIR igual ao valor médio das atividades na região. Se exigir mais da economia do que outros projetos, terá maiores custos e menos chances de sobrevivência (SUN, et.al., 2019; DI, et.al., 2019).

$$EIR=F/(N+R) \quad (11)$$

F é a soma das emergias das obras materiais (F1) e das ações operacionais (F2).

O índice de sustentabilidade emergética (SI) equivale é a relação entre benefício e custo em termos de emergia, é obtida ao dividir o índice de rendimento (EYR) e a taxa de carga ambiental (ELR), (LI, et.al., 2019; ZHANG, et.al.,2017).

$$SI = EYR/ELR \quad (12)$$

A taxa de troca de emergia (EER) é a razão entre a emergia recebida e a emergia cedida em um intercâmbio. Como os produtos renováveis possuem um valor maior o que os produtos industriais (ZHANG, et.al., 2017), quem produz perde e quem compra ganha.

$$EER = Y/ [produção \times preço \times (emergia/dólar)] \quad (13)$$

Serviços ecossistêmicos:

Na despoluição do córrego se consideram os serviços ecossistêmicos reguladores (equação 14) e os serviços sustentadores (equação 15) (PAN, et.al., 2020).

$$Res = S \times BODc \times Tr \quad (14)$$

Onde:

Res = serviços ecossistêmicos de regulação;

BODc = demanda bioquímica de oxigênio no fluxo limpo;

Tr = transformidade

$$Ses = P \times \rho \times G \times Tr \quad (15)$$

Onde:

Ses = serviços ecossistêmicos de suporte;

P = precipitação da chuva;

ρ = densidade da água;

G = energia livre de Gibbs;

Tr = transformidade da água da chuva.

As transformidades usadas nos cálculos emergéticos são mostradas na tabela 4.

O recurso não renovável (N) considerado é a água do córrego poluído, seu volume e qualidade medida em DBO são apresentados nos apêndices de *A, B, C, D e E*.

Os recursos financeiros (F) considerados nesta avaliação emergética são os custos com implantação de redes de esgoto e os custos relacionados a manutenção das margens dos córregos, ambos fluxos calculados em termos de emergia.

Os indicadores emergéticos do processo de despoluição de córregos urbanos foram calculados de acordo com o que é apresentado na secção 4.1.

Os gráficos apresentados nas análises de sensibilidade dos córregos estudados foram normalizados de acordo com os seus atributos (tabelas de parâmetros e indicadores emergéticos), normatizando os valores do banco de dados para variar de 0 a 1.

$$x_{norm} = ((x_i - x_{min})) / (x_{max} - x_{min})$$

5.2 – Avaliação emergética do Córrego Charles de Gaulle

A utilização do procedimento de avaliação emergética contribuiu na melhoria da despoluição de rios urbanos como demonstrado na tabela 5, ao se observar que os indicadores analisados antes e depois da despoluição apresentam resultados positivos.

Tabela 4 - Parâmetros emergéticos córrego Charles de Gaulle

Córrego Charles de Gaulle					
Código	**Item**	**Valor**	**Unidade**	**Tr (seJ/unidade)**	**Emergia (seJ/ano)**
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	1,45E+04	J/ano	1,00E+00	1,45E+04
R2	Chuva	6,41E+09	J/ano	1,82E+04	1,17E+14
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N) Tabela 3 – Parâmetros emergéticos córrego Charles de Gaulle					
N	Água do córrego com esgoto	3,86E+11	J/ano	4,10E+04	1,58E+16
N	Água do córrego sem esgoto	1,90E+11	J/ano	2,55E+05	4,84E+16
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos das redes de esgoto	2,82E+03	U$/ano	4,00E+06	1,13E+10
S2	Custos da manutenção das margens	8,72E+04	U$/ano	4,00E+06	3,49E+11
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias utilizadas córrego sujo				**1,59E+16**
Y	Soma das emergias usadas córrego limpo				**4,85E+16**
Energia do produto (Ep) e Cálculo da transformidades (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	5,69E+10	J/ano	2,80E+05	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA POLUÍDA	3,86E+11	J/ano	4,13E+04	

A tabela 6 apresenta os resultados dos indicadores emergéticos calculados a partir das emergias e transformidade demonstradas na tabela 5.

O valor da transformidade (TR) calculado antes do processo de despoluição do córrego é maior (3,86E+11) do que a transformidade verificada após a revitalização (1,73E+11), a análise deste resultado demonstra a melhoria da eficiência do processo pela diminuição da emergia utilizada no sistema (PAN, et.al., 2020).

O índice de renovabilidade (R) calculado apresenta aumento no período estudado, antes da despoluição (0,74%) e depois da despoluição (32,86%). De acordo com os resultados, a revitalização melhora a sustentabilidade do sistema, pois a renovabilidade aumenta ao longo do tempo (ODUM, 1996).

Os resultados da avaliação do índice de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição é (4,43E+04) e posteriormente (1,35E+05), isso indica que a sociedade obtém benefícios da revitalização (SUN, et.al., 2019).

A análise do estresse é calculada pela taxa de carga ambiental (ELR) e os resultados obtidos na avaliação da despoluição de córregos antes (7,39E-03) e depois (2,42E-03) mostra a diminuição no estresse causado ao corpo de água (SU, et.al., 2013).

O índice de investimento em emergia (EIR) mostra a diminuição da intensidade da emergia do processo, antes (2,28E-05) e depois da revitalização (7,44E-06), esses resultados indicam que o processo está contribuindo com o meio ambiente.

Tabela 5 - Indicadores emergéticos do Córrego Charles de Gaulle

INDICADOR	**FÓRMULA**	**UNIDADE**	RESULTADO POLUÍDO	**RESULTADO DESPOLUÍDO**
Transformidade	TR = Y/J saída	seJ/J	3,86E+11	**1,73E+11**
Renovabilidade	%R= R/Y (100)	%	0,74%	**32,86%**
Rendimento em emergia	EYR=Y/F		4,43E+04	**1,35E+05**
Taxa de carga ambiental	ELR=(F+N) / R		7,39E-03	**2,42E-03**
Razão de investimento	EIR=F / I		2,28E-05	**7,44E-06**
Benefício/custo ambiental	ESI=EYR/ELR		5,99E+06	**5,57E+07**
Razão de troca em emergia	EER=Y/($*EMR)		4,97E+15	**4,62E+16**

5.2.1 – Avaliação da emergia e análise dos investimentos para despoluir o Córrego Charles de Gaulle

O desempenho do sistema, em termos emergéticos, melhorou. A transformidade diminuiu de 3,86E+11 para 1,73E+11. A renovabilidade aumentou de 0,74 para 32,8%. O rendimento emergético foi de 4,43E+04 para 1,35E+05.

A carga ambiental diminuiu de 7,39E-03 para 2,42E-03. A razão de investimento caiu, foi de 2,28E-05 para 7,44E-06. O (beneficio/custo) cresceu de (5,99E+06) a (5,57E+07. A razão de troca de emergia mudou pouco, de (4,97E+15 sej/$) para (4,62E+16 sej/$).

5.2.2 – Avaliação emergética dos serviços ecossistêmicos - Córrego Charles de Gaulle

Os serviços ecossistêmicos de regulação e suporte refletem uma melhoria do desempenho sistêmico, de acordo com o indicador ESI (benefício/carga ambiental) que demonstra a recuperação dos serviços ambientais da região.

Os serviços ecossistêmicos de regulação consistem na melhoria da qualidade da bacia do córrego Charles de Gaulle, isso evita que o excesso de poluição e sujeira no leito

do córrego cause desastres naturais, tais como enchentes, diminuindo as chances de alagamentos. A melhoria na qualidade da água e nos valores da emergia nos serviços ecossistêmicos de regulação influem na melhoria do ar e propiciam a produção de oxigênio, ajudam a conservar o solo, evitando erosões.

Os resultados da tabela 7, foram calculados de acordo com as equações 14 e 15 da secção 4.1, e demonstram que existe melhoria nos serviços ecossistêmicos disponibilizados pela despoluição do córrego Charles de Gaulle – Brasil.

Tabela 6 - Serviços Ecossistêmicos no córrego Charles de Gaulle

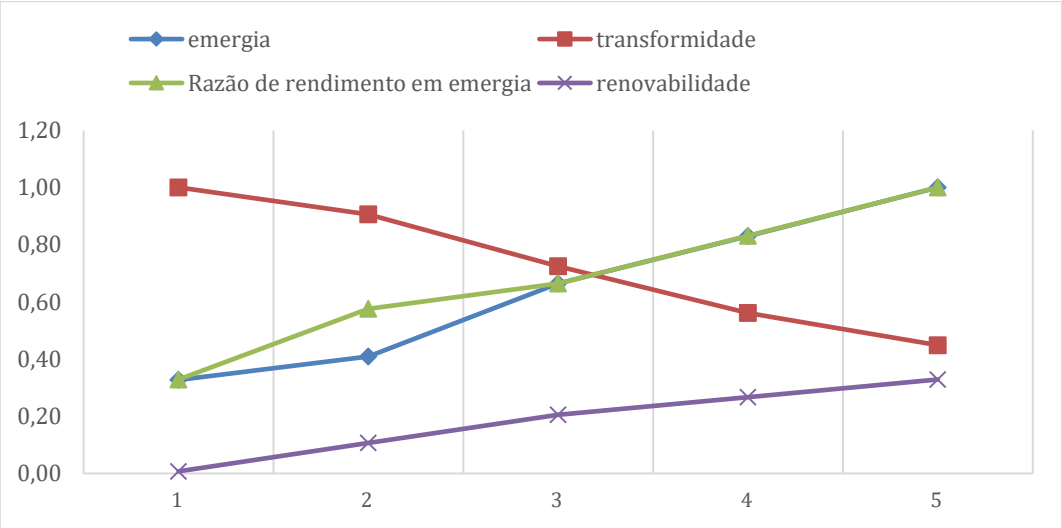
CONDIÇÃO DO CÓRREGO	**SE - SUPORTE**	**SE - REGULAÇÃO**
CÓRREGO LIMPO	**4,14E+20**	**5,74E+12**
CÓRREGO POLUIDO	1,35E+20	4,00E+12

5.2.3 – Análise de Sensibilidade do Córrego Charles de Gaulle

A análise de sensibilidade ajuda a identificar os pontos críticos, onde o processo passa a ser sustentável, seu uso confirma que aplicação da teoria emergética permite uma análise mais completa de toda ação tomada e assim auxilia os tomadores de decisão a aplicar recursos em um determinado ponto da revitalização (OLIVEIRA NETO, et.al., 2017). Neste trabalho, a análise de sensibilidade foi realizada a partir da mudança gradual dos parâmetros de emergia e transformidade utilizados, que possui impacto direto nos indicadores emergéticos para avaliação da sustentabilidade do processo (OLIVEIRA NETO, et.al., 2017).

A figura 26 apresenta a evolução da renovabilidade e da razão de rendimento em emergia, verifica-se a queda da transformidade e o aumento da emergia total, o que demonstra que o processo melhora a sustentabilidade ao diminuir a utilização de energia útil, pois utiliza menos recursos para manutenção da qualidade do local.

Figura 23 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Charles de Gaulle.

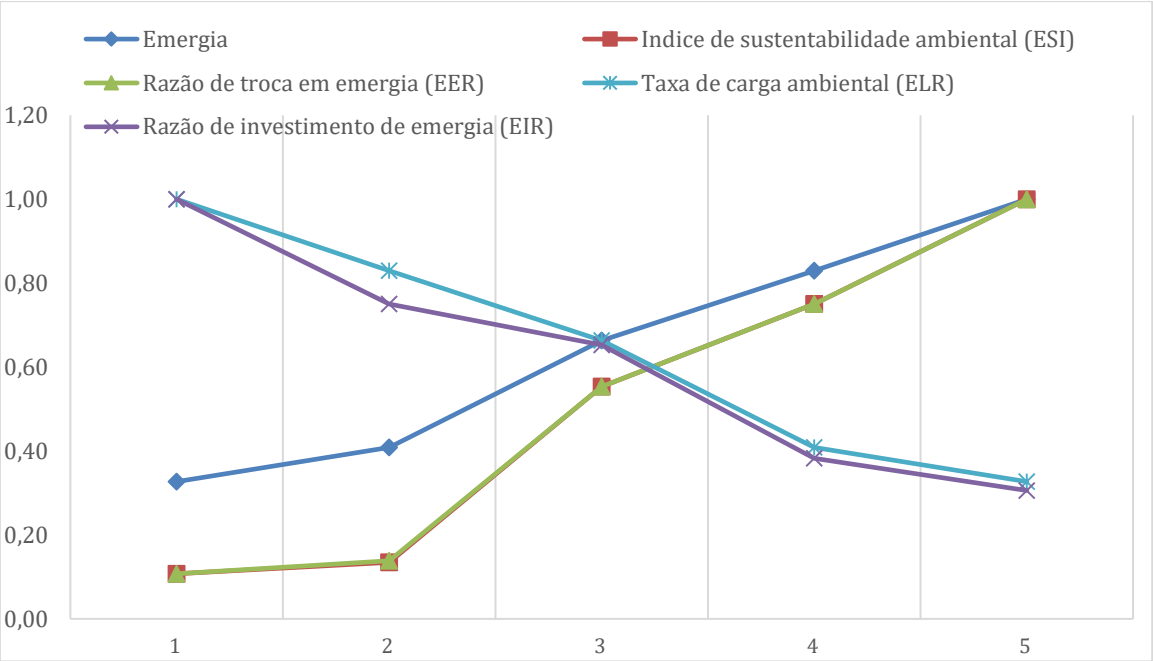


A figura 27 apresenta graficamente as relações entre os indicadores emergéticos que sofrem queda – Taxa de câmbio ambiental e a Razão de Investimento em emergia com os indicadores emergéticos que apresentam crescimento – Índice de sustentabilidade Ambiental e o Índice de troca de emergia.

A análise do gráfico indica o aumento da emergia no sistema, de acordo com as ações para despoluição do córrego, observando que o meio ambiente e consequentemente a energia útil utilizada pelo meio ambiente diminuem, e a emergia do processo aumenta, a água consome menos oxigênio (DBO) para realizar a limpeza do local, identificando a melhoria nos outros indicadores pelo aumento da sustentabilidade local e no índice de troca da emergia consumida pela fornecida.

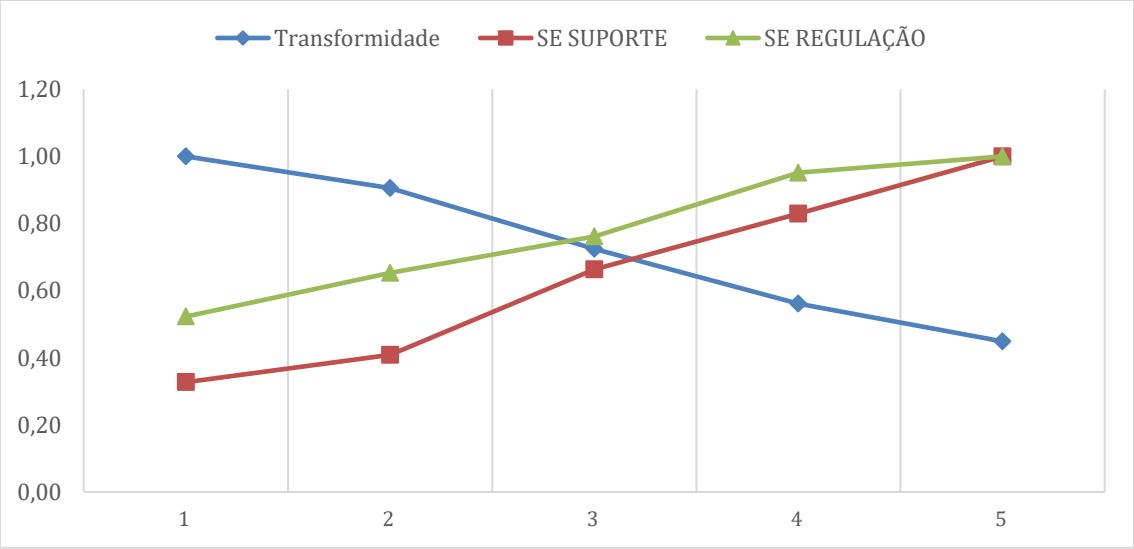
Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados na figura 6, demonstrando a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade, os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 24 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Charles de Gaulle



Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados pelo gráfico apresentado na figura 28, que demonstra a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade , os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 25 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no córrego Charles de Gaulle



5.3 – Avaliação emergética do Córrego Tenente Rocha

A tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados para realização dos cálculos realizados para avaliação emergética do córrego Tenente Rocha, replicando o procedimento utilizado no córrego Charles de Gaulle para validação da teoria emergética na despoluição de rios urbanos. A utilização do procedimento de avaliação emergética contribuiu na melhoria da despoluição de rios urbanos como demonstrado na tabela 8, ao se observar que os indicadores analisados antes e depois da despoluição apresentam resultados positivos.

Tabela 7 - Parâmetros emergéticos córrego Tenente Rocha

Córrego Tenente Rocha					
Código	**Item**	**Valor (unidades/ano)**	**Unidade**	**Tr (sej/unidade)**	**Emergia (sej/ano)**
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	1,93E+07	J/ano	1,00E+00	1,93E+07
R2	Chuva	3,02E+10	J/ano	1,82E+04	5,50E+14
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N)					
N	Água do córrego com esgoto	4,66E+12	J/ano	4,10E+04	1,91E+17
N	Água do córrego sem esgoto	4,66E+12	J/ano	2,55E+05	1,19E+18
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos com redes de esgoto	2,31E+03	U$/ano	4,00E+06	9,24E+09
S2	Custos manutenção das margens	7,50E+04	U$/ano	4,00E+06	3,00E+11
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias utilizadas córrego sujo				**1,92E+17**
Y	Soma das emergias utilizadas córrego limpo				**1,19E+18**
Energia do produto (Ep) e cálculo de sua transformidade (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	4,72E+11	J/ano	2,52E+06	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA POLUÍDA	2,33E+12	J/ano	8,22E+04	

O valor da transformidade (TR) antes da despoluição é maior (2,33E+12) do que a transformidade após a revitalização (4,72E+11). Este resultado indica melhoria da eficiência do processo ao diminuir a emergia usada no sistema (PAN, et.al., 2018).

A renovabilidade (%R) apresenta aumento ao longo do período estudado, antes da despoluição (0,29%) e depois da despoluição (16,12%). De acordo com os resultados, a revitalização melhora a sustentabilidade do sistema, pois a renovabilidade aumenta ao longo do tempo (ODUM, 1996).

Os resultados da avaliação do índice de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição é (6,20E+05) e posteriormente ao processo apresenta (3,84E+06) e indica que a sociedade adquire benefícios, o que torna a revitalização economicamente viável na utilização eficaz dos recursos (SUN, et.al., 2019).

A análise do estresse na utilização dos recursos renováveis (água do córrego) é calculada pela taxa de carga ambiental (ELR) e os resultados obtidos na avaliação do processo de despoluição de córregos antes (2,88E-03) e depois (4,63E-04) demonstra a diminuição no estresse causado ao corpo de água (SU, et.al., 2013).

O índice de investimento em emergia (EIR) avaliado na despoluição do córrego estudado apresenta diminuição da intensidade da emergia do processo, antes (1,62E-06) e depois da revitalização (2,60E-07), esses resultados indicam que o processo está contribuindo com o meio ambiente.

Tabela 8 - Indicadores emergéticos do Córrego Tenente Rocha

INDICADOR	FÓRMULA	UNIDADE	RESULTADO POLUÍDO	RESULTADO DESPOLUÍDO
Transformidade	TR = Y/Jsaída	seJ/J	2,33E+12	**4,72E+11**
Renovabilidade	%R= R/Y	1	0,29%	**16,12%**
Razão de rendimento em emergia	EYR=Y/F	1	6,20E+05	**3,84E+06**
Taxa de carga ambiental	ELR=(F+N) /R	1	2,88E-03	4,63E-04
Razão de investimento	EIR=F / I	1	1,62E-06	2,60E-07
Benefício/Carga ambiental	ESI=EYR/ELR	1	2,15E+08	**8,31E+09**
Razão de troca em emergia	EER=Y/($*EIR)	sej/$	1,03E+18	**3,96E+19**

5.3.1 – Avaliação emergética e análise dos investimentos- Córrego Tenente Rocha

A avaliação do índice de sustentabilidade ambiental (ESI) anterior ao processo de despoluição era (2,15E+08), no entanto os investimentos realizados apresentam o aumento da sustentabilidade local para (8,31E+09), ou seja, os investimentos realizados impactaram positivamente no processo de despoluição.

Os cálculos realizados para determinação da razão de troca em emergia (EER), indicam a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição, no córrego, bem como, a análise do valor inicial quando o processo iniciou (1,03E+18 sej/$) e após a melhoria, apresenta aumento da emergia por investimento realizado (3,96E+19 sej/$) que indicam aproveitamento dos recursos utilizados sem aumento do estresse no corpo hídrico (WU, et.al., 2019).

5.3.2 – Avaliação emergética e serviços ecossistêmicos na despoluição do Córrego Tenente Rocha

Os serviços ecossistêmicos avaliados neste trabalho são os de regulação e suporte, de acordo com os dados que foram levantados, e refletem a melhoria da sustentabilidade local, conforme identificado no cálculo do indicador ESI (indicador de sustentabilidade ambiental) que demonstrou numericamente a valoração dos serviços ambientais da região.

Os serviços ecossistêmicos de regulação analisados nesse trabalho consistem na melhoria da qualidade da bacia do córrego Tenente Rocha e evitam que o excesso de poluição e sujeira no leito do córrego causem desastres naturais, tais como, enchentes, diminuindo as chances de alagamentos.

A melhoria na qualidade da água e nos valores da emergia nos serviços ecossistêmicos de regulação influenciam diretamente em questões como a melhoria da qualidade do ar e propiciam a produção de oxigênio, bem como evitam conservação do solo, evitando erosões.

Os resultados apresentados na tabela 10, foram calculados de acordo com as equações 14 e 15 da secção 4.1, e demonstram que existe melhoria na disposição dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pela despoluição do córrego Tenente Rocha.

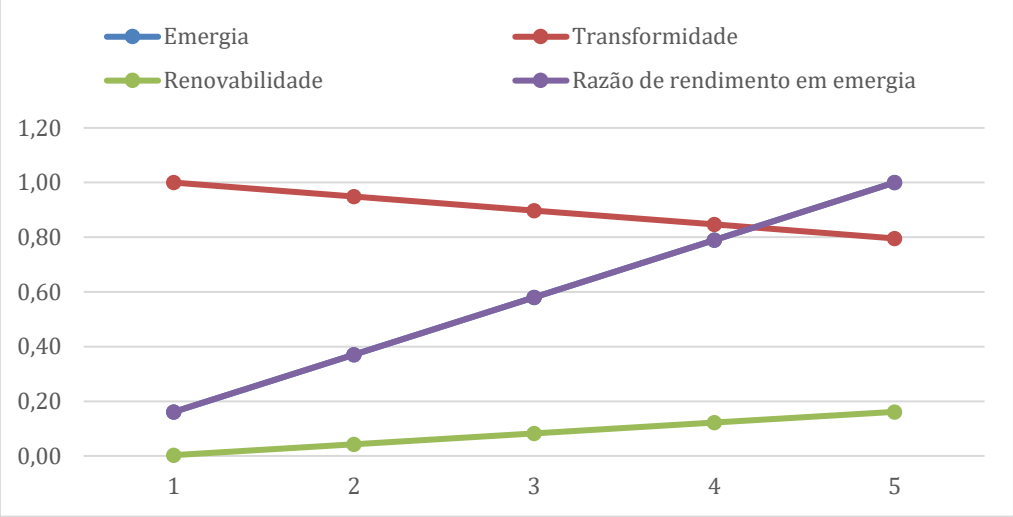
Tabela 9 - Serviços Ecossistêmicos no córrego Tenente Rocha

CONDIÇÃO DO CÓRREGO	SE SUPORTE	SE REGULAÇÃO
CÓRREGO LIMPO	**1,02E+22**	**3,03E+13**
CÓRREGO POLUIDO	1,63E+21	2,24E+13

5.3.3 – Análise de Sensibilidade do Córrego Tenente Rocha

A figura 29 apresenta graficamente a evolução dos indicadores de renovabilidade e de razão de rendimento em emergia, assim como apresenta a queda da transformidade e o aumento da emergia total, o que demonstra exatamente que o processo possui uma tendência de melhoria na sustentabilidade de acordo com a queda na utilização de energia útil pelo sistema, destacando que o meio ambiente utiliza menos recursos para manutenção da qualidade do local.

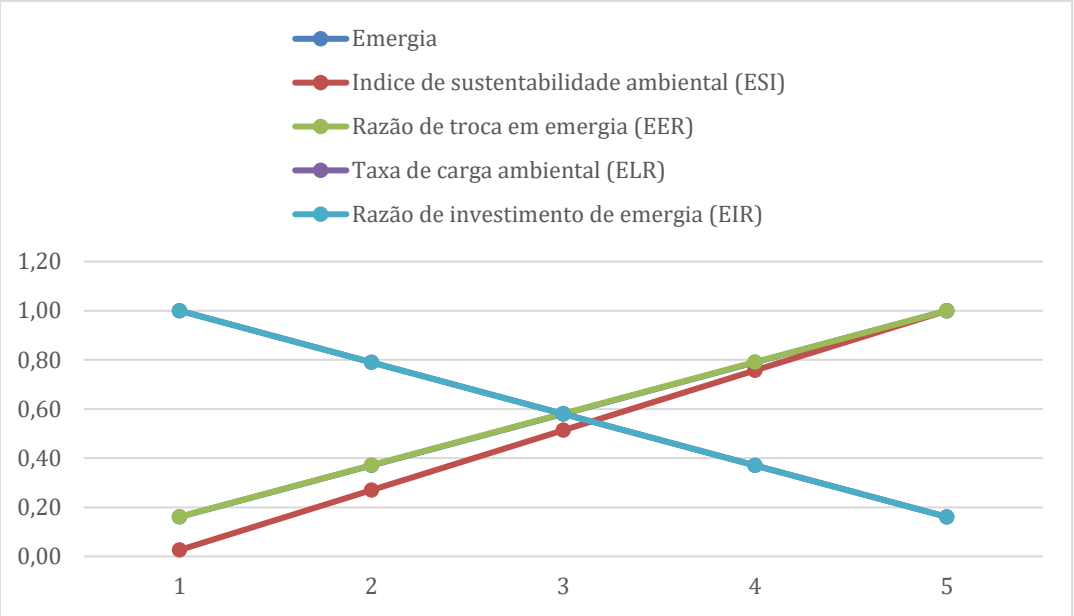
Figura 26 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Tenente Rocha.



A figura 30 apresenta as relações entre os indicadores emergéticos que sofrem queda – Taxa de câmbio ambiental e a Razão de Investimento com os indicadores emergéticos que apresentam crescimento – Índice de sustentabilidade Ambiental e o Índice de troca de emergia. A análise do gráfico indica o aumento da emergia no sistema, de acordo com as ações para despoluição do córrego, observando que o meio ambiente e consequentemente a energia útil utilizada pelo meio ambiente diminuem, e a emergia do processo aumenta, a água consome menos oxigênio (DBO) para realizar a limpeza do local, identificando a melhoria nos outros indicadores pelo aumento da sustentabilidade local e no índice de troca da emergia consumida pela fornecida.

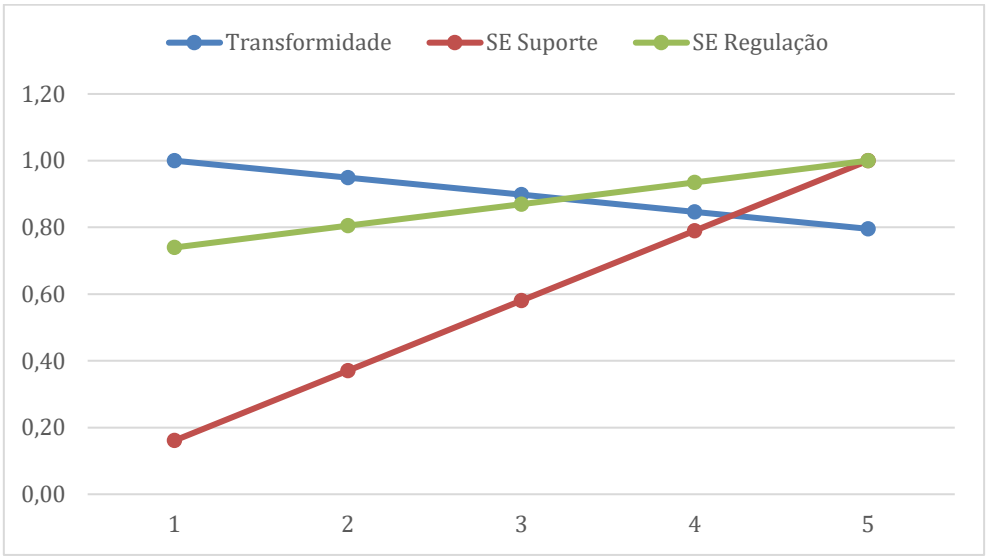
Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são identificados na figura 31, apresentando a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade, os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 27 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Tenente Rocha



Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados pelo gráfico na figura 31, que demonstra a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade, os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 28 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Tenente Rocha



5.4 – Avaliação emergética do Córrego IPESP

A tabela 11 apresenta os parâmetros usados nos cálculos realizados para avaliação emergética do córrego IPESP, replicando o procedimento utilizado no córrego Charles de Gaulle. A procedimento de avaliação emergética permite perceber a melhoria obtida na despoluição do córrego, ao compara os indicadores antes e depois da despoluição.

Tabela 10 - Parâmetros emergéticos córrego IPESP

Córrego IPESP					
Código	**Item**	**Valor (unidades/ano)**	**Unidade**	**Transformidade**	**Emergia (sej/ano)**
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	3,87E+06	J/ano	1,00E+00	3,87E+06
R2	Chuva	6,84E+09	J/ano	1,82E+04	1,24E+14
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N)					
N	Água do corrego com esgoto	1,85E+12	J/ano	4,10E+04	7,59E+16
N	Água do corrego sem esgoto	1,85E+12	J/ano	2,55E+05	4,72E+17
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos com redes de esgoto	3,59E+03	U$/ano	4,00E+06	1,44E+10
S2	Custos com manutenção das margens	3,05E+04	U$/ano	4,00E+06	1,22E+11
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias utilizadas córrego sujo				**7,60E+16**
Y	Soma das emergias utilizadas córrego limpo				**4,72E+17**
Energia do produto (Ep) e cálculo de sua transformidade (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	4,74E+10	J/ano	1,60E+06	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA POLUÍDA	9,30E+11	J/ano	8,17E+04	

O valor da transformidade (TR) calculado antes do processo de despoluição do córrego é maior (9,30E+11) do que a transformidade verificada após a revitalização (2,94E+11), a análise deste resultado demonstra a melhoria da eficiência do processo pela diminuição da emergia utilizada no sistema (PAN, et.al., 2018).

O índice de renovabilidade (R) calculado apresenta aumento ao longo do período estudado, antes da despoluição (0,16%) e depois da despoluição (16,10%). De acordo

com os resultados, a revitalização melhora a sustentabilidade do sistema, pois a renovabilidade aumenta ao longo do tempo (ODUM, 1996).

Os resultados calculados para avaliação do índice de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição é (5,57E+05) e posteriormente ao processo apresenta (3,46E+06) e indica que a sociedade adquire benefícios, o que torna a revitalização economicamente viável na utilização eficaz dos recursos (SUN, et.al., 2019).

A análise do estresse na utilização dos recursos renováveis (água do córrego) é calculada pela taxa de carga ambiental (ELR) e os resultados obtidos na avaliação do processo de despoluição de córregos antes (1,64E-03) e depois (2,64E-04) demonstra a diminuição no estresse causado ao corpo de água (SU, et.al., 2013).

O índice de investimento em emergia (EIR) avaliado na despoluição do córrego estudado apresenta diminuição da intensidade da emergia do processo, antes (1,80E-06) e depois da revitalização (2,89E-07), esses resultados indicam que o processo está contribuindo com o meio ambiente.

Tabela 11 - Indicadores emergéticos do Córrego IPESP

INDICADOR	FÓRMULA	UNIDADE	RESULTADO POLUÍDO	RESULTADO DESPOLUÍDO
Transformidade	TR = Y/J saída	seJ/J	9,30E+11	**2,94E+11**
Renovabilidade	%R= R/Y	%	0,16%	**16,10%**
Razão de rendimento em emergia	EYR=Y/F		5,57E+05	**3,46E+06**
Taxa de carga ambiental	ELR=(F+N) /R		1,64E-03	2,64E-04
Razão de investimento	EIR=F / I		1,80E-06	2,89E-07
Benefício/custo ambiental	ESI=EYR/ELR		3,39E+08	**1,31E+10**
Razão de troca em emergia	EER=Y/($*EIR)		2,35E+17	9,10E+18

5.4.1 – Avaliação emergética e dos investimentos na despoluição do Córrego IPESP

O índice de sustentabilidade ambiental (ESI) anterior ao processo de despoluição era (3,39E+08), no entanto os investimentos realizados apresentam o aumento da sustentabilidade local para (1,31E+10), ou seja, os investimentos realizados impactaram positivamente no processo de despoluição. A razão de troca em emergia (EER), indicam a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição, no córrego, bem como, a análise do valor inicial quando o processo iniciou (2,35E+17 sej/$) e após a melhoria, apresenta aumento da emergia por investimento realizado (9,10E+18

sej/$) que indicam aproveitamento dos recursos utilizados sem aumento do estresse no corpo hídrico (WU, et.al., 2019).

5.4.2 – Avaliação emergética e serviços ecossistêmicos -despoluição Córrego IPESP

Os serviços ecossistêmicos avaliados neste trabalho são os de regulação e suporte, de acordo com os dados que foram levantados, e refletem a melhoria da sustentabilidade local, conforme identificado no cálculo do indicador ESI (indicador de sustentabilidade ambiental) que demonstrou numericamente a valoração dos serviços ambientais da região.

Os serviços ecossistêmicos de regulação analisados nesse trabalho consistem na melhoria da qualidade da bacia do córrego IPESP e evitam que o excesso de poluição e sujeira no leito do córrego causem desastres naturais, tais como, enchentes, diminuindo as chances de alagamentos.

A melhoria na qualidade da água e nos valores da emergia nos serviços ecossistêmicos de regulação influenciam diretamente em questões como a melhoria da qualidade do ar e propiciam a produção de oxigênio, bem como evitam conservação do solo, evitando erosões.

Os resultados apresentados na tabela 13, foram calculados de acordo com as equações 14 e 15 da secção 4.1, e demonstram que existe melhoria na disposição dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pela despoluição do córrego IPESP.

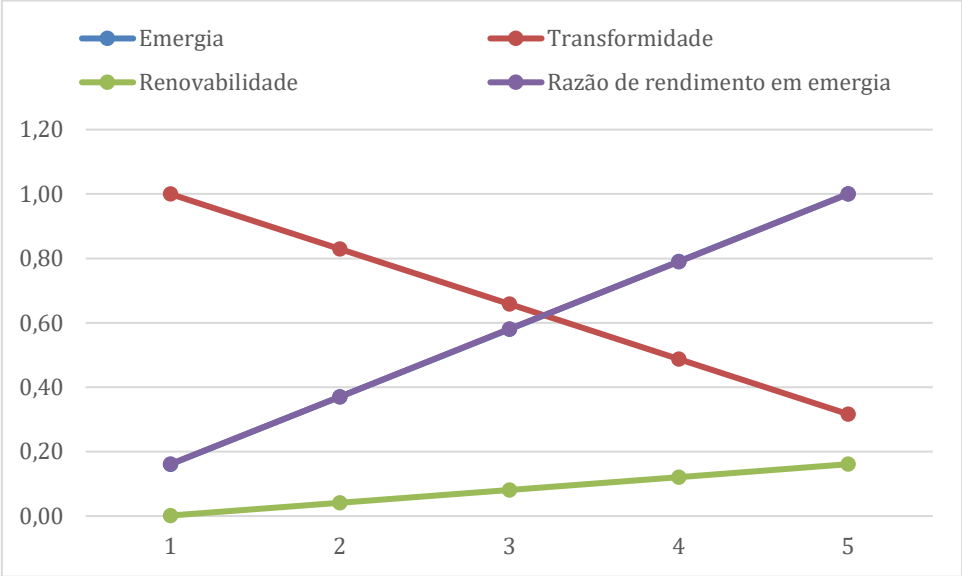
Tabela 12 - Serviços Ecossistêmicos no córrego IPESP

CONDIÇÃO DO CÓRREGO	SE SUPORTE	SE REGULAÇÃO
CÓRREGO LIMPO	**4,03E+21**	**6,12E+12**
CÓRREGO POLUIDO	6,49E+20	5,48E+12

5.4.3 – Análise de Sensibilidade do Córrego IPESP

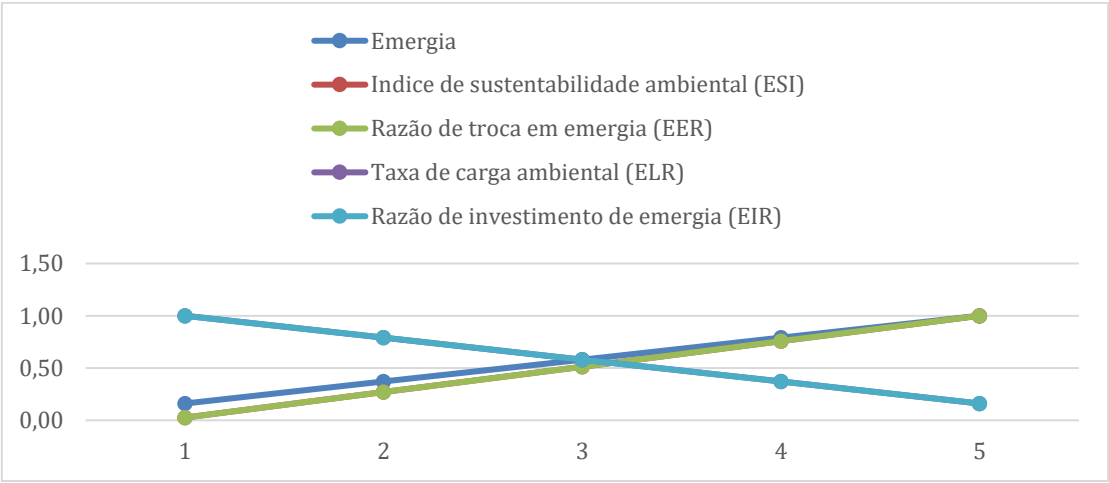
A figura 32 apresenta graficamente a evolução dos indicadores de renovabilidade e de razão de rendimento em emergia, assim como apresenta a queda da transformidade e o aumento da emergia total, o que demonstra exatamente que o processo possui uma tendência de melhoria na sustentabilidade de acordo com a queda na utilização de energia útil pelo sistema, destacando que o meio ambiente utiliza menos recursos para manutenção da qualidade do local.

Figura 29 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego IPESP



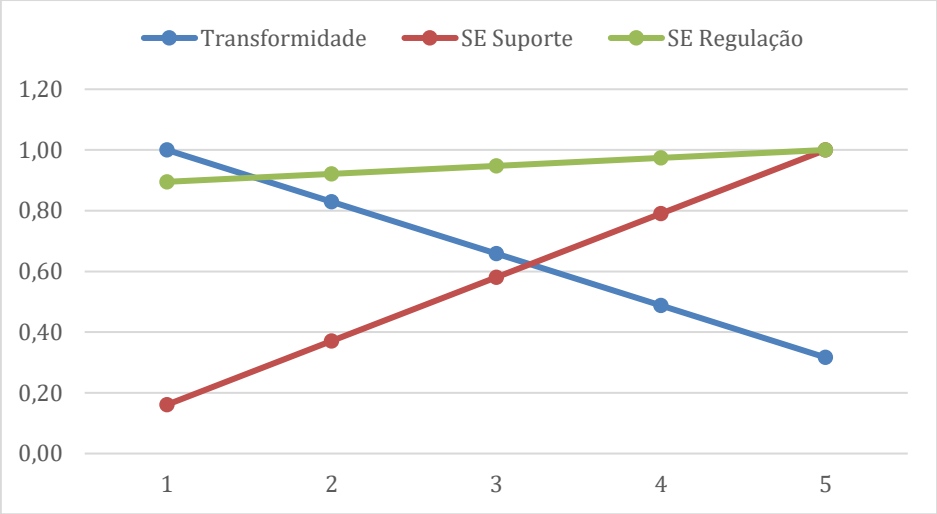
A figura 33 apresenta graficamente as relações entre os indicadores emergéticos que sofrem queda – Taxa de câmbio ambiental e a Razão de Investimento em emergia com os indicadores emergéticos que apresentam crescimento – Índice de sustentabilidade Ambiental e o Índice de troca de emergia. O gráfico indica o aumento da emergia no sistema, de acordo com as ações para despoluição do córrego, observando que o meio ambiente e consequentemente a energia útil utilizada pelo meio ambiente diminuem, e a emergia do processo aumenta, a água consome menos oxigênio (DBO) para realizar a limpeza do local, identificando a melhoria nos outros indicadores pelo aumento da sustentabilidade local e no índice de troca da emergia consumida pela fornecida.

Figura 30 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego IPESP



Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados no gráfico da figura 34, que demonstra a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade , os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 31 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego IPESP



5.5 – Avaliação emergética do Córrego Ciclovia (Horto)

A tabela 14 apresenta os parâmetros utilizados na avaliação emergética do córrego Ciclovia, replicando o procedimento utilizado no córrego Charles de Gaulle. A utilização do procedimento de avaliação emergética contribuiu na melhoria da despoluição de rios urbanos como demonstrado na tabela 15, ao se observar que os indicadores analisados antes e depois da despoluição apresentam resultados positivos.

Tabela 13 - Parâmetros emergéticos córrego Ciclovia

Córrego Ciclovia					
Código	**Item**	**Valor (unidades/ano)**	**Unidade**	**Transformidade**	**Emergia (sej/ano)**
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	4,84E+06	J/ano	1,00E+00	4,84E+06
R2	Chuva	8,55E+09	J/ano	1,82E+04	1,56E+14
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N)					
N	Água do córrego com esgoto	3,52E+11	J/ano	4,10E+04	1,44E+16
N	Água do córrego sem esgoto	6,33E+10	J/ano	2,55E+05	1,61E+16
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos com redes de esgoto	2,05E+03	U$/ano	4,00E+06	8,21E+09
S2	Custos com manutenção das margens	1,13E+04	U$/ano	4,00E+06	4,52E+10
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias utilizadas córrego sujo				**1,46E+16**
Y	Soma das emergias utilizadas córrego limpo				**1,63E+16**
Energia do produto (Ep) e cálculo de sua transformidade (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	6,33E+09	J/ano	**2,30E+06**	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA POLUÍDA	1,76E+11	J/ano	8,29E+04	

O valor da transformidade (TR) calculado antes do processo de despoluição do córrego é maior (1,76E+11) do que a transformidade verificada após a revitalização (7,07E+09), a análise deste resultado demonstra a melhoria da eficiência do processo pela diminuição da emergia utilizada no sistema (PAN, et.al., 2018).

O índice de renovabilidade (R) calculado apresenta aumento ao longo do período estudado, antes da despoluição (1,08%) e depois da despoluição (89,56%). De acordo com os resultados, a revitalização melhora a sustentabilidade do sistema, pois a renovabilidade aumenta ao longo do tempo (ODUM, 1996).

Os resultados calculados para avaliação do índice de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição é (2,73E+05) e posteriormente ao processo apresenta (3,05E+05) e indica que a sociedade adquire benefícios, o que torna a revitalização economicamente viável na utilização eficaz dos recursos (SUN, et.al., 2019).

A análise do estresse na utilização dos recursos renováveis (água do córrego) é calculada pela taxa de carga ambiental (ELR) e os resultados obtidos na avaliação do processo de despoluição de córregos antes (1,08E-02) e depois (9,65E-03) demonstra a diminuição no estresse causado ao corpo de água (SU, et.al., 2013).

O índice de investimento em emergia (EIR) avaliado na despoluição do córrego estudado apresenta diminuição da intensidade da emergia do processo, antes (3,70E-06) e depois da revitalização (3,31E-06), esses resultados indicam que o processo está contribuindo com o meio ambiente.

Tabela 14 - Indicadores emergéticos do Córrego Ciclovia

INDICADOR	FÓRMULA	UNIDADE	RESULTADO POLUÍDO	RESULTADO DESPOLUÍDO
Transformidade	TR = Y/Jsaída	1	1,76E+11	**7,07E+09**
Renovabilidade	%R= R/Y	1	1,08%	**89,56%**
Razão de rendimento em emergia	EYR=Y/F	1	2,73E+05	**3,05E+05**
Taxa de carga ambiental	ELR=(F+N) /R	1	1,08E-02	9,65E-03
Razão de investimento de emergia	EIR=F / I	1	3,70E-06	3,31E-06
Indice de sustentabilidade ambiental	ESI=EYR/ELR	1	2,53E+07	**3,16E+07**
Razão de troca em emergia	EER=Y/($*EIR)	sej/$	3,84E+16	4,80E+16

5.5.1 – Avaliação emergética e análise dos investimentos na despoluição do Córrego Ciclovia

A avaliação do índice de sustentabilidade ambiental (ESI) anterior ao processo de despoluição era (2,53E+07), no entanto os investimentos realizados apresentam o aumento da sustentabilidade local para (3,16E+07), ou seja, os investimentos realizados impactaram positivamente no processo de despoluição.

Os cálculos realizados para determinação da razão de troca em emergia (EER), indicam a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição, no córrego, bem como, a análise do valor inicial quando o processo iniciou

(3,84E+16 sej/$) e após a melhoria, apresenta aumento da emergia por investimento realizado (4,80E+16 sej/$) que indicam aproveitamento dos recursos utilizados sem aumento do estresse no corpo hídrico (WU, et.al., 2019).

5.5.2 – Avaliação emergética e serviços ecossistêmicos -despoluição Córrego Ciclovia

Os serviços ecossistêmicos avaliados neste trabalho são os de regulação e suporte, de acordo com os dados que foram levantados, e refletem a melhoria da sustentabilidade local, conforme identificado no cálculo do indicador ESI (indicador de sustentabilidade ambiental) que demonstrou numericamente a valoração dos serviços ambientais da região.

Os serviços ecossistêmicos de regulação analisados nesse trabalho consistem na melhoria da qualidade da bacia do córrego Ciclovia e evitam que o excesso de poluição e sujeira no leito do córrego causem desastres naturais, tais como, enchentes, diminuindo as chances de alagamentos.

A melhoria na qualidade da água e nos valores da emergia nos serviços ecossistêmicos de regulação influenciam diretamente em questões como a melhoria da qualidade do ar e propiciam a produção de oxigênio, bem como evitam conservação do solo, evitando erosões.

Os resultados apresentados na tabela 16, foram calculados de acordo com as equações 14 e 15 da secção 4.1, e demonstram que existe melhoria na disposição dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pela despoluição do córrego Ciclovia.

Tabela 15 - Serviços ecossistêmicos Córrego Ciclovia

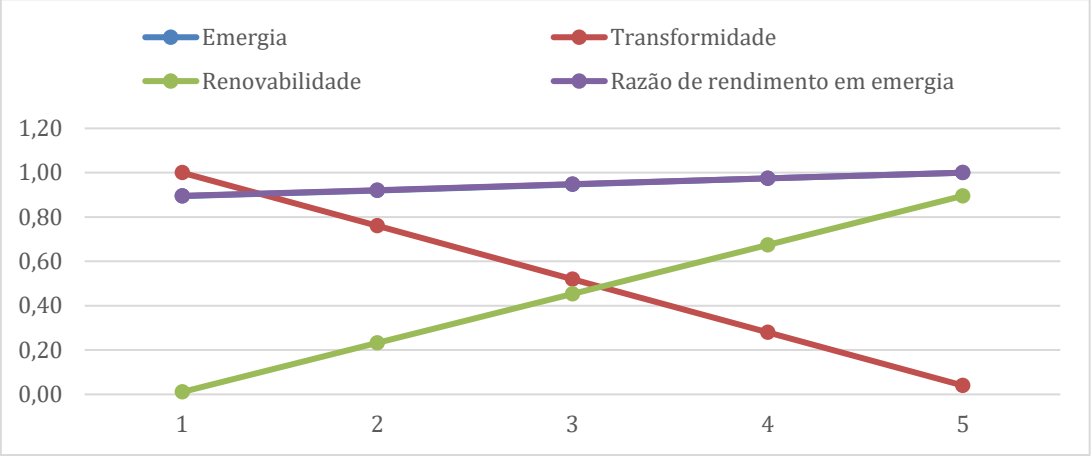
CONDIÇÃO DO CÓRREGO	SE SUPORTE	SE REGULAÇÃO
CÓRREGO LIMPO	**1,38E+20**	**7,65E+12**
CÓRREGO POLUIDO	1,23E+20	6,85E+12

5.5.3 – Análise de Sensibilidade do Córrego Ciclovia

A figura 35 apresenta graficamente a evolução dos indicadores de renovabilidade e de razão de rendimento em emergia, assim como apresenta a queda da transformidade e o aumento da emergia total, o que demonstra exatamente que o processo possui uma tendência de melhoria na sustentabilidade de acordo com a queda na utilização de energia

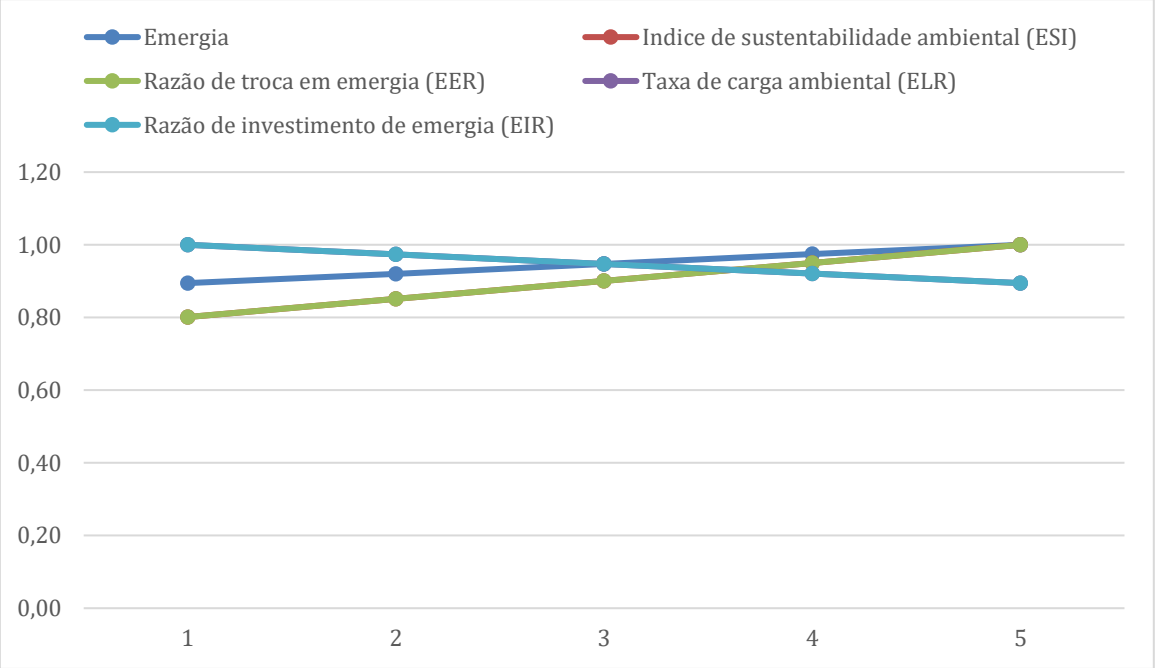
útil pelo sistema, destacando que o meio ambiente utiliza menos recursos para manutenção da qualidade do local.

Figura 32 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Ciclovia



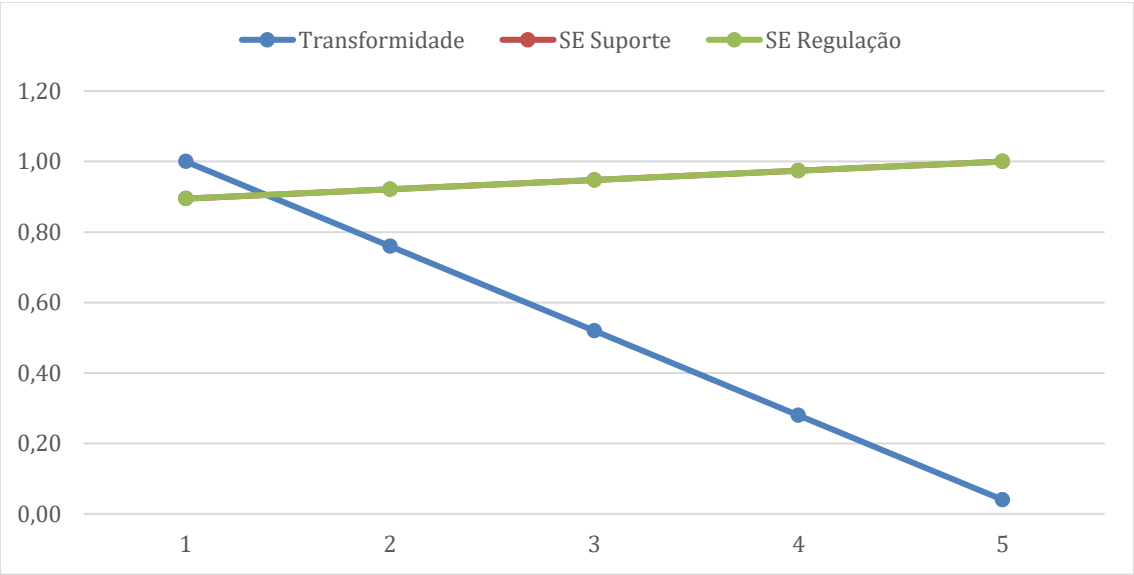
A figura 36 mostra as relações entre os indicadores emergéticos que sofrem queda (Taxa de câmbio ambiental e a Razão de Investimento em emergia) com os indicadores emergéticos que apresentam crescimento (Índice de sustentabilidade Ambiental e o Índice de troca de emergia). A análise indica o aumento da emergia no sistema, devido as ações de despoluição do córrego, sendo que a energia do meio ambiente diminui, e a emergia do processo aumenta, a água consome menos oxigênio (DBO), há um aumento da sustentabilidade local e no índice de troca da emergia consumida pela fornecida.

Figura 33 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Ciclovia



Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados na figura 37, que demonstra a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade, os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 34 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Ciclovia



5.6 – Avaliação emergética do Córrego Elisa Maria

A tabela 17 apresenta os parâmetros utilizados para realização dos cálculos realizados para avaliação emergética do córrego Elisa Maria, replicando o procedimento utilizado no córrego Charles de Gaulle para validação da teoria emergética na despoluição de rios urbanos. A utilização do procedimento de avaliação emergética contribuiu na melhoria da despoluição de rios urbanos como demonstrado na tabela 18, ao se observar que os indicadores analisados antes e depois da despoluição indicam resultados positivos.

Tabela 16 - Parâmetros emergéticos córrego Elisa Maria

Córrego Elisa Maria					
Código	Item	Valor (unidades/ano)	Unidade	Tr (sej/J)	Emergia (sej/ano)
RECURSOS DA NATUREZA (I)					
R1	Sol	1,93E+06	J/ano	1,00E+00	1,93E+06
R2	Chuva	3,42E+06	J/ano	1,82E+04	6,23E+10
RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS (N)					
N	Água do córrego com esgoto	1,94E+11	J/ano	4,10E+04	7,95E+15
N	Água do corrego sem esgoto	1,27E+11	J/ano	2,55E+05	3,24E+16
RECURSOS UTILIZADOS (F)					
S1	Custos com redes de esgoto	6,05E+03	U$/ano	4,00E+06	2,42E+10
S2	Custos com manutenção margens	1,05E+04	U$/ano	4,00E+06	4,18E+10
EMERGIA TOTAL UTILIZADA (Y)					
Y	Soma das emergias córrego sujo				7,95E+15
Y	Soma das emergias córrego limpo				3,24E+16
Energia do produto (Ep) e sua transformidade (Tr)					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	5,22E+10	J/ano	1,52E+05	
RESULTADO SEM ALTERAÇÃO DA DBO					
Ep	ÁGUA DESPOLUÍDA	1,16E+12	J/ano	6,86E+03	

O valor da transformidade (TR) calculado antes do processo de despoluição do córrego é maior (1,16E+12) do que a transformidade verificada após a revitalização (2,13E+11), a análise deste resultado demonstra a melhoria da eficiência do processo pela diminuição da emergia utilizada no sistema (PAN, et.al., 2018).

O índice de renovabilidade (R) calculado apresenta aumento ao longo do período estudado, antes da despoluição pois, antes da despoluição o córrego apresentava uma renovabilidade que tendia a zero (0,0%) e depois da despoluição (24,56%). De acordo com os resultados, a revitalização melhora a sustentabilidade do sistema, pois a renovabilidade aumenta ao longo do tempo (ODUM, 1996).

Os resultados calculados para avaliação do índice de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição é (1,20E+05) e posteriormente ao processo apresenta

(4,90E+05) e indica que a sociedade adquire benefícios, o que torna a revitalização economicamente viável na utilização eficaz dos recursos (SUN, et.al., 2019).

A análise do estresse na utilização dos recursos renováveis (água do córrego) é calculada pela taxa de carga ambiental (ELR) e os resultados obtidos na avaliação do processo de despoluição de córregos antes (1,61E-05) e depois (3,96E-06) demonstra a diminuição no estresse causado ao corpo de água (SU, et.al., 2013).

O índice de investimento em emergia (EIR) avaliado na despoluição do córrego estudado apresenta diminuição da intensidade da emergia do processo, antes (8,30E-06) e depois da revitalização (2,04E-06), esses resultados indicam que o processo está contribuindo com o meio ambiente.

Tabela 17 - Indicadores emergéticos do Córrego Elisa Maria

INDICADOR	**FÓRMULA**	**UNIDADE**	**RESULTADO POLUÍDO**	**RESULTADO DESPOLUÍDO**
Transformidade	TR = Y/J saída	seJ/J	1,16E+12	**2,13E+11**
Renovabilidade	%R= R/Y	%	0,00%	**24,56%**
Razão de rendimento	EYR=Y/F		1,20E+05	**4,90E+05**
Taxa de carga ambiental	ELR=(F+N) /R		1,61E-05	**3,96E-06**
Razão de investimento	EIR=F / I		8,30E-06	**2,04E-06**
(Benefício/Carga ambiental)	ESI=EYR/ELR		7,47E+09	**1,24E+11**
Razão de troca em emergia	EER=Y/($*EIR)		7,70E+14	**1,28E+16**

Os resultados da avaliação emergética realizada na bacia do córrego Elisa Maria demonstram que os investimentos realizados contribuíram para sustentabilidade do local.

A avaliação do índice de sustentabilidade ambiental (ESI) anterior ao processo de despoluição era (7,47E+09), no entanto os investimentos realizados apresentam o aumento da sustentabilidade local para (1,24E+11), ou seja, os investimentos realizados impactaram positivamente no processo de despoluição.

Os cálculos realizados para determinação da razão de troca em emergia (EER), indicam a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição, no córrego, bem como, a análise do valor inicial quando o processo iniciou (7,70E+14 sej/$) e após a melhoria, apresenta aumento da emergia por investimento realizado (1,28E+16 sej/$) que indicam aproveitamento dos recursos utilizados sem aumento do estresse no corpo hídrico (WU, et.al., 2019).

5.6.1 – Avaliação emergética e serviços ecossistêmicos - Córrego Elisa Maria

Os serviços ecossistêmicos avaliados neste trabalho são os de regulação e suporte, de acordo com os dados que foram levantados, e refletem a melhoria da sustentabilidade local, conforme identificado no cálculo do indicador ESI (indicador de sustentabilidade ambiental) que demonstrou numericamente a valoração dos serviços ambientais da região.

Os serviços ecossistêmicos de regulação analisados nesse trabalho consistem na melhoria da qualidade da bacia do córrego Elisa Maria e evitam que o excesso de poluição e sujeira no leito do córrego causem desastres naturais, tais como, enchentes, diminuindo as chances de alagamentos.

A melhoria na qualidade da água e nos valores da emergia nos serviços ecossistêmicos de regulação influenciam diretamente em questões como a melhoria da qualidade do ar e propiciam a produção de oxigênio, bem como evitam conservação do solo, evitando erosões.

Os resultados apresentados na tabela 19, foram calculados de acordo com as equações 14 e 15 da secção 4.1, e demonstram que existe melhoria na disposição dos serviços ecossistêmicos disponibilizados pela despoluição do córrego Elisa Maria.

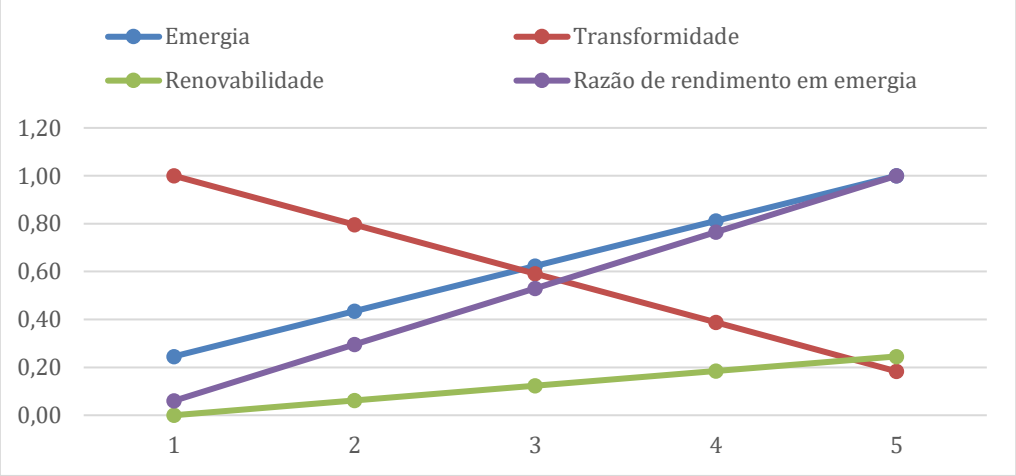
Tabela 18 - Serviços ecossistêmicos Córrego Elisa Maria

CONDIÇÃO DO CÓRREGO	SE SUPORTE	SE REGULAÇÃO
CÓRREGO LIMPO	**2,77E+20**	**3,06E+12**
CÓRREGO POLUIDO	6,80E+19	1,51E+12

5.6.2 – Análise de Sensibilidade do Córrego Elisa Maria

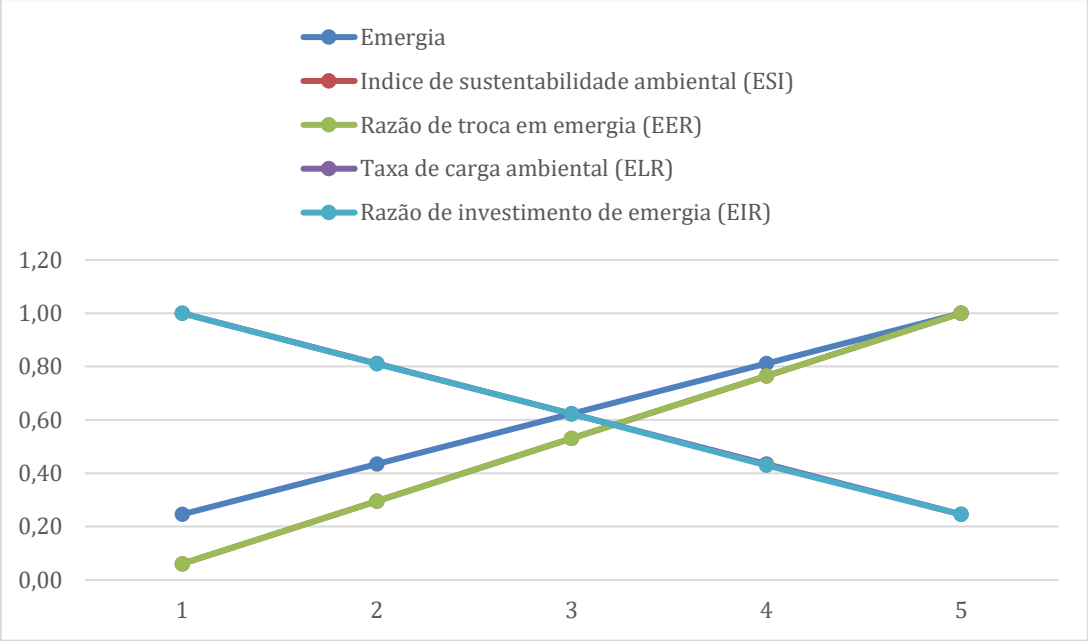
A figura 38 apresenta graficamente a evolução dos indicadores de renovabilidade e de razão de rendimento em emergia, assim como apresenta a queda da transformidade e o aumento da emergia total, o que demonstra exatamente que o processo possui uma tendência de melhoria na sustentabilidade de acordo com a queda na utilização de energia útil pelo sistema, destacando que o meio ambiente utiliza menos recursos para manutenção da qualidade do local.

Figura 35 - Analise de sensibilidade emergia, transformidade, razão de rendimento em emergia e renovabilidade no Córrego Elisa Maria



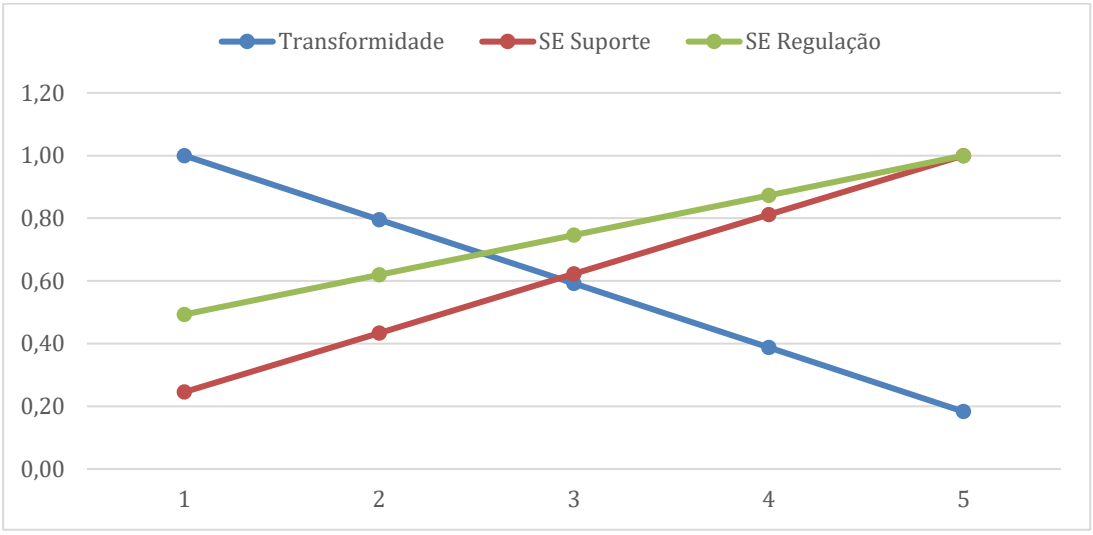
A figura 39 apresenta graficamente as relações entre os indicadores emergéticos que sofrem queda – Taxa de câmbio ambiental e a Razão de Investimento em emergia com os indicadores emergéticos que apresentam crescimento – Índice de sustentabilidade Ambiental e o Índice de troca de emergia. A análise do gráfico indica o aumento da emergia no sistema, de acordo com as ações para despoluição do córrego, observando que o meio ambiente e consequentemente a energia útil utilizada pelo meio ambiente diminuem, e a emergia do processo aumenta, a água consome menos oxigênio (DBO) para realizar a limpeza do local, identificando a melhoria nos outros indicadores pelo aumento da sustentabilidade local e no índice de troca da emergia consumida pela fornecida.

Figura 36 - Análise de sensibilidade emergia, Taxa de carga Ambiental, Razão de investimento de emergia, Índice de sustentabilidade Ambiental e Razão de troca em emergia no córrego Elisa Maria



Os serviços ecossistêmicos calculados pela avaliação emergética realizada neste trabalho são apresentados pelo gráfico da figura 40, que demonstra a evolução na disposição dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte a partir da identificação gráfica na queda da transformidade do sistema estudado, ou seja, com a melhoria na qualidade da água do córrego e consequente aumento da sustentabilidade , os indicadores emergéticos apresentam crescimento, enquanto o consume da emergia pelo sistema é reduzido.

Figura 37 - Análise de sensibilidade dos Serviços ecossistêmicos e da Transformidade no Córrego Elisa Maria



5.7 – Resultados das avaliações no conjunto de córregos estudados

A aplicação da metodologia emergética nos córregos avaliados, identificou que aspectos como a área, a população e os custos envolvidos na despoluição são distintos. Esses aspectos identificados pela pesquisa na concepção dos indicadores emergéticos, contribuíram com a demonstração da aplicabilidade da teoria no processo de despoluição.

A tabela 20 apresenta o conjunto de indicadores calculados nos cinco córregos estudados nesta tese.

Tabela 20 – Conjunto de indicadores nos córregos avaliados

	Transformidade	Renovabilidade	Razão de rendimento em emergia	Taxa de carga ambiental	Razão de investimento de emergia	Índice de sustentabilidade ambiental	Razão de troca em emergia
CHARLES DE GAULLE	1,73E+11	32,86%	1,35E+05	2,42E-03	7,44E-06	5,57E+07	4,62E+16
TENENTE ROCHA	2,93E+12	16,12%	3,84E+06	4,63E-04	2,60E-07	8,31E+09	3,96E+19
IPESP	2,94E+11	16,10%	3,46E+06	2,64E-04	2,89E-07	1,31E+10	9,10E+18
CICLOVIA	7,07E+09	89,56%	3,05E+05	9,65E-03	3,31E-06	3,16E+07	4,80E+16
ELISA MARIA	2,13E+11	24,56%	4,90E+05	3,96E-06	2,04E-06	1,24E+11	1,28E+16

O valor da transformidade (TR) calculado nos cinco córregos e apresentado individualmente nos capítulos anteriores e em conjunto na tabela 20, demonstra a eficiência do processo, de acordo com a diminuição da emergia utilizada pelo sistema, pela melhoria da qualidade da água, ocasionada pelas ações de revitalização e demonstradas pela melhoria da transformidade calculada em todos os casos.

O efeito das ações de revitalização é apresentado pelo índice de renovabilidade (%R) calculado que demonstra o aumento em todos os córregos estudados e uma tendência de aumento de acordo com as características do local estudado, o córrego Ciclovia que está localizado dentro do parque do Horto Florestal em São Paulo, possui maior renovabilidade do que os outros córregos que estão localizados em áreas abertas totalmente urbanizadas.

A demonstração do aumento em todos os casos estudados do índice de rendimento em emergia (EYR) indica que a sociedade adquire benefícios, o que torna a revitalização

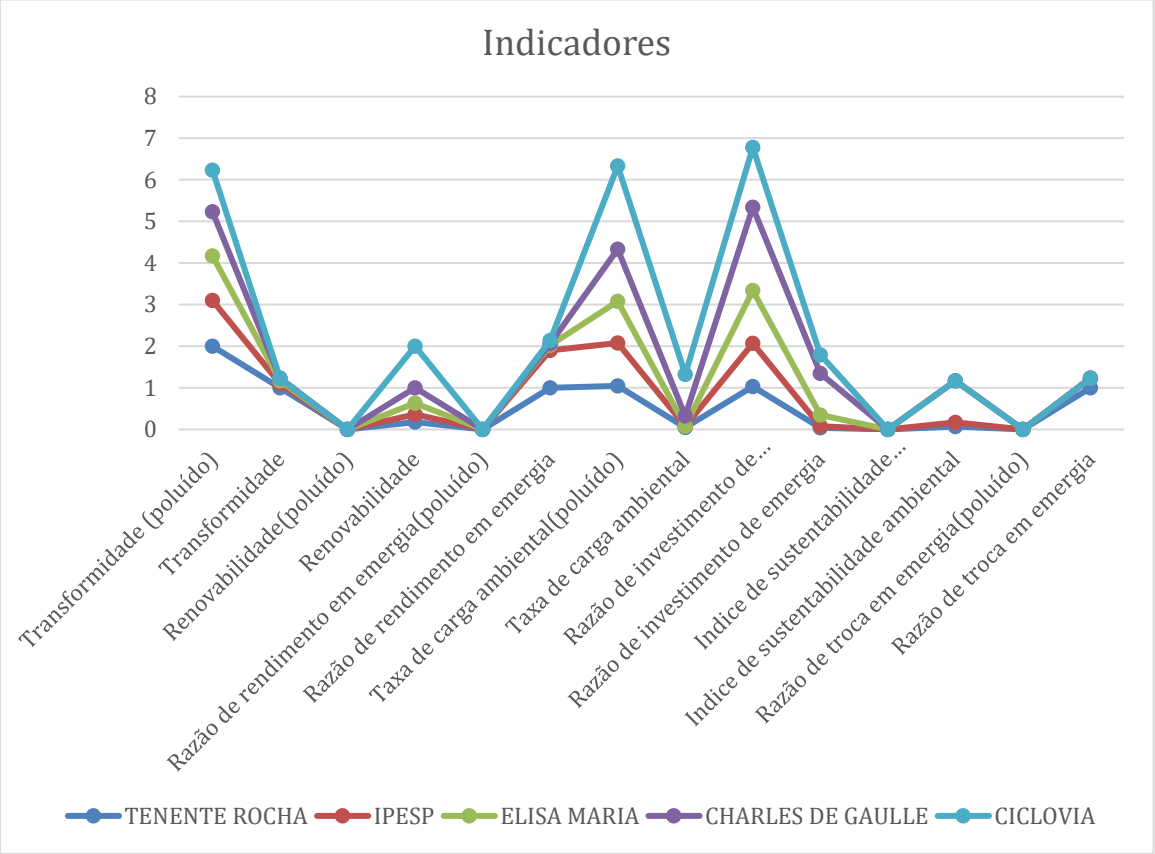
economicamente viável na utilização eficaz dos recursos e causando um efeito de melhoria em todos os locais estudados.

Os efeitos da análise de estresse na utilização dos recursos renováveis (água do córrego) é demonstrado pelo cálculo da taxa de carga ambiental (ELR), assim como o razão de investimento em emergia (EIR) analisados em conjunto demonstram que os resultados obtidos na avaliação do processo de despoluição de córregos indicam uma tendência de melhoria ambiental em todos os casos estudados e que o córrego Elisa Maria possui os melhores resultados pois, foi o local que recebeu maior investimento, devido as características anteriores ao processo.

Os efeitos da melhoria da razão de troca em emergia (EER) indicam que a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição no córrego impactaram positivamente no processo de despoluição, assim como, a razão de troca em emergia (EER) demonstra a utilização eficiente dos recursos disponibilizados para o processo de despoluição, causando o aproveitamento dos recursos utilizados sem aumento do estresse nos corpos hídricos

A figura 41 apresenta graficamente os resultados dos cálculos estudados para cada um dos indicadores emergéticos, demonstrando que a aplicação de emergia em todos os casos segue uma tendência em todos os locais, independente das características da região estudada.

Figura 41 – Conjunto de indicadores nos córregos estudados



O estudo de caso múltiplo apresentou a aplicabilidade dos indicadores emergéticos nos córregos estudados, demonstrando a mesma tendência em todos os indicadores para cada um dos córregos avaliados neste trabalho.

6 – DISCUSSÕES

Os resultados apurados demonstram o potencial existente na literatura atual para aplicação da metodologia de indicadores emergéticos para análise dos serviços ecossistêmicos em processos de despoluição de rios urbanos, pois a metodologia possui aplicações similares, ZHONG, et.al, (2018); PULSELLI, et.al., (2011), muito embora estes trabalhos não tenham tratado diretamente de despoluição de rios urbanos.

Os resultados apurados e a proposta de aplicação da avaliação emergética demonstram o potencial existente para aplicação da metodologia de indicadores emergéticos para análise dos serviços ecossistêmicos em processos de despoluição de rios urbanos, como adotado na verificação dos indicadores emergéticos em áreas úmidas por SONG, et.al. (2020), muito embora a adoção de uma avaliação emergética de sustentabilidade para demonstração dos serviços ecossistêmicos em processos de despoluição de rios urbanos, não foi identificado por esse estudo.

Os resultados deste estudo contribuem com a teoria ao apresentar a utilização de emergia em processos de despoluição de rios urbanos, além de demonstrar a aplicabilidade da avaliação emergética em processos de revitalização a partir de estudos complexos que envolvem engenharia, questões climáticas e a sociedade, assim como apresentado por PULSELLI, et.al. (2011) em seu trabalho sobre escassez hídrica urbana.

No que tange as contribuições para a sociedade propriamente dita, o estudo apresentado demonstra que a melhoria dos investimentos para revitalização de rios urbanos auxilia na disposição correta dos investimentos, sustentabilidade e na melhoria da relação entre o meio ambiente e os seres humanos.

A contribuição deste estudo para as práticas organizacionais que promovem a revitalização de rios urbanos está relacionada com a aplicação simultânea das seguintes cinco ações:

i) Analisar todo o fluxo de energia inserido em um processo de despoluição, desde a qualidade da água (antes e depois da despoluição) até os custos para ampliação das redes de esgotos;

ii) Avaliar a renovabilidade do sistema e a sustentabilidade do processo a partir das emergias calculadas;

iii) Identificar se o processo está consumindo ou disponibilizando energia para o meio ambiente, ou seja, identificar a pressão econômica sobre o ecossistema;

iv) Avaliar se os investimentos realizados são sustentáveis,

v) Indicar se o sistema contribui com equilíbrio ambiental ou se os impactos podem ser absorvidos pelo sistema;

A introdução de um indicador de SE em trabalhos realizados em áreas úmidas (pântanos), SUN, et.al., (2021); SUN, et.al., (2019); demonstraram potencial de melhoria para a sustentabilidade de processos nessas área e possuem semelhança a aplicação a ser estudada, porém não é objetivamente equivalente, sendo uma referência para o desenvolvimento de estudos similares.

A adoção de um indicador emergético de sustentabilidade para demonstração dos serviços ecossistêmicos em processos de despoluição de rios urbanos, não foi identificado por esse estudo, no entanto observa-se a semelhança e a possibilidade de utilização dos parâmetros adotados nos trabalhos de LV, et.al.,(2020); ZHONG, et.al., (2018); ZHANG, et.al.,(2017); PULSELLI, et.al., (2011); LV, et.al., (2018); SUN, et.al., (2019); SU, et.al., (2013); ZENG, et.al., (2010); CHEN, et.al., (2009).

A avaliação emergética contribui com o processo de despoluição de córregos, conforme constatado na aplicação em cinco córregos da cidade de São Paulo, Brasil apresentando a melhoria da eficiência do processo de revitalização de acordo com os indicadores emergéticos adotados: A Transformidade (TR), os índices de renovabilidade (R) antes da despoluição e depois da despoluição, índices de rendimento em emergia (EYR) antes da despoluição e posteriormente ao processo calculados nos cinco córregos que são objetos deste estudo apresentaram melhorias antes do processo do que o calculado posteriormente a revitalização, a introdução de outras energias no sistema (bacia do córrego) demonstra que a despoluição do córrego foi eficiente.. As pesquisas sobre o tema indicam que SU, et.al. (2013) utilizou a emergia para verificar o impacto de ações de limpeza urbana e controle populacional, bem como ZHANG, et.al. (2017) propôs a utilização de emergia para avaliação da saúde em corpos hídricos e PULSELLI, et.al. (2013), apresentou a necessidade de avaliação emergética em questões de perda de água, bem como, a análise do meio ambiente em regiões urbanas realizada por LV, et.al. (2020). Com isso, esse foi o primeiro estudo que aplicou a avaliação emergética em processo de despoluição de um córrego urbano, indicando que a utilização de um procedimento de

avaliação emergética contribui com a aplicação de uma nova teoria para avaliar a sustentabilidade em ações deste porte, assim como, a aplicação deste procedimento melhora os resultados obtidos e auxilia no controle das ações tomadas pelos responsáveis pela revitalização e manutenção do corpos de água urbano.

A melhoria na análise dos investimentos realizados no processo de despoluição dos córregos avaliados foi demonstrada pelo procedimento de avaliação emergética deste trabalho de acordo com os resultados obtidos nos indicadores emergéticos de ESI, anterior ao processo de despoluição era e posteriormente apresentam aumento da sustentabilidade local para, bem como a análise da razão de troca em emergia (EER) demonstra a eficiência dos recursos disponibilizados para o processo, do valor inicial e após a revitalização. Os estudos de DI, et.al. (2019) demonstraram que a emergia pode avaliar os custos do transporte de sedimentos em bacias hidrográficas, WU, et.al. (2019) avaliou os recursos fluviais em um ecossistema, SUN, et.al. (2019) apresentou indicadores emergéticos para análise do custo na revitalização de uma área pantanosa, bem como PULSELLI, et.al. (2011) utilizou a emergia para avaliar os custos de um processo de abastecimento de água. No entanto, esse trabalho foi o primeiro a utilizar os indicadores emergéticos de ESI e EER em um processo de despoluição de córrego urbano para analisar os investimentos realizados, indicando que a utilização de um procedimento de avaliação emergética contribui com uma nova aplicação da teoria emergética em um novo campo do conhecimento, bem como, os indicadores calculados avaliam os investimentos de modo amplo, auxiliando a todas as partes interessadas (poder concedente, prestadores de serviços e sociedade) no controle dos investimentos e verificação da sustentabilidade do processo.

Os resultados da avaliação emergética realizada nas bacias dos córregos estudados demonstram que os indicadores calculados para os serviços ecossistêmicos de suporte, antes da revitalização e posteriormente ao processo e regulação antes e depois melhoraram após o processo de revitalização.

As pesquisas de PAN, et.al. (2020) apresentaram o uso de emergia para avaliação dos serviços ecossistêmicos na cidade de Simão – China a partir da análise de sequestro de carbono na região estudada, LV, et.al. (2018) avaliou as contribuições dos serviços ecossistêmicos para a agricultura e indústria, bem como, LIU, et.al. (2019) identificou que a urbanização tem causado a perda dos serviços ecossistêmicos e ZHONG, et.al.

(2018) apresentou a utilização de avaliação emergética na análise dos serviços ecossistêmicos no consumo de água na bacia do lago Erhai na China.

Com isso, esse é o primeiro estudo a utilizar a avaliação emergética na despoluição de um córrego urbano, denotando que a análise dos serviços ecossistêmicos de regulação e suporte realizadas neste trabalho contribuem com a aplicação da teoria emergética para novos estudos em bacias hidrográficas urbanas que avaliem aspectos dos serviços ambientais inseridos no contexto, bem como, a análise destes serviços propiciam o desenvolvimento de ações governamentais e sociais para crescimento sustentável urbanístico em regiões de bacias localizadas em meio urbano.

7 - CONCLUSÕES

Com base nas avaliações emergéticas da despoluição dos córregos da cidade de São Paulo identificou-se a otimização do processo de revitalização, capacidade de redução de custos e avaliação da sustentabilidade no local. As principais conclusões são:

(1) A avaliação emergética enfatiza o acoplamento do sistema ecológico ao sistema de econômico. Este estudo é baseado na avaliação emergética dos recursos naturais renováveis e não renováveis no que diz respeito ao processo de melhoria na alocação dos recursos humanos e permite simultaneamente a despoluição do corpo de água. Isso pode vir a subsidiar pesquisas em recursos hídricos urbanos para melhoria de processos similares.

(2) Ao analisar o processo de melhoria na qualidade da água do córrego estudado, os efeitos positivos e as influências da água no ambiente econômico, social e ecológico, podem ser descritas de forma abrangente. Os resultados mostram que os benefícios da análise conjunta incluem:

a) melhorias na disposição dos recursos utilizados para despoluição do córrego, a avaliação emergética apresenta condições para que o processo seja viável economicamente e para que a manutenção da revitalização seja monitorada pelos indicadores criados.

b) o controle de qualidade da água por meio dos indicadores emergéticos, avalia o sistema de modo abrangente permitindo a análise de todos os aspectos inseridos no córrego estudado e contribui para minimizar o estresse causado ao corpo de água por estar em ambiente totalmente urbano.

c) melhorias na relação da população com o local despoluído, o meio ambiente revitalizado propicia a interação entre seres humanos e meio ambiente, essa percepção pode ser monitorada pelos indicadores de serviços ecossistêmicos criados.

(3) No processo de estabelecimento de um modelo ideal para avaliar conjuntamente a revitalização da água, o controle dos custos inseridos no processo e os serviços ecossistêmicos que o córrego disponibiliza criam um elo principal para construir a relação de interação entre todos os aspectos inseridos no sistema, de acordo com as características de cada parâmetro.

Neste contexto a utilização da avaliação emergética contribui com o acoplamento dos aspectos e permite a análise do sistema sem criar dificuldades para os responsáveis.

(4) O estudo de caso múltiplo mostra que, com a melhoria contínua de diversas medidas e inserção de novos parâmetros de controle os custos de despoluição e manutenção da qualidade da água podem ser sustentáveis. Assim como, a utilização dos indicadores emergéticos para monitoramento da região refletem na observação de serviços ecossistêmicos de suporte e regulação.

(5) A utilização da avaliação emergética para análise do processo de despoluição de um córrego urbano e a sua apresentação gráfica a partir da análise de sensibilidade demonstra o impacto das emergias calculadas neste trabalho e a influência na sustentabilidade da revitalização, ou seja, a utilização de indicadores emergéticos auxilia no controle do processo, apresenta os resultados da despoluição a partir da demonstração da sustentabilidade e contribui com uma nova aplicação da teoria emergética em um ramo de estudos ainda não explorado pela ciência.

Identificamos temas de pesquisa para estudos posteriores:

(1) Introdução da teoria emergética na despoluição e revitalização de rios urbanos.
(2) Identificação dos indicadores emergéticos ae despoluição de rios urbanos.
(3) Cálculo do valor emergético dos serviços ecossistêmicos gerados na despoluição de rios urbanos.

Tais lacunas de pesquisa, podem contribuir com a melhoria dos processos de revitalização de rios urbanos, aumentando o controle dos custos envolvidos e complementando o processo pela associação dos indicadores de serviços ecossistêmicos para o desenvolvimento sustentável do processo.

As limitações identificadas neste estudo, estão relacionadas ao conjunto de indicadores adotados para despoluição de rios urbanos, ou seja, atualmente os responsáveis pelo processo de despoluição (poder concedente e companhia de saneamento do estado de São Paulo) avaliam apenas a DBO para análise da qualidade do processo. A elaboração de novas pesquisas pode contribuir com o desenvolvimento dos

indicadores emergéticos ao adotarem outros parâmetros de qualidade para rios urbanos que não são mananciais para abastecimento humano.

8 - BIBLIOGRAFIA

ACUÑA, V., HUNTER, M., & RUHÍ, A. (2017). **Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems**. Biological Conservation, 211, 12-19. Disponível em: doi: 10.1016 / j. biocon.2016.12.025. Acesso em 08 jul 2021.

ALENCAR, J.C. - **Potencial de corpos d'água em bacias hidrográficas urbanizadas para renaturalização, revitalização e recuperação. Um estudo da bacia do Jaguaré.** Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

ANELLI, R.L.S. (2015) – **Uma Nova Cidade para as Águas Urbanas**. Estudos Avançados 29(84). São Paulo, SP, Brasil. pp. 69 -84.

BARDIN, I. **Análise de conteúdo**. Edições setenta, 1994. Lisboa, Portugal, pp. 01 – 226.

BATTEMARCO, B.P., MIGUEZ, M.G., SOUZA, M.M. & MAGALHÃES, P.C. (2017) – **Urbanização Sem Controle x Mudanças Climáticas**. Anais do XXII Congresso da SABRH. Florianópolis, Brasil.

BEIBLER, M.R. & HACK, J. (2019) - **A Combined Field and Remote-Sensing Based Methodology to Assess the Ecosystem Service Potential of Urban Rivers in Developing Countries.** Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs11141697. Acesso em: 29 mai 2021.

BERRIOS, F., CAMPBELL, D.E & ORTIZ, M. (2018). **Indicadores emergenciais para avaliar a saúde do ecossistema: um estudo de caso de três redes de ecossistemas bentônicos influenciadas pela ressurgência costeira no norte do Chile (costa sudeste do Pacífico)**. Ecological Indicators, 95, 379-393. Disponível em doi: 10.1016 / j. ecolind.2018.07.055. Acesso em 19 jun 2021.

BROWN MT, ULGIATI S. (2002) - **Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems**. Journal of Cleaner Production**.** 2002; 10: 321-334.

BROWN, M.T. & VIVAS, B. (2005) - **Landscape Development Intensity Index**. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10661-005-0296-6. Acesso em 02 jul 2021.

BUENFIL, A.A. (2001) - **Emergy Evaluation of Water**. University of Florida. Flórida, USA, pp. 01 – pp. 264.

BUENO, M.G. & HENKES, J.A. (2016) – **Revitalização do Rio Tietê: Uma Opção Viável.** Revista Gestão Ambiental Sustentável 5(1). Florianópolis, SC, Brasil. pp. 516 – 534.

BULLER, L.S. (2016) - **Diagnóstico Emergético das Mudanças de Uso da Terra e Proposta de Recuperação de Uma Área do Cerrado**. Tese de Doutorado apresentado na UNICAMP, CAMPINAS, SP, BRASIL.

CARVALHO, L.E.P., 2011. **A sócio natureza dos rios urbanos: Novas representações e novos conceitos sobre os caminhos das águas na cidade**. In: XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana Ciência e Utopia na Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, Belo Horizonte

CHEN, W., LIU, W., GENG, Y., BROWN, M.T., GAO, C. & WU, R. (2017) - **Recent progress on emergy research: A bibliometric analysis.** Disponível em https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.041. Acesso em 22 mai 2021.

COCHRAN, F., DANIEL, J., JACKSON, L. & NEALE, A. (2020) - **Earth observation-based ecosystem services indicators for national and subnational reporting of the sustainable development goals.** Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111796. Acesso em 19 jun 2021.

COLVIN, SAR, SULLIVAN, SMP, SHIREY, PD, COLVIN, RW, WINEMILLER, KO, HUGHES, RM & EBY, L. (2019). **Headwater Streams and Wetlands are Critical for Sustaining Fish, Fisheries, and Ecosystem Services**. Disponível em https://doi.org/10.1002/fsh.10229. Acesso em 08 jul 2021.

COMETTI, CABRAL, CONCEIÇÃO (2020) - **Qualidade da água e perspectivas de revitalização de um riacho urbano no Recife, Brasil**. Disponível em: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0027. Acesso em 19 jun 2021.

CORDOBA, C. SANTOS JUNIOR, C.F., BOFF, M.I.C. & BOFF, P. (2020) – **Estudo bibliométrico sobre sustentabilidade: Metodologia de análise Emergética em pesquisa brasileira 2000 a 2018**. Cadernos de Agroecologia. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão – SE. v15. n.02.

COSTANZA, R., d'ARGE, R., GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTON, P. & BELT, M.V.D. (1997) - **The value of the world's ecosystems services and natural capital.** Nature, v. 387, p. 253-260.

CRUZ, T.T., RODRIGUEZ, J.A.G. & ZAVALA, M.A.L. (2019) - **Evaluation of Sanitation Strategies and Initiatives Implemented in Mexico from Community Capitals Point of View**. Disponível em: https://doi.org/10.3390/w11020295. Acesso em 29 ma 2021.

CUNHA, C.L.N. & FERREIRA, A.P. (2006) – **Modelagem Matemática para Avaliação dos Efeitos de Despejos Orgânicos nas Condições Sanitárias de Águas Ambientais**. Caderno Saúde Pública 22(08). Rio de Janeiro, RJ, Brasil. pp. 1715 – 1725.

DELIBAS, M. & TEZER, A. (2019) - **Prioritizing urban rivers' ecosystem services: An importance-performance analysis**. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2016.12.007. Acesso em 26 jun 2021.

DOU, Y., ZHEN, L., De GROOT, R., DU, B., & YU, X. (2017). **Assessing the importance of cultural ecosystem services in urban areas of Beijing municipality.** Ecosystem Services, 24, 79–90. Disponível em doi: 10.1016 / j. ecoser.2017.02.011. Acesso em 14 ago 2021.

DUMAS, H.R., PEREZ, L., JON, I., MOUTON, M., PENNA, C., ZONDI, N. & GUILLET, C. (2012) - **The Ambiguities of the Cheonggyecheon Restoration Project. Urban Fabric and the Green Growth**. Disponível em https://carolineguillet.files.wordpress.com/2014/03/cheonggyecheon-restoration-project.pdf. Acesso em 24 mai 2108.

ELIAS, F.T.S. & PATROCLO, M.A.S. (2004) - **Utilização de pesquisas: Como construir modelos teóricos para avaliação?** Ciência e Saúde Coletiva 10(01). pp. 215 – 227.

EVERARD, M., & MOGGRIDGE, HL (2011). **Rediscovering the value of urban rivers**. Urban Ecosystems, 15 (2), 293-314. Disponível em: doi: 10.1007 / s11252-011-0174-7. Acesso em 28 jun 2021.

FONSECA, R.A., LIMA, A.B. & REZENDE, J.L.P. (2014) – **Métodos de Valoração dos Bens e Serviços Ambientais: Uma Contribuição para o Desenvolvimento Regional Sustentável**. 4º Congresso Internacional Governo, Gestão e Profissionalização em Âmbito Local Frente aos Grandes Desafios de Nosso Tempo. Minas Gerais. Brasil. pp. 01 – 19.

FLAUSINO, F.R. (2018) - **Serviços Ecossistêmicos Culturais na Despoluição de Córregos Urbanos – Análise da Bacia do Córrego Charles de Gaulle (São Paulo)** – Dissertação de Mestrado Universidade Nove de Julho. São Paulo SP.

FLAUSINO, F.R. & GALLARDO, A.L.C.F. (2019) - **Implantação de planilha de controle para coleta de dados de qualidade de água de córregos na região Norte de São Paulo.** Revista DAE. Disponível em DOI: https://doi.org/10.4322/dae.2019.034. Acesso em 08 jul 2021.

FURIGO, R.F.R. (2020) – **Universalização do Saneamento no Contexto dos Assentamentos Precários Urbanos Brasileiros**. Tese apresentada como exigência para obtenção do Título de Doutora em Urbanismo ao Programa de Pós-Graduação em Urbanismo do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

GIANNETTI, B.F. BARRELLA, F.A. ALMEIDA, C.M.B (2206). **A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting**. Journal of Cleaner Production, v.12, n.2, p.201-210, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GIRAD, L.F. & NOCCA, F. (2019) – **Moving Towards the Circular Economy/City Model: Which Tools for Operationalizing This Model?** Disponível em: https://doi:10.3390/su11226253. Acesso em 21 jun 2021.

GO ASSOCIADOS (2013) – **Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento Básico no Estado de São Paulo**. Instituto Trata Brasil. São Paulo, SP, Brasil, pp. 01 – 29.

GONÇALVES, D.S.L. & GONÇALVES, T.E. (2018) – **Mechanisms of Environmental Management: From Evaluation to Environmental Assessment** Disponível em doi: 10.12957/geouerj.2018.29592. Acesso em 26 jun 2021.

HE, S., ZHU, D., CHEN, Y., LIU, X., CHEN, Y. & WANG, X. (2020) - **Application and problems of emergy evaluation: A systemic review based on bibliometric and content analysis methods**. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106304. Acesso em: 10/02/2020.

HICKS, C.C., CINNER, J.E., STOECKL, N. & Mc CLANAHAN, T.R. (2015) - **Linking Ecosystem Services and Human-Values Theory**. Conservation Biology 29 (05). EUA. pp. 1471 – 1480.

HURLBERT, M. (2020) - **Access and allocation: rights to water, sanitation and hygiene.** Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10784-020-09484-6. Acesso em 23 jun 2021.

HUNINK, J. E., BRYANT, B.P., VOGL, A. & DROOGERS, P. (2015) - **Valuing Investments in Sustainable Land Management Using an Integrated Modelling Framework to Support a Watershed Conservation Scheme in the Upper Tana River, Kenya**. Elsevier: Disponível em https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.013. Acesso em 07 dez 2017.

KAVAL, P. & BELT, M.V.D. (2017) - **The Organizing Framework of Ecosystem Services and its Use in River Management**. Working Paper in Economics (22) 17. Hamilton, New Zealand. pp. 01 – 33.

KILKIS, Ş. (2016). **Índice de desenvolvimento sustentável de sistemas de energia, água e meio ambiente para cidades do sudeste europeu.** Journal of Cleaner Production, 130, 222-234. doi: 10.1016 / j. jclepro.2015.07.121

KOTSILA, P., ANGUELOVSKI, I., BARÓ, F., LANGEMEYER, J., SEKULOVA, F. & CONNOLLY, J.T. (2020) - **Nature-based solutions as discursive tools and contested practices in urban nature's neoliberalisation processes**. Disponível em: https://doi.org/10.1177/2514848620901437. Acesso em 29 mai 2021.

LELIS, T.A., CALIJURI, M.L., SANTIAGO, A.F., LIMA, D.C. & ROCHA, E.O. (2012) - **Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo Swat Aplicado em Bacia Hidrográfica da Região Sudeste do Brasil.** Uso e Manejo do Solo • Rev. Bras. Ciênc. Solo 36 (2) • Abr 2012 • https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200031.

LI, F., LIU, X., ZHANG, X., ZHAO, D., LIU, H., ZHOU, C., & WANG, R. (2017). **Urban ecological infrastructure: An integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems** Journal of Cleaner Production, 163, S12 – S18. Disponível em: doi: 10.1016 / j. jclepro.2016.02.079. Acesso em 28 jun 2021.

LV, C., LING, M., GUO, X., DI, D. & ZHOU, H. (2018). **Evaluation Method of Water Resource Contribution Rate in Terms of Emergy**. In Proceedings of the International Workshop on Environmental Management, Science and Engineering (IWEMSE 2018), pages 34-41. ISBN: 978-989-758-344-5.

MA, T., SUN, S., FU, G., HALL, J.W., NI, Y., HE, L., YI, J., ZHAO, N., DU, Y., PEI, T., CHENG, W., SONG, C., FANG, C. & ZHOU, C. (2020) - **Pollution exacerbates China's water scarcity and its regional inequality**. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41467-020-14532-5. Acesso em 19 jun 2021.

MARCILIO, M.F.F.B. (2017) - **Verificação de Premissas da Contabilidade Ambiental em Emergia: hierarquia de energia, transformidade e robustez**. Tese de Doutorado. Universidade Paulista. São Paulo, SP, Brasil.

MAIA, L.M. (2010) – **Análise Emergética em estações de tratamento de esgotos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, PE, Brasil.

MARIANO, M.V., ALMEIDA, C.M.V.B., BONILLA, S.H., AGOSTINHO, F. & GIANETTI, B.F. (2015) - **Avaliação em Emergia como Ferramenta de Gestão nos Parques Urbanos de São Paulo**. Disponível em http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X712-13. Acesso em 10 jul 2019.

MEA, 2005. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Millennium Ecosystem Assessment, Washington DC.

MERLIN, G., & BOILEAU, H. (2017). **Eco-efficiency and entropy generation evaluation based on emergy analysis: Application to two small biogas plants**. Journal of Cleaner Production, 143, 257–268. doi: 10.1016 / j. jclepro.2016.12.117. Acesso em 14 jul 2021.

MOTA, J.J.P., SOUZA, C.D.S.S. & SILVA, A.C. (2015) - **Saneamento Básico e seu Reflexo Nas Condições Socioambientais da Zona Rural do Baixo Munim (Maranhão).** Revista Caminhos da Geografia 16(54). Uberlândia – MG – Brasil. pp. 140 – 160.

ODUM, Howard T.; ODUM, Elisabeth C. **Energy Basis For Man and Nature.** 2 edição, USA, McGraw-Hill. 1981. 337 p.

ODUM, H.T. (1988) - **Self-Organization, Transformity, and Information**. Downloaded from www.sciencemag.org on June 16, 2015. Acesso em 01 jul 2019.

ODUM, H.T. (1996) - **Environmental Accounting, EMERGY and Decision Making**. John Wiley, New York, 370 pp. 1996.

ODUM, Howard T.; ODUM, Elisabeth C.A. (2001) - **Prosperous way down: Principles and policies.** 1ª edição, Brasil, Editora Vozes. 2012. 405 p.

OKUMAH, M. & YEBOAH, A.S. (2019) - **Exploring stakeholders' perceptions of the quality and governance of water resources in the Wenchi municipality.** Disponível em: https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1663724. Acesso em 29 mai 2021.

OLIVEIRA NETO, G. C., PINTO, F.R. ; AMORIM, M., GIANNETTI, B. F. & ALMEIDA, C. M. V. B. (2018) - **A framework of actions for strong sustainability**. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, v. 196, p. 1629-1643.

OLIVEIRA NETO, G.C.; OLIVEIRA, J.C., LIBRANTZ, A.F.H (2017) - **Selection of Logistic Service Providers for the transportation of refrigerated goods.** Production Planning & Control - The Management of Operations. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2017.1319986.

OURIVES, C. E., BOMCHAKIER, D. M., TELES, F. G., SHIKI, I. C., MARTINI, L. A., & ASSIS, R.V. (2007). **Programa Córrego Limpo.** São Paulo, SP, Brasil: ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

PARTELOW, S., SCHLUTER, A., ARMITAGE, D., BAVINCK, M., CARLISLE, K., GRUBY, RL. & VAN ASSCHE, K. (2020). **Environmental governance theories: a review and application to coastal systems**. Ecology and Society, 25 (4). Disponível em doi: 10.5751 / es-12067-250419. Acesso em 26 jun 2021.

PAULIUK, S., (2018). **Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations**. Resour. Conserv. Recycl. 129, 81–92. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.

PRANSAB (2013) – **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Ministério das Cidades. Brasília, Brasil.

PRESTON, S.M.& HEARNE, C.R. (2017) – **Ecosystem Services Toolkit: Completing and Using Ecosystem Service Assessment for Decision-Making: An Interdisciplinary Toolkit for Managers and Analysts**. Environment and Climate Change Canada Enquiry Centre. Ottawa, Ontario, Canada. pp. 01 – 284.

PROCOPIUK, M., ROSA, A., B0LLMANN, H.A, & de MOURA, E.N. (2020). **Socially evaluated impacts on a technologically transformed urban river**. Revisão da Avaliação de Impacto Ambiental, 84, 106442. doi: 10.1016 / j. eiar.2020.106442. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106442. Acesso em 26 jun 2021.

RAMIRES JÚNIOR, S.P., NEVES, S.S., RUIZ, M.S., GALHARDO, A. L. C. F., CORTÊS, P. L., CERÂNTOLA, A.P. C. (2014). - **Governança colaborativa aplicada à gestão de conflitos socioambientais na despoluição de córregos na cidade de São Paulo.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. São Paulo, SP, Brasil, pp. 113-134.

RATNAYAKA, D.D., BRANDT, M.J, & JOHNSON, K.M (2009). **Chemistry, Microbiology and Biology of Water.** Water supply, 195–266. Disponível em doi:10.1016/b978-0-7506-6843-9.00014-7. Acesso em 02 jan 2023.

ROLLO, D.A.M.O. (2017) – **Adaptação as Mudanças Climáticas Baseada em Ecossistemas (ABE): Análise da Revitalização do Córrego do Sapé (São Paulo)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Nove de Julho. São Paulo, SP, Brasil.

ROLO, D.A.M.O., GALLARDO, A.L.C.F., RIBEIRO, A.P., KNIESS, C.T & ZAJAC, M.A.L. (2019) – **Adaptação baseada em ecossistemas para promover cidades resilientes e sustentáveis: Análise de programas de revitalização de rios urbanos de São Paulo.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. V15. N5. Taubaté, SP, Brasil. pp 220 – 235.

ROSA, A., MENDIONDO, E.M., MACEDO, M.B., SOUZA, V.C., SAMPLE, D., PROCOPIUCK, M., (2019) - **Sustainable urban drainage: delineation of a scientific domain of knowledge production**. Revista Tecnologia e Sociedade 15 (38), 18–36.

SANTAGATAA, R., ZUCAROB, A., VIGLIAA, S. RIPAD, M., TIANE, X. & ULGIATI.S. (2020) - **Assessing the sustainability of urban eco-systems through Emergy-based circular economy indicators.** Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105859. Acesso em 09 jan 2021.

SCHRECONGOST, A., PEDI, D., ROSEBOOM, JW, SHESTHA, R., & BAN, R. (2020). **Saneamento inclusivo em toda a cidade: uma abordagem de serviço público para alcançar os ODS de saneamento urbano**. Frontiers in Environmental Science, 8. Disponível em: doi: 10.3389 / fenvs.2020.00019. Acesso em 19 jun 2021.

SENGUPTA, U. (2017) - **Complexity Theory: The Urban is a Complex Adaptive System**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ulysses-Sengupta/publication/337010187_Complexity_Theory_The_Urban_is_a_Complex_Adaptive_System/links/5dc036f592851c8180290e10/Complexity-Theory-The-Urban-is-a-Complex-Adaptive-System.pdf. Acesso em 14 jul 2021.

SICHE, J. R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., & ROMEIRO, A. (2008). **Sustainability of nations by indices: Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices. Ecological Economics,** 66(4), 628–637. Disponível em doi:10.1016/j.ecolecon.2007.10.023. Acesso em 06 st. 2021.

SIEGEL, FR (2018). **Planejamento Estratégico de Centros Urbanos: Presente e Futuro**. SpringerBriefs in Geography, 35–52. Disponível em http://doi: 10.1007 / 978-3-319-93166-1_4. Acesso em 19 jun 2021.

SILVA, F. M. & BASTOS, P. F. (2012) – **A Atuação das Políticas Públicas na Gestão e Implementação do Saneamento Básico.** Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Geociências. João Pessoa, PB, Brasil.

SILVA, H.R.O. (2016) - **Proposta de Recuperação do Custo Total da Água a partir da Contabilidade em Emergia: Estudo de Caso na Micro Bacia do Rio JUNDIAÍ-MIRIM**. Disponível em: https://unip.br/presencial/ensino/posgraduacao/strictosensu/eng_producao/download/eng_heltonraimundooliveiradasilva.pdf. Acesso em 18 de julho de 2020.

SILVA, M.C.G.P.V. (2017) – **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e os Desafios das Políticas Públicas Para Preservação de Recursos Hídricos: Análise Jurídica da**

Compensação Financeira para os Municípios Produtores de Água no Estado de São Paulo. Universidade Católica de Santos. Santos, SP, Brasil.

SONG, F., SU, F., ZHU, D., LI, L., LI, H., & SUN, D. (2019). **Evaluation and driving factors of sustainable development of the wetland ecosystem in Northeast China: An emergy approach**. Journal of Cleaner Production, 119236. Disponível em doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119236. Acesso em 30 out 2021.

SOUZA FILHO, B.A.B & STRUCHINER, C.J. **Uma proposta teórico-metodológica para elaboração de modelos teóricos**. Cad Saúde Colet, 2021;29(1):86-97. https://doi.org/10.1590/1414-462X20212901018. Acesso em 23 abr 2022.

SUN, Y., LIU, N., SHANG, J. & ZHANG, J. (2016) - **Sustainable Utilization of Water Resources in China:** A System Dynamics Model. Journal of Cleaner Production 142. pp. 613 – 625. Recuperado em 23 de dezembro de 2017 de http://eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXA236/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B5%CF%82%20%28papers%29%202017/15.%205_b.pdf.

SUN, J., YUAN, X., LIU, H., & LIU, G. (2021). **Emergy and eco-exergy evaluation of wetland reconstruction based on ecological engineering approaches in the three Gorges Reservoir, China**. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107278. Acesso em 30 out 2021.

SUN, J., YUAN, X., LIU, G., & TIAN, K. (2019). **Emergy and eco-exergy evaluation of wetland restoration based on the construction of a wetland landscape in the northwest Yunnan Plateau**, China. Journal of Environmental Management, 252, 109499. Disponível em: doi:10.1016/j.jenvman.2019.109499. Acesso em 30 out 2021.

TAKAHASHI, F., SANTOS, S.A., CARDOSO, E.L., OLIVEIRA, L.O.F. & DIVINA, M. (2017) - **Utilização da Metodologia Emergética para Avaliação dos Ecossistemas de Pastagens e Serviços Ecossistêmicos do Pantanal** - Anais do IV Simpósio de Produção Animal e XII Semana da Zootecnia. Diamantina, MG, Brasil.

TEEB (2010) – **The Economics of Ecosystem & Biodiversity**. Disponível em: http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/. Acesso em 28 out 2018.

TIMEUS, K., VINAIXA, J. & BOSCH, F.P. (2020) - **Creating business models for smart cities: a practical framework**. Disponível em: https://doi.org/10.1080/14719037.2020.1718187. Acesso em: 29 mai 2021.

TRAVASSO, L. & SCHULT, M. (2013) – **Recuperação Socioambiental de Fundos de Vale Urbanos na Cidade de São Paulo, Entre Transformações e Permanências**. Caderno Metrópoles 15(29). PUC. São Paulo, SP, Brasil. pp. 289 – 312.

ULGIATI, S., ODUM, H.T. & BASTIANONI, S. (1994) - **Emergy Use, Environmental Loading and Sustainability An Emergy Analysis of Italy**. Ecological Modelling 73 (1994). pp. 215-268.

United Nations, 2014. **World Urbanization Prospects.** Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf. Acesso em: 26 jun 21.

VIGLIA, S., CIVITILLO, D.F., CACCIAPUOTI, G. & ULGIATI, S. 92018) - **Indicators of environmental loading and sustainability of urban systems. An emergy-based environmental footprint**. Ecological Indicators 94 (2018) 82–99. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.060. Acesso em 15 jul 2021.

WALSH, C.J., ROY, A.H., FEMINELLA, J.W., COTTINGHAM, P.D., GROFFMAN, P.M. & MORGAN II., R.P. (2005) - **The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure**. The North American Benthological Society 24(03). USA. pp. 706 – 723.

WANG, K. & XU, M. (2017) - **The evaluation of the Coordination Degree Between Resource-Environment and Economic Development in the Yellow River Delta-a Case Study on Dongying City.** IOP Conference Series: Earth and Environmetal Science 64. Recuperado em 30 de setembro de 2017 de http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/64/1/012044.

WEYLAND, F., MASTRANGELO, M.E., AUER, A.D., BARRAL, M.P., NAHUELHUAL, L., A., LARRAZÁBAL A., PARERA, A.F., CADAVID, L.M.B., LÓPEZ-GÓMEZ, C.P. & PALACIO, C.V. - **Ecosystem Services Approach in Latin America: From Theoretical Promises to Real Applications**. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.11.010. Acesso em 24 abr 2019.

WU, Z., DI, D., WANG, H., WU, M., & HE, C. (2019). **Análise e avaliação emergética dos benefícios eco ambientais dos rios.** Ecological Indicators, 106, 105472. doi: 10.1016 / j. ecolind.2019.105472

WU, Z., GUO, X., GUAN, X., LV, C., WANG, H. & DI, D. (2018) - **Study on the quantification method of water pollution ecological compensation standard based on emergy theory**. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.052. Acesso em 22 mai 2021.

WU, M., GE, W., WU, Z., GUO, X., DI, D., & HUANG, S. (2020) - **Evaluation of the Benefits of Urban Water Resource Utilization Based on the Catastrophe and Emergy Methods**. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11269-020-02530-7. Acesso em 10/02/2021.

WU, Z., F. ZHANG, DI, D. & WANG, H. (2022) - **Study of spatial distribution characteristics of river eco-environmental values based on emergy-GeoDa method**. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149679. Acesso em: 10 set 2022.

XU, Z., XU, J., YIN, H., JIN, W., LI, H., & HE, Z. (2019). **Urban river pollution control in developing countries.** Nature Sustainability, 2 (3), 158–160. Disponível em doi: 10.1038 / s41893-019-0249-7. Acesso em 04 set 2021.

YIN, R.Y**. Estudo de caso** – planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZUFFO, C. (2016) – **Inovação no Saneamento**. Revista SANEAS 09(58). São Paulo, SP, Brasil. pp. 19 – 20.

APÊNDICE A

Energia solar SP = 1,60E+01 http://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf

Chuvas SP = 1731 mm em SP EM 2020 www.itep.br/meteorologia/

Energia solar = 16,56 MJ www.itep.br/meteorologia/

Coeficiente de reflexão: Albedo (http://doi.org/10.24927/rce2015.042) = 020

CÓRREGO CICLOVIA

ÁREA DO CÓRREGO = 1,0 Km²

ENERGIA DO SOL = Energia do sol = (radiação)*(área total) *(1-albedo)

(16,56 MJ/m2/dia) *(1/1000) *(1E+06m2) *(365 d/ano) *(1-0,2)

Energia do sol = 4.835.520 J/ano

Energia do Sol = 4,84E+06 J/ano

Transformidade = 1,00E+00 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA CHUVA

Precipitação = 1731 mm/ano

Energia livre de Gibbs = 4,94E+00 J/g

Área total = 1000 m2

Energia da chuva = (precipitação)*(energia de Gibbs) *(área)

Energia da chuva = 1731*4,94*1E+06 J/ano

Energia da chuva = 8.551.140.000 J/ano

Energia da chuva = 8,55E+09 J/ano

Transformidade = 1,82E+04 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA ÁGUA POLUÍDA

DBO no córrego poluído = 167 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do esgoto no córrego 2,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego poluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego poluído = (167*1/1000) *(2*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego poluído = 176079456000 J/ano

DBO no córrego poluído = 1,76E+11 J/ano

Transformidade = 2,9E+04 sej/J https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA AÇÕES REALIZADAS, J

Em 2007 a relação R$/U$ = 1,95

Fonte: http://www.farmnews.com.br/mercado/dolar-frente-ao-real-2/

Cálculo do custo das obras de saneamento

Investimento Total = R$ 200.000,00

Vida útil de redes de esgoto = 50 anos

Implantação das obras = (investimento total) / (vida útil da rede) / (1,95 R$/US$)

(200.000.00R$) / (50 anos) / (1,95 R$/US$)

Implantação das obras= 2,82E+03 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$

Fonte: https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

Cálculo dos custos de operação e manutenção, US$

Custo operação = 4,25E+00 R$/hab/ano - Von Sperling, 2002

Número de habitantes = 5200 hab - população atendida

Custos de operação = (custo operação) *(número de habitantes) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = (4,25) *(5200) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = 1,13E+04 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$

Fonte: https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA ÁGUA LIMPA

DBO no córrego despoluído = 6 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 4,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego despoluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego despoluído = (30*1/1000) *(4*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego despoluído = 63262080000 j/ano

DBO no córrego despoluído = 6,33E+10 j/ano

Transformidade = (CALCULAR) sej/J – Calculada

APÊNDICE B

Energia solar SP = 1,60E+01

http://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf

Chuvas SP = 1731 mm em SP EM 2020 www.itep.br/meteorologia/

Energia solar = 16,56 MJ www.itep.br/meteorologia/

Albedo (http://doi.org/10.24927/rce2015.042) = 020

CÓRREGO CHARLES DE GAULLE

ÁREA DO CÓRREGO = 0,75 Km²

ENERGIA DO SOL = Energia do sol = (radiação)*(área total) *(1-albedo)

(16,56 MJ/m2/dia) *(1/1000) *(750000m2) *(365 d/ano) *(1-0,2)

Energia do sol = 362664 J/ano

Energia do Sol = 3,63E+06 J/ano

Transformidade = 1,00E+00 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA CHUVA

Precipitação = 1731 mm/ano

Energia livre de Gibbs = 4,94E+00 J/g

Área total = 750000 m2

Energia da chuva = (precipitação)*(energia de Gibbs) *(área)

Energia da chuva = 1731*4,94*750000 J/ano

Energia da chuva = 6.413.355.000 J/ano

Energia da chuva = 6,41E+09 J/ano

Transformidade = 1,82E+04 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA ÁGUA POLUÍDA

DBO no córrego poluído = 183 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão retirada do córrego 12,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego poluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego poluído = (183*1/1000) *(12*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego poluído = 385.898.688.000 J/ano

DBO no córrego poluído = 3,86E+11 J/ano

Transformidade = 2,9E+04 sej/J – UNICAMP
https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA AÇÕES REALIZADAS, J

Em 2007 a relação R$/U$ = 1,95 http://www.farmnews.com.br/mercado/dolar-frente-ao-real-2/

Cálculo do custo das obras de saneamento

Investimento Total = R$ 275.000,00

Vida útil de redes de esgoto = 50 anos

Implantação das obras = (investimento total) / (vida útil) / (1,95 R$/US$)

(275.000.00R$) / (50 anos) / (1,95 R$/US$)

Implantação das obras= 2,82E+03 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$
https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

Cálculo dos custos de operação e manutenção, US$

Custo operação = 4,25E+00 R$/hab/ano - Von Sperling, 2002

Número de habitantes = 8500 hab - população atendida

Custos de operação = (custo operação) *(número de habitantes) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = (4,25) *(8500) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = 1,96E+04 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$
https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA ÁGUA LIMPA

DBO no córrego despoluído = 30 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 24,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego despoluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego despoluído = (30*1/1000) *(24*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego despoluído = 6.326.208.000 j/ano

DBO no córrego despoluído = 6,33E+10 j/ano

Transformidade = (CALCULAR) sej/J - Calculada

APENDICE C

Energia solar SP = 1,60E+01 http://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf

Chuvas SP = 1731 mm em SP EM 2020 www.itep.br/meteorologia/

Energia solar = 16,56 MJ www.itep.br/meteorologia/

Albedo = 020 http://doi.org/10.24927/rce2015.042

CÓRREGO TENENTE ROCHA

ÁREA DO CÓRREGO = 3,96 Km²

ENERGIA DO SOL = Energia do sol = (radiação)*(área total) *(1-albedo)

(16,56 MJ/m2/dia) *(1/1000) *(3.960.000m2) *(365 d/ano) *(1-0,2)

Energia do sol = 19.248.659,20 J/ano

Energia do Sol = 1,93E+07 J/ano

Transformidade = 1,00E+00 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA CHUVA

Precipitação = 1731 mm/ano

Energia livre de Gibbs = 4,94E+00 J/g

Área total = 750000 m2

Energia da chuva = (precipitação)*(energia de Gibbs) *(área)

Energia da chuva = 1731*4,94*3.960.000 J/ano

Energia da chuva = 30.160.944.000 J/ano

Energia da chuva = 3,02E+10 J/ano

Transformidade = 1,82E+04 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA ÁGUA POLUÍDA

DBO no córrego poluído = 138 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão de esgoto no córrego 32 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego poluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego poluído = (138*1/1000) *(32*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego poluído = 2328044544000 J/ano

DBO no córrego poluído = 2,32E+12 J/ano

Transformidade = 2,9E+04 sej/J https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA AÇÕES REALIZADAS, J

Em 2007 a relação R$/U$ = 1,95 http://www.farmnews.com.br/mercado/dolar-frente-ao-real-2/

Cálculo do custo das obras de saneamento

Investimento Total = R$ 225.000,00

Vida útil de redes de esgoto = 50 anos

Implantação das obras = (investimento total) / (vida útil) / (1,95 R$/US$)

(225.000.00R$) / (50 anos) / (1,95 R$/US$)

Implantação das obras= 2,31E+03 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$ https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

Cálculo dos custos de operação e manutenção, US$

Custo operação = 4,25E+00 R$/hab/ano - Von Sperling, 2002

Número de habitantes = 40000 hab - população atendida

Custos de operação = (custo operação) *(número de habitantes) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = (4,25) *(40000) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = 8,72E+04 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$ https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA ÁGUA LIMPA

DBO no córrego despoluído = 28 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 64,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego despoluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego despoluído = (28*1/1000) *(64*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego despoluído = 944713728000 J/ano

DBO no córrego despoluído = 9,45E+11 J/ano

Transformidade = (CALCULAR) sej/J - Calculada

APENDICE D

Energia solar SP = 1,60E+01

http://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf

Chuvas SP = 1731 mm em SP EM 2020 www.itep.br/meteorologia/

Energia solar = 16,56 MJ www.itep.br/meteorologia/

Albedo (http://doi.org/10.24927/rce2015.042) = 020

CÓRREGO IPESP

ÁREA DO CÓRREGO = 0,80 Km²

ENERGIA DO SOL = Energia do sol = (radiação)*(área total) *(1-albedo)

(16,56 MJ/m2/dia) *(1/1000) *(800.000m2) *(365 d/ano) *(1-0,2)

Energia do sol = 3.868.416 J/ano

Energia do Sol = 3,87E+06 J/ano

Transformidade = 1,00E+00 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA CHUVA

Precipitação = 1731 mm/ano

Energia livre de Gibbs = 4,94E+00 J/g

Área total = 0,8km2 – 800.000 m2

Energia da chuva = (precipitação)*(energia de Gibbs) *(área)

Energia da chuva = 1731*4,94*800.000 J/ano

Energia da chuva = 6.840.912.000 J/ano

Energia da chuva = 6,84E+09 J/ano

Transformidade = 1,82E+04 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA ÁGUA POLUÍDA

DBO no córrego poluído = 117 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão de esgotos córrego 15 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego poluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego poluído = (117*1/1000) *(15*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego poluído = 925207920000 J/ano

DBO no córrego poluído = 9,25E+11 J/ano

Transformidade = 2,9E+04 sej/J https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA AÇÕES REALIZADAS, J

Em 2007 a relação R$/U$ = 1,95 http://www.farmnews.com.br/mercado/dolar-frente-ao-real-2/

Cálculo do custo das obras de saneamento

Investimento Total = R$ 350.000,00

Vida útil de redes de esgoto = 50 anos

Implantação das obras = (investimento total) / (vida útil) / (1,95 R$/US$)

(350.000.00R$) / (50 anos) / (1,95 R$/US$)

Implantação das obras= 3,59E+03 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$ https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

Cálculo dos custos de operação e manutenção, US$

Custo operação = 4,25E+00 R$/hab/ano - Von Sperling, 2002

Número de habitantes = 14000 hab - população atendida

Custos de operação = (custo operação) *(número de habitantes) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = (4,25) *(14000) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = 3,05E+04 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$

Fonte: https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA ÁGUA LIMPA

DBO no córrego despoluído = 6 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 30,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego despoluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego despoluído = (30*1/1000) *(30*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego despoluído = 474.465.600.000J/ano

DBO no córrego despoluído = 4,74E+11 J/ano

Transformidade = (CALCULAR) sej/J – Calculada

APENDICE E

Energia solar SP = 1,60E+01 http://aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf

Chuvas SP: 1731 mm em SP EM 2020 www.itep.br/meteorologia/

Energia solar: 16,56 MJ www.itep.br/meteorologia/

Albedo (http://doi.org/10.24927/rce2015.042) = 020

CÓRREGO ELISA MARIA

ÁREA DO CÓRREGO = 0,40 Km²

ENERGIA DO SOL = Energia do sol = (radiação)*(área total) *(1-albedo)

(16,56 MJ/m2/dia) *(1/1000) *(400000m2) *(365 d/ano) *(1-0,2)

Energia do sol = 1.934.208 J/ano

Energia do Sol = 1,93 E+06 J/ano

Transformidade = 1,00E+00 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA CHUVA

Precipitação = 1731 mm/ano

Energia livre de Gibbs = 4,94E+00 J/g

Área total = 0,4km2 – 400.000 m2

Energia da chuva = (precipitação)*(energia de Gibbs) *(área)

Energia da chuva = 1731*4,94*400.000 J/ano

Energia da chuva = 3.420.456 J/ano

Energia da chuva = 3,42E+06 J/ano

Transformidade = 1,82E+04 sej/J - Odum, 1996

ENERGIA DA ÁGUA POLUÍDA

DBO no córrego poluído = 92 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 4 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego poluído = (DBO no esgoto) *(vazão de projeto) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego poluído = (92*1/1000) *(4*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego poluído = 194003712000 J/ano

DBO no córrego poluído = 1,94E+11 J/ano

Transformidade = 2,9E+04 sej/J https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA AÇÕES REALIZADAS, J

Em 2007 a relação R$/U$ = 1,95 http://www.farmnews.com.br/mercado/dolar-frente-ao-real-2/

Cálculo do custo das obras de saneamento

Investimento Total = R$ 590.000,00

Vida útil de redes de esgoto = 50 anos

Implantação das obras = (investimento total) / (vida útil) / (1,95 R$/US$)

(590.000.00R$) / (50 anos) / (1,95 R$/US$)

Implantação das obras= 6,05E+03 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$ https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

Cálculo dos custos de operação e manutenção, US$

Custo operação = 4,25E+00 R$/hab/ano - Von Sperling, 2002

Número de habitantes = 4800 hab - população atendida

Custos de operação = (custo operação) *(número de habitantes) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = (4,25) *(4800) / (1,95 R$/US$)

Custos de operação = 1,05E+04 US$/ano

Transformidade = 4,0E+06 sej/US$

https://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm

ENERGIA DA ÁGUA LIMPA

DBO no córrego despoluído = 30 mg/L

Razão de DBO na matéria orgânica: 01:01

Energia na matéria orgânica = 4,00E+00 kcal/g - Odum, 1996

Vazão do córrego 8,0 L/s - Considerada a máxima vazão

DBO no córrego despoluído = (DBO esgoto) *(vazão) *(energia na matéria orgânica)

(_mg/L) *(1/1000 g/mg) *(_L/s) *(3,15E+7 s/ano) *(_kcal/g) *(4184 J/kcal)

DBO no córrego despoluído = (30*1/1000) *(8*3,15E+7) *(4*4184)

DBO no córrego despoluído = 126524160000 J/ano

DBO no córrego despoluído = 1,27E+11 J/ano

Transformidade = (CALCULAR) sej/J – Calculada