



Pedro Bregalda do Carmo Borba Neves

**Estudo dos índices de sustentabilidade
aplicados em retrabalho na construção civil**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e
Ambiental da PUC-Rio

Orientador: Prof. Tacio Mauro Pereira de Campos

Rio de Janeiro

Setembro de 2019



Pedro Bregalda do Carmo Borba Neves

Estudo dos índices de sustentabilidade aplicados em retrabalho na construção civil

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Tacio Mauro Pereira de Campos

Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof.^a Thais Cristina Campos de Abreu

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. Emil de Souza Sánchez Filho

Universidade Federal Fluminense – UFF

Rio de Janeiro, 10 de setembro de 2019.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Pedro Bregalda do Carmo Borba Neves

Graduou-se em Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2007, é Sócio-Diretor da empresa PBN Engenharia, é Perito Judicial do Tribunal Regional do Rio de Janeiro, do Tribunal Regional de Minas Gerais e do Tribunal Regional do São Paulo. Realizou perícias judiciais nas áreas de desapropriação, vícios construtivos renovatórias e danos construtivos. É fiscal e consultor de condomínios e administradoras imobiliárias.

Ficha Catalográfica

Neves, Pedro Bregalda do Carmo Borba

Estudo dos índices de sustentabilidade aplicados em retrabalho na construção civil / Pedro Bregalda do Carmo Borba Neves ; orientador: Tacio Mauro Pereira de Campos. – 2019.

73 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2019.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Patologias construtivas. 3. Vida útil. 4. Pegada ecológica. 5. Lei de sitter. 6. sustentabilidade. I. Campos, Tacio Mauro Pereira de. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Para minha querida mãe, mesmo ausente, sei de
sua alegria com este trabalho.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar aos meus pais, sei de todos seus esforços herculanos em me garantir uma boa educação e formação. Não teria caminhado nem um milionésimo desta estrada até aqui sem a dedicação ininterrupta deles.

Minha mãe, meu grande exemplo, sempre me apontou o caminho certo da vida. Mesmo hoje, na grande falta que faz, continua apontando o caminho com seus ensinamentos e exemplos de vida deixados. Muito além de agradecer, eu tenho o dever moral de dedicar este trabalho a ela: minha professora, minha mestra, minha guia e, acima de tudo, minha mãe.

Agradeço também à minha esposa, pelo apoio, dedicação e “puxões de orelha”. Sem este “ pilar de sustentação ” da minha vida eu não seria o que sou e não conseguiria fazer esta caminhada. Minha esposa não está atrás de mim, está sim, sempre ao meu lado, de mãos dadas, trilhando um belo futuro junto.

Agradeço também a todos meus mestres e professores, desde o colégio até este curso, passando pela minha graduação. Agradeço em especial aos Professores Tácio Campos e Fernanda Salgado que tiveram a grande paciência e dedicação de me orientar neste trabalho.

Este trabalho só pôde se concretizar pelo apoio que tive de todos presentes na minha vida, todos os amigos e familiares, principalmente meus pais, Fernando e Teresinha, minha esposa Maina e meus professores Tácio e Fernanda. Hoje, mais do nunca, a frase “*se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro de gigantes*” (Sir. Isaac Newton) faz muito mais sentido.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Resumo

Neves, Pedro Bregalda do Carmo Borba; Campos, Tácio Mauro Pereira de (Orientador). **Estudo dos índices de sustentabilidade aplicados em retrabalho na construção civil**. Rio de Janeiro, 2019. 73p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Assim como qualquer item, uma construção possui uma vida útil que considera o seu nascimento como momento que ela é concebida em projeto, e sua morte como sendo sua demolição final. Durante sua “vida” uma construção deve passar por manutenções (preventivas, adaptativas e corretivas) que permitem o prolongamento do seu uso, mantendo o seu nível de desempenho dentro do aceitável. Muitas vezes as ações corretivas se dão em períodos curtos de tempo, intervalos abaixo do esperado por seus usuários ou administradores. Obviamente toda intervenção trás consigo um custo financeiro, que cresce dependendo do momento em que ela ocorra dentro da vida da construção. Muito além do custo financeiro, toda atividade causa impacto no meio ambiente, gerando assim um custo ambiental. Determinar o preço ambiental do refazimento de uma obra, em um curto espaço de tempo (menor que o esperado) ilustra o peso deste custo, muitas vezes invisível ou negligenciado, é necessário. A Análise do refazimento de uma obra devido a falhas construtivas que trouxeram uma drástica queda no desempenho no uso do empreendimento demonstrou que o custo ambiental é proporcionalmente muito maior que o custo financeiro esperado. Sabendo que o custo financeiro de correções construtivas ao longo da vida do imóvel cresce em uma progressão geométrica de base 5, permite comparar o quanto o custo ambiental pode desequilibrar a sustentabilidade. Analisando que a intervenção de uma área de 4.200 m² utilizou uma área ambiental de 1.360.000 m², faz com que os “sinais de alerta se acendam” demonstrando que a correção de um erro construtivo é muito maior para o meio ambiente que o custo financeiro envolvido.

Palavras-chave

Patologias construtivas; vida útil; pegada ecológica; lei de sitter; sustentabilidade.

Extended Abstract

Neves, Pedro Bregalda do Carmo Borba; Campos, Tácio Mauro Pereira de (Advisor); **Study of sustainability indexes applied to rework in civil construction.** Rio de Janeiro, 2019. 73p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The world population has been growing at a dizzying rate in recent centuries. And this accelerated population gain brings with it numerous consequences, among them, the need to produce more food, housing and infrastructure. This all leads us to consume more and more natural resources and also increases the generation of waste and waste.

The so-called carrying capacity of the planet (condition of sustaining a population), has not evolved in the last centuries in the same index of population growth, that is, humanity is consuming natural resources and generating waste at a speed higher than that which the planet is capable of. produce and absorb.

To continue supporting the growing population of the planet, it is necessary to experiment with new technologies, methodologies and processes so that this growth is supported by the tripod of sustainability.

The term sustainable development has the most common, and accepted, meaning that points to a tripod of economic growth, environmental preservation and social development.

Civil construction is an essential economic sector in the development of any country and society, being responsible for a large fraction of the quality of life of human beings, since they alter the natural environment for better use of space. Understanding the environmental cost of correcting a construction failure is the objective of this work.

There are countless studies that point to the financial cost of the so-called rework, but few look at this "phenomenon" under the environmental lens.

The entire life cycle of an enterprise, from its design to its ruin, through its construction and use, causes environmental marks. To correct flaws in works

already completed, or in use, there is a need to consume new materials, involving an entire production chain and generating new waste.

To produce a certain input that will be used in the correction of a pathology, the following are required: consumption of raw materials to conceive it, energy consumption to manufacture it, waste to produce it, expenses with transportation to take it from the factory to the point of use. All of these steps in the process consume environmental resources.

At the other end of the error correction, for the pathology to be eliminated, it must be removed from the site (demolition of a crooked wall, for example) using energy and producing residues from this removal. This waste will be transported to a suitable disposal site, that is, using more energy in this process. In addition, it is still necessary to transform a harmful waste into something less aggressive to the environment.

Given the above, the purpose of this research is to understand the size of the impact that a constructive failure can cause to the environment depending on its severity and the moment it is detected.

In order to carry out this work, a project was followed up with a short time of use, but which needed major interventions due to the flaws found.

With the analysis of the presented pathologies it was possible to measure how much they “weighed”, and “will weigh”, to the environment. In addition, analyzing the origin and the correction method implemented will allow to “index” each of the flaws found environmentally, measuring how much the planet's carrying capacity could have been preserved had these defects not occurred.

The useful life of a building can be understood as the time interval from its "birth", marked by its design concept, until its "death" with its demolition and / or disuse. Project useful life (VUP) must be defined by the developer and the project designer. VUP, despite being a temporal measure, has an economic character, being defined as the best relation between global cost versus time to enjoy the good.

Preventive maintenance takes place constantly and aims to increase the life of the project, whereas corrective maintenance must occur in a timely manner and correcting failures in points that are already performing below the desired level. Adaptive maintenance has the objective of adjusting the enterprise to receive new technologies, new equipment and to comply with the new legislation

The economic character of the useful life of a good is characterized by its global cost, which must be defined as the sum of the cost of acquisition, or construction, of the good and the cost of maintenance throughout its life.

The total cost of a construction during its "life" includes the costs of planning, design, construction, operation, maintenance and demolition. These construction costs represent between 15% and 20% of the total cost; 80% of the amount is spent on operation and maintenance and only 2% to 5% of the amount is spent on planning and design (conceptual and detailed).

The total cost of a construction during its "life" includes the costs of planning, design, construction, operation, maintenance and demolition. These construction costs represent between 15% and 20% of the total cost; 80% of the amount is spent on operation and maintenance and only 2% to 5% of the amount is spent on planning and design (conceptual and detailed).

The useful life of a building, for example, goes through the useful life of its components such as its foundations, superstructures, hydro-sanitary installations, electrical installations, facades, internal cladding, paintings and waterproofing.

Studies show that corrective maintenance costs up to five times more than preventive maintenance. Corrective maintenance is often required in shorter time cycles than initially imagined (and desired) by those responsible for the enterprise.

Currently, numerous failures in new construction (or with little use) are verified, such as buildings, bridges, roads, streets and public supply networks, which range from faults of all kinds, from simple to catastrophic.

The service life can be extended with preventive, corrective and adaptive maintenance interventions. The extension of useful life is directly impacted on the

overall cost of construction. The lowest global cost system is usually not the lowest initial cost nor the longest lasting. Seeking to optimize the cost-benefit ratio is the best option for society. The useful life of a building must be supported by the tripod of socio-environmental importance, cost of implementation and cost of maintenance over the years.

When investors seek to save money by building buildings with low quality standards, and with low maintenance ease, they increase the cost of future maintenance. At the other end of the real estate market, users do not carry out preventive maintenance because they consider its cost to be high, often allowing certain components of the project to come close to the level of unacceptable performance and only then carry out the maintenance that has now become corrective, costing financially more than the preventive maintenance previously denied.

The Sitter rule, or Law of 5, determines that the relative cost of an intervention grows in a geometric progression of ratio 5 over time in the project and its maintenance. The sooner a problem is perceived, the lower its cost.

Sustainability, despite not having a unanimous definition, is a concept that must integrate aspects of social-ecological dimensions, economic factors, and the short, medium and long term advantages. Putting together all the concepts expressed by several authors, sustainability can be defined as the attempt to achieve economic and social growth while preserving the finite resources of the environment.

For more than 40 years, humanity's demand for nature has exceeded the planet's replacement capacity. Currently 1.5 Earth planets would be needed to provide the ecological services that were used in the 1980s. Trees are cut faster than they can ripen, more fish are caught than the oceans can replenish and more carbon is emitted than forests and oceans can absorb.

The carrying capacity of the planet has been compromised in a way never before experienced by humanity, to meet the current lifestyle of the population. Consumerism is seen as a behavior that leads to an increase in production and,

consequently, to economic progress, but this "equation" is limited by resources that cannot sustain unlimited growth. Finite spaces cannot absorb waste that grows indefinitely.

The carrying capacity of a system is obviously influenced by factors such as average income, material expectations and level of technology, that is, energy and material efficiency.

There are few systems of indicators that analyze sustainable development in a generic way. The most commonly used indicators globally are as follows: (1) Sustainability Panel, (2) Sustainability Barometer and (3) Ecological Footprint.

The indicator called Ecological Footprint has the advantage of being easily "visualized", since the Ecological Footprint represents the ecological space necessary to sustain a given system, or community. It is a simple tool that counts the flows of matter and energy that enter and leave an economic system, converting them into areas of land, or water, necessary to sustain such a system.

The Ecological Footprint is a method that transforms the consumption of raw materials and the assimilation of waste from an economic system, or from a human population, into an area corresponding to productive land or water. Using this method, it is possible to calculate the area of the ecosystem needed to ensure the "eternal" survival of a given population or system. Once this equivalent area of the ecosystem has been determined, it is possible to visualize how much it appropriates the carrying capacity of the planet as a whole.

In fact, the size of the Footprint can change depending on the new technologies developed, which can be more or less resource-consuming and waste-generating.

The calculation method for measuring the Ecological Footprint, although easily intuitive, is difficult to carry out with regard to data collection.

To estimate an appropriate area for the production of a certain item - construction of a bridge, for example, a production flow of this good must be set up, relating how much raw material is needed for its input production. At the other

end of the production chain, one must know how much waste was generated to produce the good and determine the amount of forest area necessary for the harmful gases produced during the design of the item to be fully absorbed output.

The case analyzed in this work aims to demonstrate the relationship between some constructional failures and the respective environmental cost to correct them. The aim is to determine the size of the Ecological Footprint for the correction of pathologies that appeared in a period prior to that expected of useful life.

The measurement of how much a constructive failure, which requires its “redoing” before expected by the projected useful life, can affect sustainability in a generic way will be “materialized” in this study.

The study was carried out in a residential condominium composed of 688 one-bedroom apartments, living room and two bedrooms and living room and three bedrooms. All of these apartments are distributed in 6 towers

The condominium has a built area of approximately 79,000 m².

The construction of the condominium lasted about five years, with its housing certificate dated 05/22/2009.

The biggest problems encountered right after the project was delivered were:

1. constant flooding of the basement garage;
2. constant flooding of some elevator shafts;
3. infiltrations originating from the roof slabs.
4. plastering of some balconies and in some points of the framework giving off;

The case study took place in the analysis of the infiltrations perceived through the coverage of the site.

The roof slabs of the condominium were designed as technical areas. In them are installed water tanks to supply the blocks, forced exhaust systems, hydraulic pressurization systems and the machine rooms of the elevators. The total

area of the slabs is approximately 4,200 m² divided into some levels and with houses just below.

The roof structure is made up of 15 cm thick reinforced concrete slabs. The waterproofing system at the site was originally made of asphalt blankets 3 mm thick and against the floor, as mechanical protection, with thickness ranging from 10 cm to 18 cm. The counter-floor was made of concrete (cement, sand and gravel) and formed by square plates 1m wide.

A system for waterproofing usable roofs, like the one analyzed, must have a projected useful life (NBR 15575 - Residential Buildings) varying between 20 and 30 years, that is, with the necessary preventive maintenance (cleaning, crack correction, etc.) this system could not have a corrective intervention with less than 20 years of use.

In 2012, three years after the inauguration of the project, the roof slabs presented serious problems in the waterproofing system, fixing and integrity of the underfloor, in addition to flaws in the baseboard railings.

The intervention carried out in the condominium to correct this problem began in November 2016 and was completed in August 2018. The entire waterproofing, slab and counter-floor regularization system was redone.

If this intervention had occurred within the parameters established for the project's useful life, it should have occurred between the years 2029 and 2039, but it occurred in 2016, 13 years before the minimum projection for this.

The intervention, briefly, had the following numbers:

Item	Quantity	Unit
Total Area	4.200	m ²
Debris generation	800	m ³
Cement Consumption	250	m ³
Sand Consumption	450	m ³
Asphalt blanket consumption	5.000	m ²
LPG consumption	65	kg

Work Time	22	months
Labor	45.760	Men / Hour
Cost	1.400.000,00	Reais
Average Cost	333,33	R\$/m ²

In order to estimate the Ecological Footprint of the waterproofing work, it is necessary to separate the items that make up the inputs and outputs of the work flow within each phase and, again, separate their inputs and outputs, and so on until the extraction of the raw material (input) and the deposit of generated waste (output).

The system inputs are as follows

I. Cement:

- i) limestone;
- ii) clay;
- iii) steel slag;

II. Asphalt Blanket:

- i) petroleum asphalt cement;
- ii) polymers;

The system outputs are as follows:

- I. debris generated by direct intervention;
- II. CO₂ emission generated in the manufacture of the cement used;
- III. CO₂ emission generated to install the blankets on site.

To determine the size of the Ecological Footprint generated by the residues of the studied work, some premises were adopted:

1. of the 800m³ of rubble generated in the work, 90% was composed of non-structural concrete with a specific mass of 2.4 t / m³ originated from the demolished mechanical protection counter-floor;

2. the other tailings generated (80 m³) are composed of different materials (asphalt blanket, steel bars, papers, plastics, etc.) with an average specific mass of 1.5t / m³;
3. The recycling of construction waste occurs in 21% of the material processed by landfills (2,350 tons / day), that is, 79% of the generated RCC is not recycled or reused, simply deposited;
4. the rubble deposits have a maximum height of 2 m;
5. an average forest absorbs 1.8 t of carbon dioxide (CO₂) per hectare each year.

The calculation of the ecological footprint result for this work is summarized as follows:

Product	Description	By-product	Quantity Produced / Consumed (t)	Area needed to produce (hectares)	Area needed to absorb (hectares)
Cement	Input	Limestone	798	0	
	Output	CO ₂	488		136
Blanket	Input	Oil-based asphalt	15	0	
	Output	CO ₂	0,191		0,107
Civil Construction Waste	Output	Rubble	1850		0,0316
Total					136,138

Analyzing the results, it is clear that only the outputs contribute to the calculation of the Ecological Footprint of the Work. This result helps to break the paradigm created about the environmental impact caused by the extraction of raw materials, as long as the correct recovery is carried out on site.

The great “villain” of the work studied was the emission of greenhouse gases (especially CO₂). The production of the cement produced for the intervention was responsible for 99.9% of the size of the Ecological Footprint of this work. The generation of rubble and the CO₂ produced by the installation of the blankets contributed to only 0.1% of the footprint dimension.

The area needed to absorb the environmental impact generated by the intervention in an area of 4,200 m² is 1,360,000 m², that is, an area 324 times larger than the area under correction.

Keywords

Building Pathology; lifespan; ecological footprint; law of sinner; sustainability.

Sumário

1. Introdução	24
1.1. Notas Iniciais	24
1.2. Problemática	25
1.3. Objetivo	27
1.3.1. Objetivo Geral	27
1.4. Metodologia	27
1.5. Delimitação do estudo	28
2. Vida útil da construção e patologias	29
2.1. Regra de Sitter	34
3. Sustentabilidade	38
3.1. Capacidade de carga do planeta	40
3.2. Indicadores de Sustentabilidade	42
4. Estudo de caso	48
4.1. Condomínio Cores da Lapa	48
4.1.2.1.2. Manta Asfáltica	58
4.1.2.1.3. Entulho gerado pela construção civil	59
5. Análise dos resultados	67
6. Conclusão	68
7. Referências bibliográficas	70

Lista de figuras

Figura 2.1 – Desempenho de uma estrutura ao longo do seu tempo	30
Figura 2.2 – Custo da construção ao longo do tempo	31
Figura 2.3 – Lei de Sitter	35
Figura 3.1 – Chamados dias “D”s desde 1969 até 2107	41
Figura 3.2 – Fluxograma para o cálculo da pegada ecológica de uma construção	47
Figura 4.1 – Foto de parte das áreas comuns e fachadas do condomínio	49
Figura 4.2 – Contra piso de um dos blocos com trincas e desprendimento	52
Figura 4.3 – Desprendimento do contra piso, expondo a manta	52
Figura 4.4 – Desprendimento do contra piso, expondo a manta	53
Figura 4.5 – Desprendimento do rodapé, expondo sistema de impermeabilização	53
Figura 4.6 – Desprendimento do rodapé, abrindo espaço para penetração de água	54
Figura 4.7 – Desprendimento e levantamento do contra piso, expondo sistema de impermeabilização	54

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Quadro resumo da obra	55
Tabela 4.2 – Produção de cimento, consumo de calcário e produção de dióxido de carbono no Brasil	58
Tabela 4.3 – Divisão do CONAMA dos resíduos sólidos	60
Tabela 4.4 – Taxa de absorção de dióxido de carbono de algumas espécies	62
Tabela 4.5 – Consumo de cimento da obra e consumo de calcário e produção de dióxido de carbono para esta quantidade	64
Tabela 4.6 – Quadro resumo do cálculo da Pegada Ecológica	66
Tabela 5.1 – Área necessária para absorção do dióxido de carbono produzido pela indústria cimenteira no Brasil	68

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Fluxo de obra	56
Gráfico 4.1 – Concentração de dióxido de carbono na atmosfera ao longo dos anos	62

Lista de Siglas e Termos Técnicos

Abiove – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ANP – Agência Nacional de Petróleo

Anvisa – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

Aprobio – Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil

COM – *European Commission*

EC – Economia Circular

EL – Economia Linear

EMF – *Ellen MacArthur Foundation*

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GEE – Gases de Efeito Estufa

GRSU – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBC – *Intermediate Bulk Container*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISWA – *International Solid Waste Association*

LR – Logística Reversa

NBR – Norma Brasileira

OCR – Óleo de Cozinha Residual

PEV – Ponto de Entrega Voluntária

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB – Produto Interno Bruto

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SDG – *Sustainable Development Goals*

SGRSU – Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

Ubrabio – União Brasileiro do Biodiesel e Bioqueresene

UCO – *Used Cooking Oil*

WtE – *Waste to Energy*

O homem chega e já desfaz a natureza. Tira a gente põe represa, diz que tudo vai mudar. O São Francisco lá pra cima da Bahia. Diz que dia menos dia, vai subir bem devagar. E passo a passo vai cumprindo a profecia do beato que dizia que o sertão ia alagar: O sertão vai virar mar... Dá nó no coração, o medo que algum dia o mar também vire sertão.

Sá e Guarabyra, *Sobradinho*

1. Introdução

1.1. Notas Iniciais

A população mundial vem crescendo de forma vertiginosa nos últimos séculos. Éramos, segundo a ONU, quase um bilhão de pessoas em 1800, passando a pouco mais de um bilhão e meio em 1900, chegando até três bilhões em 1950, quase atingindo a marca de seis bilhões e meio de pessoas em 2005 e chegando à sete bilhões em 2011. Estima-se ainda que a marca de onze bilhões será atingida em 2096 (UNITED NATIONS, 2017).

Esse crescimento populacional acelerado trás consigo inúmeras consequências, dentre elas a necessidade de se produzir mais alimentos, moradias e infraestruturas o que nos leva a consumir, com isso, cada vez mais recursos naturais e gerando mais resíduos e rejeitos.

A chamada capacidade de carga do planeta (condição de sustentar uma população) por mais que se desenvolvam tecnologias, não evoluiu nos últimos séculos no mesmo índice do crescimento populacional, ou seja, a humanidade está consumindo recursos naturais e gerando resíduos em uma velocidade superior aquela que o planeta tem condições de produzir e absorver.

O termo desenvolvimento sustentável, apesar de muito utilizado atualmente, não tem uma definição unânime. O sentido mais comum, e aceito, é aquele que aponta para um tripé de crescimento econômico, preservação ambiental e desenvolvimento social (ABRAMOVAY, 2012).

Para continuar dando suporte à população crescente do planeta é necessário que se experimentem novas tecnologias, metodologias e processos para que esse crescimento esteja apoiado no tripé da sustentabilidade.

A construção civil é um setor econômico essencial no desenvolvimento de qualquer país e sociedade. No ano de 2017, no Brasil, esse setor econômico foi

responsável por 1,9 milhões de empregos, com uma contribuição de R\$ 128.100.000,00 apenas na área de incorporação de edificações (IBGE, 2018).

Este setor é responsável por grande fração da qualidade de vida dos seres humanos, uma vez que eles alteram os meio ambiente natural para melhor aproveitamento do espaço e mais ainda tem seus processos executados, de forma artesanal e com pouco planejamento ou estudado (NETO, 2005) .

A indústria da construção civil é uma das grandes consumidoras de matéria prima e geradoras de resíduos. Existem inúmeros estudos que apontam o custo financeiro do denominado retrabalho (DE FREITAS e ANGELIS, 2013), mas poucos olham para esse “fenômeno” sob a lupa ambiental. Quanto custa ambientalmente refazer algo concebido de maneira errada?

A construção civil, por si só, deixa marcas profundas no planeta. O homem precisa alterar o meio ambiente para melhor aproveitá-lo. Existem infinitos tipos de patologias, com diversas origens e inúmeras maneiras de saná-las. Essas falhas geram consequências nas construções espalhadas pelo planeta. Para corrigir qualquer uma delas existe além de um custo financeiro, um custo ambiental. Mas esses “custos” (financeiro e ambiental) variam de acordo com a gravidade das falhas e com o momento em que o defeito é detectado: se no projeto, na construção ou durante a utilização do empreendimento.

1.2. Problemática

Todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde seu projeto até sua ruína, passando pela sua construção e utilização, causam marcas ambientais. Estas “cicatrices” podem, e devem ser amenizadas. O simples fato de se conceber um projeto adequado ao local em que será implantado, facilitando e promovendo as manutenções devidas, já reduziria o potencial impacto ambiental gerado pela construção.

Para corrigir falhas em obras já finalizadas, ou em fase de uso, existe a necessidade de consumo de novos materiais, envolvendo toda uma cadeia produtiva e gerando novos resíduos.

Para produzir um determinado insumo que será utilizado na correção de uma patologia são necessários: consumo de matéria prima para concebê-lo, o consumo de energia para fabricá-lo, resíduos para produzi-lo, gasto com transporte para levá-lo da fábrica ao ponto de utilização. Todas essas etapas do processo consomem recursos ambientais.

Na outra ponta da correção do erro, para a patologia ser eliminada, deve-se removê-la do local (demolição de uma parede torta por exemplo) utilizando-se energia e produzindo resíduos desta remoção. Esses resíduos serão transportados para um local de descarte adequado, ou seja, mediante a utilização de mais energia neste processo. Além disso, ainda é necessário transformar um rejeito nocivo, em algo menos agressivo ao ambiente.

Diante do exposto, o intuito desta pesquisa consiste em entender o tamanho do impacto que uma falha construtiva pode causar ao meio ambiente dependendo da sua gravidade e do momento em que é detectada. Analisar quais são os principais itens que compõem o custo ambiental, mensurar o quanto a sustentabilidade está sendo desequilibrada por estas falhas construtivas podem levar os agentes envolvidos a uma melhor conscientização do seu papel na preservação ambiental.

Assim como podem existir diversas origens e causas das falhas construtivas, há também diversas maneiras de corrigi-las. Analisar quanto essa remediação custa ao meio ambiente, sob a luz de indicadores de sustentabilidade, será o desafio. Deve-se demonstrar que em todas as etapas do empreendimento existe um preço muito além do financeiro para o retrabalho.

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo Geral

Esta dissertação tem como objetivo analisar o custo ambiental da correção de uma determinada patologia, dependendo de sua gravidade e do momento de sua detecção (dentro da vida útil da construção), e dimensionar qual item na cadeia do retrabalho mais contribui para a formação da “cicatriz” ambiental.

1.3.2. Objetivos Específicos

São três os objetivos específicos desta dissertação, explicitados a seguir:

- I. analisar o ciclo de vida de empreendimento da construção civil, bem como o custo de corrigir patologias em cada uma das etapas de sua existência na construção;
- II. analisar os índices de sustentabilidade mais comuns visando determinar qual melhor descreve as situações que serão estudadas;
- III. analisar o custo ambiental, baseado no índice de sustentabilidade mais apropriado, para a correção de patologias em cada etapa do ciclo de vida do empreendimento.

1.4. Metodologia

A metodologia utilizada foi baseada na literatura sobre os assuntos relacionados, sendo complementada por um trabalho de campo. Durante este trabalho foi realizado o acompanhamento de um empreendimento com pouco tempo de uso, mas que precisou ter grandes intervenções devido às falhas encontradas.

Com a análise das patologias apresentadas foi possível dimensionar o quanto “pesaram”, e “pesarão” ao meio ambiente. Além disso, analisar a origem e o método de correção implementado permitirá “indexar” ambientalmente cada uma

das falhas encontradas, dimensionando o quanto a capacidade de carga do planeta poderia ter sido preservada caso esses defeitos não tivessem ocorrido.

1.5. Delimitação do estudo

Devido à enorme quantidade de patologias, e de possíveis maneiras de corrigi-las, o estudo fica limitado ao empreendimento analisado, que permitirá dimensionar quanto a correção de determinada patologia pode causar danos ao meio ambiente. Realizar uma “extrapolação” das análises para casos genéricos pode tornar a precisão baixa.

2. Vida útil da Construção e Patologias

A vida útil (VU) é uma medida temporal da durabilidade de um produto ou de partes dele. (ABNT. 15575-1:2013).

A vida útil de uma construção pode ser compreendida como o intervalo de tempo desde seu “nascimento”, demarcado pela sua concepção em projeto, até sua “morte” com a sua demolição e/ou desuso.

Diferente da vida útil, a vida útil de projeto (VUP) deve ser definida pelo incorporador e pelo projetista do empreendimento. A VUP, apesar de ser uma medida temporal, tem um caráter econômico, sendo definida como a melhor relação entre custo global *versus* tempo de usufruto do bem. Para bens de consumo de alto valor unitário e de, praticamente, aquisição única (ex.: habitações) faz-se necessário que referências sejam estabelecidas de modo que o custo inicial não prevaleça em detrimento do custo global e a durabilidade inadequada acabe comprometendo o valor do bem (ABNT, 2013b).

A vida útil deve ser igual ou maior do que a vida útil de projeto. Para tanto, todos os processos de manutenção preventiva especificados devem ser realizados, permitindo assim a utilização do bem dentro dos desempenhos desejados.

Durante sua utilização uma estrutura deve apresentar um certo nível de desempenho. Entretanto com o passar do tempo esse desempenho encontra-se abaixo do projetado originalmente. Todo usuário, proprietário, ou administrador de um empreendimento pretende prolongar ao máximo a sua vida útil, muitas vezes além da vida útil de projeto. Para que esse prolongamento ocorra, os níveis de desempenho devem sempre se manter entre o mínimo admitido e desejado e o desempenho originalmente projetado. Para que isso seja possível, são necessárias intervenções preventivas, corretivas e adaptativas ao longo do tempo (MEDEIROS e colab., 2011).

A Figura 2.1 ilustra as intervenções realizadas em um empreendimento ao longo do tempo, e como essas manutenções prolongam o tempo de vida de uma

construção. Manter o empreendimento dentro dos níveis de desempenho desejado exige manutenções preventivas constantes.

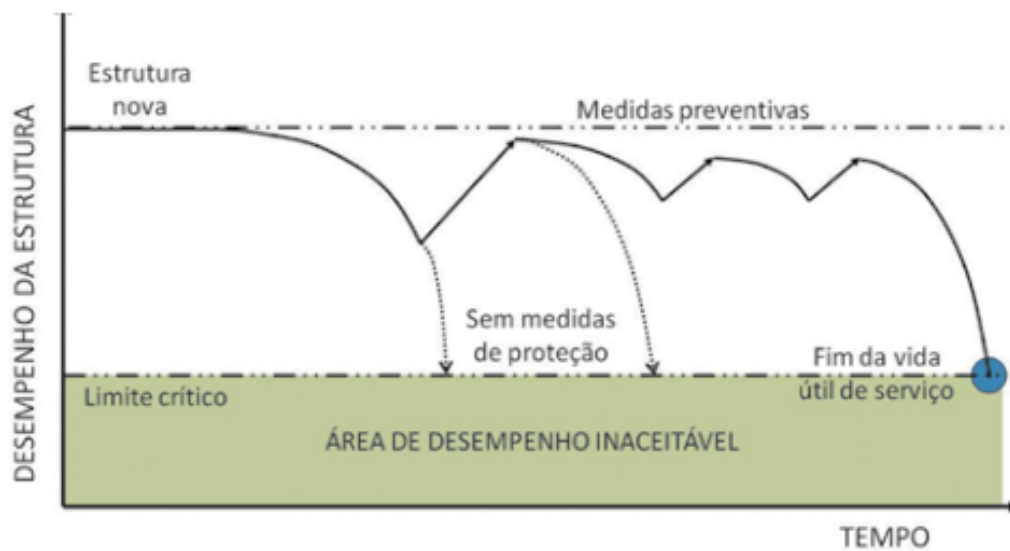


Figura 2.1 – Desempenho de uma estrutura ao longo do seu tempo.

Fonte: MEDEIROS e colab., 2011.

As manutenções preventivas ocorrem de forma constante e têm como objetivo aumentar a vida útil do empreendimento, já a manutenção corretiva deve ocorrer de maneira pontual e corrigindo falhas em pontos que já se encontram com um nível de desempenho abaixo do desejado. As manutenções adaptativas têm o objetivo de ajustar o empreendimento para receber novas tecnologias, novos equipamentos e se enquadrar às novas legislações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT e 14040, 2001).

O caráter econômico da vida útil de um bem é caracterizado pelo seu custo global, que deve ser definido como a soma do custo de aquisição, ou construção, do bem e pelo custo das manutenções ao longo da sua vida útil. Segundo (DE FREITAS e ANGELIS, 2013) o custo global de uma construção se distribui ao longo do tempo conforme descrito na Figura 2.2.

Segundo (DE FREITAS e ANGELIS, 2013), o custo total de uma construção durante sua “vida” inclui os custos de planejamento, projeto, construção, operação, manutenção e demolição. Ainda, segundo os mesmos autores, os custos de construção representam entre 15% e 20% do custo total; 80%

do montante é consumido na operação e manutenção e somente 2% a 5% do valor são gastos no planejamento e projeto (conceitual e detalhado).

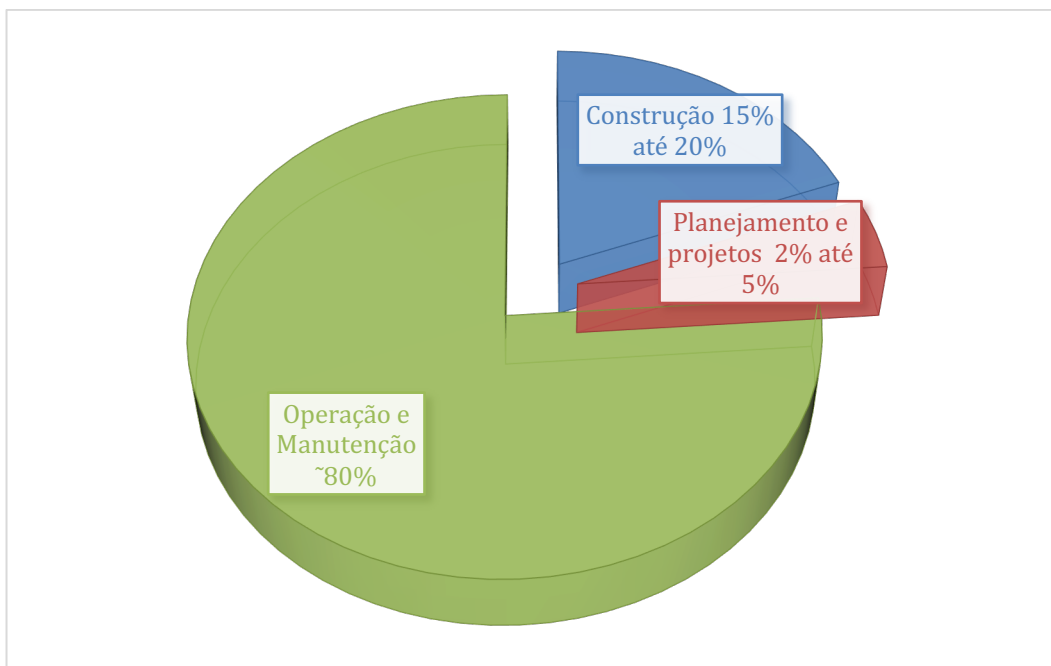


Figura 2.2 – Custo da construção ao longo do tempo.

Fonte: CIB W86, 2013.

A análise da vida útil de um empreendimento como um todo deve passar pela análise da vida útil de cada elemento da construção. A vida útil de um edifício, por exemplo, passa indispensavelmente pela vida útil das suas fundações, superestruturas, instalações hidro-sanitárias, instalações elétricas, fachadas, revestimentos internos, pinturas e impermeabilizações.

Da mesma maneira que a vida útil de uma construção depende das manutenções preventivas e corretivas, a vida útil de cada elemento do empreendimento depende dessas mesmas manutenções.

Estudos apontam que a manutenção corretiva tem um custo até cinco vezes maior que a manutenção preventiva (MEDEIROS e colab., 2011).

Entretanto, a manutenção corretiva muitas vezes é necessária em ciclos de tempo menores do que o imaginado (e desejado) inicialmente pelos responsáveis pelo empreendimento. A realização de intervenções corretivas antes do prazo

esperado tem como origem a existência de alguma falha no empreendimento. Essa patologia pode ter várias origens desde o projeto, passando pela execução e chegando a problemas ocasionados durante a manutenção preventiva ou até mesmo pelo próprio uso.

Atualmente são verificadas inúmeras falhas em construções novas (ou com pouco uso) como edifícios, pontes, estradas, ruas e redes públicas de abastecimento que apresentam desde falhas simples até catastróficas, sendo necessárias intervenções corretivas.

Algumas situações têm se tornado muito corriqueiras, como edifícios recém inaugurados que apresentam pontos de vazamentos em seus sistemas hidro-sanitários e de impermeabilizações, pontes com falhas em seus sistemas de drenagem de águas pluviais, estradas e ruas com revestimento asfáltico apresentando grandes ondulações e desprendimento e redes públicas de abastecimento que apresentam rompimentos que chegam a gerar inundações (ELADIO ALBUQUERQUE e colab., 2010).

Quanto maior for a vida útil de cada elemento componente da construção maior será a vida útil do empreendimento como um todo; *“uma corrente é tão forte quanto seu elo mais fraco.”* (Autor desconhecido)

Conforme explicitado: a vida útil de um projeto é basicamente uma expressão econômica de exigência do usuário. Na ABNT:NBR 15575:2103 é possível ler a seguinte definição:

“A vida útil é uma decisão de projetos que tem de ser estabelecida inicialmente para balizar todo o processo de produção do bem. Quando se projeta um sistema ou um elemento (por exemplo, a impermeabilização de uma laje), é possível escolher entre uma infinidade de técnicas e materiais. Alguns, pelas características, podem ter uma vida útil de 20 anos, sem manutenção, e outros não mais de 5 anos. Evidentemente, as soluções têm custo e desempenho ao longo do tempo muito diferentes.”

Conforme mostrado na Figura 2.1, a vida útil pode ser prolongada com intervenções de manutenções preventivas, corretivas e adaptativas. O prolongamento da vida útil é diretamente impactado no custo global da construção. O sistema de menor custo global não é normalmente o de menor custo inicial nem

aquele de maior durabilidade. Buscar a otimização da relação custo x benefício é a melhor opção para sociedade.

Exemplificando tal situação, segundo (MEDEIROS e colab., 2011):

Para estruturas de concreto armado que necessitam vida útil elevada, a redução da durabilidade provoca o aumento do consumo de matérias-primas, produção de poluentes, gastos energéticos e custos adicionais com reparos, renovação e manutenção das construções. Nestes casos, aumentar a vida útil, de maneira geral, mostra-se uma boa solução em longo prazo para a preservação de recursos naturais, redução de impactos, economia de energia e prolongamento do potencial de extração das reservas naturais.

O Anexo C da ABNT NBR 155575-1:2013 traz tabelas que determinam o prazo mínimo, em anos, da vida útil de determinados componentes de construção de uma edificação.

A vida útil de uma edificação deve ser suportada pelo tripé da importância socioambiental, custo de implantação e custo de manutenção ao longo dos anos (ABNT, 2013b).

Quando incorporadores buscam economizar realizando construções com baixo padrão de qualidade, e com baixa facilidade de manutenção, elevam, assim, o custo das manutenções futuras (ELADIO ALBUQUERQUE e colab., 2010). Na outra ponta do mercado imobiliário os usuários não realizam manutenções preventivas por considerarem seu custo elevado, deixando muitas vezes que determinados componentes do empreendimento cheguem próximos ao nível de desempenho inaceitável (ou até mesmo ao ponto de ruína) para, só então, realizar a manutenção que agora já se tornou corretiva, custando financeiramente mais que a manutenção preventiva negada anteriormente.

As falhas construtivas têm muitas de suas origens em projetos mal elaborados, com erros de detalhamento, problemas de cálculo, entre outros (PARNHAM, 2014), mas, atualmente patologias têm sido verificadas nos processos construtivo. Muitas vezes a falta da presença de um engenheiro no “campo” da construção, prazos curtos e baixa qualidade da mão de obra executante permitem que erros simples sejam cometidos (GOMIDE e colab., 2015). Um exemplo dessas falhas simples ocorre quando caminhões betoneira carregados de concreto fazem o

descarregamento do material na obra quando o chamado “tempo de lançamento” já passou do indicado em projeto ou pelo fabricante, ou seja, concreto vencido (MARCELLI, 2007).

Existem inúmeros estudos sobre as patologias encontradas em construções, voltados para determinar falhas nos vários processos e em como saná-las (ELADIO ALBUQUERQUE e colab., 2010). Praticamente todos esses estudos e análises têm como enfoque o custo financeiro derivado desses problemas, sendo a Regra de Sitter ou Lei dos 5 a principal base teórica utilizada para dimensionar esses montantes.

2.1. Regra de Sitter

A regra de Sitter, ou Lei dos 5, (SITTER W R, 1983) determina que o custo relativo de uma intervenção cresce em uma progressão geométrica de razão 5 ao longo do tempo no empreendimento e de suas manutenções. Quanto antes for percebido um problema menor será seu custo.

A Figura 2.3 ilustra o custo relativo de intervenção ao longo da vida, e das fases de manutenção do empreendimento. Segundo (SITTER W R, 1983) quanto mais se adia uma intervenção, o seu custo aumenta em proporção geométrica na razão 5, ou seja, uma manutenção corretiva pode chegar a custar 125 vezes mais do que sua correção ainda na fase de projeto.

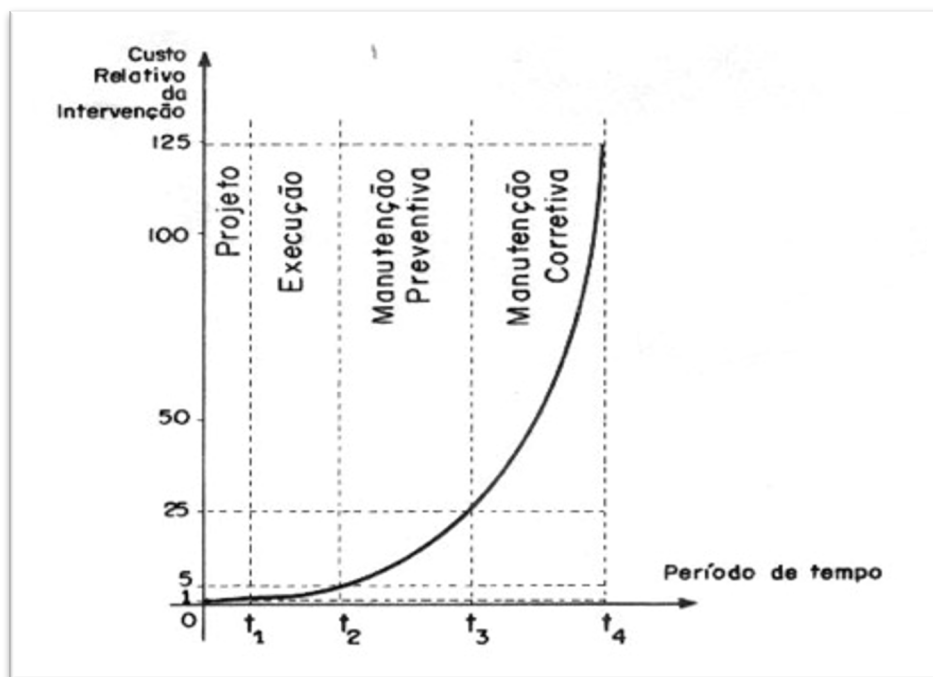


Figura 2.3 – Lei de Sitter
 Fonte: MEDEIROS e colab., 2011.

Um bom exemplo para visualizar essa situação é a análise do que ocorreu na Ciclovía Tim Maia no Rio de Janeiro. Uma estrutura inaugurada no dia 17/01/2016 em forma de ponte com tabuleiros e pilares, ligava o bairro do Leblon ao bairro de São Conrado paralelo ao costão da Avenida Niemayer. Toda a estrutura do tabuleiro foi concebida com apoios simples, denominada viga Gerber. Esses tabuleiros se encontravam simplesmente apoiados, não apresentando resistência em solicitações no sentido de baixo para cima.

No dia 21/04/2016, três meses após a inauguração do empreendimento, uma onda se chocou com parte do tabuleiro da ciclovía, fazendo com que se “desprendesse” dos pilares de apoio. Assim, uma plataforma de 26 m foi lançada ao mar causando a morte de duas pessoas (SILVA, Manoel Lapa e colab., 2017).

É nítido que nesse caso ocorreu uma falha de projeto por não contemplar a previsão da possível chegada de uma onda na parte inferior do tabuleiro da ciclovía. Tal falha ocasionou a perda, incalculável, de duas vidas e a interdição da ciclovía.

Analisando a situação pelas lentes da Lei de Sitter, e não equacionando a perda inestimável de vidas, caso esta patologia tivesse sido percebida durante o

projeto, sua correção teria custado “uma unidade”, se percebido durante a execução, a solução poderia ter custado até “cinco unidades”; finalmente se fosse percebida após a inauguração da via, mas antes que a estrutura colapsasse, essa correção poderia ter custado entre “vinte e cinco unidades” e “cento e vinte e cinco unidades”.

Infelizmente tal falha só foi percebida depois de uma tragédia, comprovando que um erro de projeto, se não corrigido logo, pode atingir preços astronômicos.

O custo da implantação da ciclovia, atualmente fechada e sem qualquer utilização, foi de R\$ 44.700.000,00. Ainda não há valores divulgados para a reparação da ciclovia, uma vez que inúmeras falhas – além da ocorrida – já foram diagnosticadas na estrutura (SILVA, Manoel Lapa e colab., 2017).

O ocorrido na ciclovia Tim Maia ainda ilustra outra situação: a falha catastrófica de uma estrutura em um prazo muito inferior à sua vida útil projetada. Uma estrutura como essa deve ter sua vida útil de projeto estimada, conforme Normas (BUENO, 2014), em no mínimo 50 anos, mas chegou à sua “ruína” em apenas três meses ou seja, ficou inutilizável com apenas 0,5% da vida útil desejável.

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ) realizou Laudo Pericial para o Processo Judicial de número 0249149-17.2016.8.19.0001, no qual o Ministério Público questiona a segurança e a integridade da estrutura da ciclovia, mesmo depois de obras de reforço e recuperação promovidas após o acidente ocorrido em abril de 2016.

A vistoria realizada pela Autarquia Federal ocorreu em fevereiro de 2017, um ano após a inauguração do empreendimento. Durante a inspeção o órgão pode verificar inúmeras falhas como a má fixação dos guarda corpos, falta de peças e corrosão avançada em quase todos os pontos dessa proteção, sinais de corrosão avançada e generalizada nas vigas e as lajes pré-fabricadas dos tabuleiros da pista estavam quebradas e com armaduras corroídas. Foram percebidas, ainda, fissuras e trincas nos pilares de sustentação da estrutura.

Na conclusão do citado Laudo Pericial é possível destacar o seguinte trecho:

“Com base em toda a descrição e, sobretudo, nas considerações apresentadas, é possível concluir que, hoje, a estrutura da ciclovia Tim Maia não apresenta condições adequadas de segurança para utilização, mesmo com a sinalização prevista para limitar o uso em condições críticas da natureza.

Esta conclusão se baseia na grande quantidade de pontos de deterioração constatados e em suas consequências que podem representar comprometimento da segurança estrutural pela perda de sua integridade. Também se baseia no fato de que outras áreas ao longo da ciclovia, podem estar expostas aos mesmos efeitos das marés, como aquele que ocasionou o acidente na região da gruta da Imprensa, sendo que comprovadamente as estruturas não foram dimensionadas para estas situações.”

Até o momento, com perícias realizadas e recomendações do Ministério Público, as autoridades ainda não sabem como resolver e custear o problema da ciclovia, que permanece fechada, sem utilização e sem previsão para que as patologias já manifestadas sejam sanadas.

Mesmo sem ainda ter sido reinaugurada, no mês de janeiro de 2019 a ciclovia voltou a ter outra parte de sua estrutura jogada ao mar. Dessa vez a causa do colapso foram as fortes chuvas que ocorreram na cidade do Rio de Janeiro que causaram deslizamentos de terra na encosta, fazendo com que o solo liquefeito “empurrasse” parte (diferente da anterior) da ciclovia ao mar.

3. Sustentabilidade

A sustentabilidade, apesar de não ter uma definição unânime, é um conceito que deve integrar aspectos de dimensões social e ecológica, fatores econômicos, e as vantagens de curto, médio e longo prazo (BELLEN, 2004).

No intuito de “equacionar” a sustentabilidade (FENG e colab., 2017) examinou a relação da renda *per capita* e quatro tipos de indicadores de deterioração ambiental (poluição atmosférica urbana, oxigenação de bacias hidrográficas e contaminações fecais e por metais pesados). Conclui-se que as fases de deterioração e recuperação ambiental estariam separadas por um ponto de inflexão que se situaria em torno de oito mil dólares de renda *per capita*.

O estudo realizado por (GROSSMAN, 2000) caminha na mesma direção do estudo de Simon Kuznets segundo o qual haveria uma regra entre o crescimento do PIB e a desigualdade de renda. (FENG e colab., 2017) acreditavam que esta relação piorava no começo, mas melhoraria com o tempo quando fosse atingido certo patamar financeiro.

Com o tempo, e com a capacidade de novos dados ecológicos foi possível verificar que os estudos de (GROSSMAN, 2000) não retratariam a realidade.

(BELLEN, 2004) publicou um estudo intitulado: Limites do Crescimento. Nele foi realizada uma análise da degradação ambiental dos anos 1960 e 1970. Nesse estudo foram criados dois cenários:

1. com as taxas mundiais de crescimento populacional, industrial, produção alimentar, consumo, poluição e diminuição dos recursos naturais; estes limites de crescimento serão atingidos e o provável resultado será um declínio vertiginoso tanto da população quanto da produção industrial;
2. havendo uma alteração das tendências de crescimentos, modificações que possam gerar uma estabilidade econômica-ecológica, permitirá que o consumo individual seja satisfeito da mesma maneira que a capacidade de carga do planeta possa produzi-las e absorve-las.

Para que o segundo cenário seja atingido, (BELLEN, 2004) propõe que haja uma estabilização do crescimento populacional e industrial. Essa tese, de crescimento zero, entra em choque direto com a ideia do crescimento contínuo da sociedade, crescimento que permita que a sociedade em algum momento atinja um nível de bem-estar desejável.

Nenhuma das duas teorias consegue definir com precisão o que seria um desenvolvimento sustentável. Assim, outros estudiosos procuraram desenvolver definições que, de certa forma, unissem as duas ideias e de fato pudessem chegar ao que seria um desenvolvimento com sustentabilidade.

Uma boa definição para uma sociedade sustentável é a seguinte: “*Uma sociedade pode ser considerada sustentável quando todos os seus propósitos e intenções podem ser atendidos indefinidamente, fornecendo satisfação ótima para seus membros.*” (BELLEN, 2004).

Com relação ao desenvolvimento sustentável: “*O desenvolvimento é sustentável quando o crescimento econômico traz justiça e oportunidade para todos os seres humanos do planeta, sem privilégio de algumas espécies, sem destruir os recursos naturais finitos e sem ultrapassar a capacidade de carga do sistema.*” (BELLEN, 2004).

Para (BOSSEL, 1999) o conceito de desenvolvimento sustentável envolve uma questão temporal: a sustentabilidade só pode ser analisada a partir de uma perspectiva futura, de oportunidades e ameaças. Ele lembra que no passado a sustentabilidade humana nunca esteve seriamente ameaçada, uma vez que a sociedade, além de menor que a atual, demandava menos do ambiente. O problema da sustentabilidade passa então a receber uma atenção especial quando a resposta ao carregamento passa a não ocorrer de maneira adequada.

Segundo (BELLEN, 2004) a reflexão sobre o tema do desenvolvimento levou à conscientização sobre os problemas ambientais gerados pelos padrões de vida incompatíveis com o processo de regeneração do meio ambiente.

Criando uma intercessão de todos os conceitos expressos por diversos autores, pode-se definir sustentabilidade como a tentativa de atingir os crescimentos econômico e social preservando os recursos finitos do meio ambiente.

3.1. Capacidade de carga do planeta

No relatório emitido pela *World Wildlife Fund (WWF)* (ZHANG e colab., 2017) mostra que há mais de 40 anos a demanda da humanidade sobre a natureza ultrapassa a capacidade de reposição do planeta. Ainda segundo o mesmo relatório, seriam necessários 1,5 planetas Terra para fornecer os serviços ecológicos que eram utilizados nos anos 1980. São cortadas árvores mais rapidamente do que elas podem amadurecer, são pescados mais peixes do que os oceanos podem repor e é emitido mais carbono do que as florestas e oceanos podem absorver. Outros estudos apontam para o consumo excessivo da humanidade sobre os recursos ecológicos (PENNA, 1999).

Cálculos apontam que cada vez mais cedo a humanidade entra no “cheque especial” do consumo ambiental (PENNA, 1999). Em 01 de agosto 2017 o jornal francês *Le Monde* publicou uma reportagem, baseada em relatórios da WWF, com o seguinte título: “Depois de hoje a humanidade vive a crédito” (*Depuis aujourd’hui, l’humanité vit à crédit*). Essa reportagem trazia a alarmante notícia de que em 2 de agosto daquele ano a humanidade já havia consumido todos os recursos que a terra produzira em um ano. Dizia, ainda, que se estaria superexplorando o sistema ecológico e comprometendo sua capacidade de regeneração. O chamado dia “D”, momento em que a humanidade passa a consumir mais recursos que o planeta pode produzir, teria ocorrido em 5 de novembro de 1985, 1 de outubro de 1998 e em 20 de agosto de 2009, ou seja, a cada ano ele ocorre mais cedo (BLOMQUIST e colab., 2013).

A Figura 3.1 traz os chamados dias “D” em cada ano desde 1969.

A capacidade de carga do planeta tem sido comprometida de maneira nunca antes vivida pela humanidade, para atender o atual estilo de vida da crescente humanidade. No ano de 2017, por exemplo, seriam necessários 1,7 planetas Terra para atender o estilo de vida humano (ZHANG e colab., 2017). O crescimento

populacional e seu estilo de consumo tem levado cada vez mais a necessidade de “um planeta maior.”

Segundo (PENNA, 1999) o consumismo é visto como um comportamento que conduz a um aumento da produção e, conseqüentemente, ao progresso econômico, mas essa “*equação*” é limitada pelos recursos que não podem sustentar um crescimento ilimitado. Espaços finitos não podem absorver rejeitos que crescem indefinidamente.

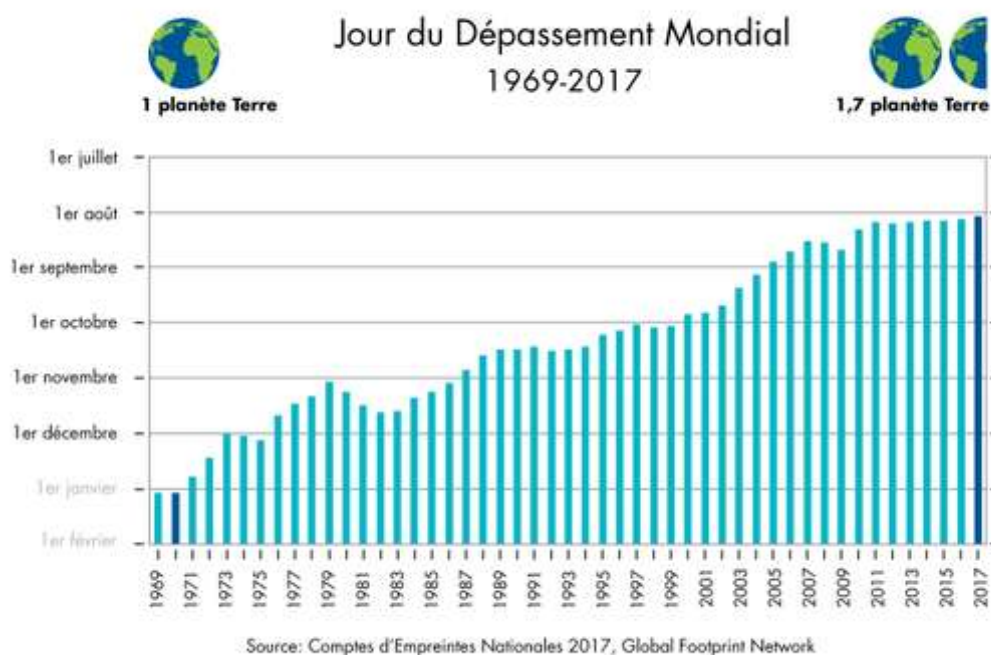


Figura 3.1 – Chamados dias “D” desde 1969 até 2107
Fonte: BLOMQUIST e colab., 2013.

Conforme descrito na citada reportagem do jornal Le Monde, a civilização está “sacando o principal e não mais o rendimento produzido por este capital natural”

Ainda segundo (PENNA, 1999) : “*Caso não sejam revertidas as tendências predominantes, a capacidade-suporte do planeta estará comprometida de forma que, em um futuro não muito distante, o declínio econômico e social será inevitável.*”

A capacidade de carga de um sistema corresponde à máxima população que pode ser suportada indefinitivamente por ele.

A capacidade de carga de um sistema é, obviamente, influenciada por fatores como a renda média, expectativas materiais e nível de tecnologia, isto é, energia e eficiência material (GROSSMAN, 2000).

Cada vez mais o cenário imaginado por (BELLEN, 2004), aquele que diz que quando os limites de crescimento forem atingidos o provável resultado será um declínio vertiginoso tanto da população quanto da produção industrial, está sendo confirmado.

3.2. Indicadores de Sustentabilidade

Existem poucos sistemas de indicadores que analisem o desenvolvimento sustentável de forma genérica. A maioria dos sistemas de indicadores existentes, e utilizados, foi desenvolvida por razões específicas, desde as ambientais e sociais, passando por indicadores econômicos e de saúde. Os indicadores de sustentabilidade devem, de forma genérica, considerar a avaliação do progresso em relação a um desenvolvimento considerado sustentável.

Os indicadores mais comumente utilizados globalmente são os seguintes: (1) Painel de Sustentabilidade, (2) Barômetro da Sustentabilidade e a (3) Pegada Ecológica. Cada um desses indicadores tem aspectos históricos, além de fundamentações teóricas e metodológicas, que permitem uma utilização a nível global.

3.2.1. Painel de Sustentabilidade

O Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) começou a ser criado na metade dos anos 1990 com o intuito de produzir um indicador de sustentabilidade que fosse aceito internacionalmente. Atualmente esse trabalho está sob responsabilidade do *Consultative Group on Sustainable Development Indicators (CGSDI)*, um grupo de trabalho que funciona em uma rede de instituições que operam na área de desenvolvimento utilizando sistemas de indicadores de

sustentabilidade. O intuito desse indicador é criar um sistema de medição de sustentabilidade que fosse mais simples e robusto, de maneira que permitisse descrever toda a “complexidade” da sustentabilidade de forma mais amigável.

O Painel seria um conjunto de instrumentos que procurariam dimensionar a performance de três blocos: econômico, social e ambiental. Os “mostradores” do painel mensuram cada um dos blocos, positiva ou negativamente, indicando pontos para os recursos críticos.

Conceitualmente, o Painel de Sustentabilidade é um índice agregado de vários indicadores dentro de cada um dos mostradores. A partir do cálculo dos índices deve-se obter o resultado final dos mostradores (BELLEN, 2004).

No Painel de Sustentabilidade, o desempenho do sistema pode ser avaliado de várias perspectivas: comparando os “vizinhos” (empreendimentos, bairros, cidades países), desempenhos anteriores e desempenho após algumas mudanças planejadas.

3.2.2. Barômetro da Sustentabilidade

Este método foi desenvolvido como um modelo sistêmico dirigido prioritariamente aos usuários tomadores de decisão e às pessoas envolvidas com questões relativas ao desenvolvimento sustentável (PRESCOTT-ALLEN, 1997).

Segundo (PRESCOTT-ALLEN, 1997), um dos principais pesquisadores envolvidos no desenvolvimento da ferramenta, este indicador tem a capacidade de combinar outros indicadores, permitindo que usuários cheguem a conclusões a partir de muitos dados que, por vezes, podem parecer contraditórios.

A unidade mais comum utilizada, principalmente nos sistemas sociais e econômicos, é a monetarização. Mas para o autor do Barômetro da Sustentabilidade, essa medida é eficiente quando se refere à comércio ou ao mercado, mas dentro da sustentabilidade muitos parâmetros não são negociáveis.

Para solucionar esse problema a ideia deste indicador é analisar e combinar o desempenho de diferentes indicadores.

A análise da sustentabilidade requer uma avaliação de indicadores de grande variedade e dimensões, como por exemplo: qualidade da água, emprego, educação, crime, violência e desenvolvimento econômico. Visualizar esses dados de “tamanhos” e unidades tão diferentes é o que o Barômetro da Sustentabilidade faz.

O Barômetro da Sustentabilidade avalia o progresso em direção à sustentabilidade pela integração de indicadores biofísicos e de saúde social, construindo uma classificação dentro dos níveis avaliados. A ferramenta de avaliação é uma combinação do bem-estar humano e do ecossistema, sendo que cada um deles é mensurado individualmente por seus respectivos índices.

O critério de desempenho pode variar dentro de cada um dos indicadores, mas à medida que os valores são calculados dentro do mesmo sistema, seus dados ou resultados podem ser combinados criando assim uma escala de desempenho e que mede o estado do meio ambiente e da sociedade juntos, sem privilegiar nenhum deles.

3.2.3. Pegada Ecológica

O indicador denominado *Pegada Ecológica* foi desenvolvido pelos professores Wackernagel e Rees e ficou conhecido quando ocorreu a publicação do Livro *Our Ecological Footprint* (WACKERNAGEL e REES, 1996). Esta ferramenta tem vantagem de ser facilmente “visualizada”, pois a Pegada Ecológica representa o espaço ecológico necessário para sustentar um determinado sistema ou comunidade.

Segundo esses autores trata-se de uma ferramenta simples que contabiliza os fluxos de matéria e energia que entram e saem de um sistema econômico, convertendo-os em áreas de terra, ou água, necessários para sustentar tal sistema.

A Pegada Ecológica é um método que transforma o consumo de matéria-prima e a assimilação de dejetos de um sistema econômico, ou de uma população humana, em área correspondente de terra ou água produtiva. A partir desse método, é possível calcular a área do ecossistema necessária para assegurar a sobrevivência “eterna” de determinada população ou sistema. Uma vez

determinada essa área equivalente do ecossistema, é possível visualizar o quanto ela se apropria da capacidade de carga do planeta como um todo.

Comparado com a matéria jornalística apontada anteriormente “Depois de hoje a humanidade vive a crédito” (*Depuis aujourd’hui, l’humanité vit à crédit*) – esse método (Pegada Ecológica) permite que seja calculado o “rendimento” dimensionando o quanto a humanidade está “sacando do principal”.

O tamanho da área requerida vai depender das condições financeiras, de consumo, da tecnologia existente, dos valores predominantes dentro do sistema, e de outros fatores sócio culturais. O método completo deve também incluir a área de terra exigida direta e indiretamente para atender o consumo de energia e de recursos, como também a área perdida de produção de biodiversidade em função da contaminação, radiação, erosão, salinização e urbanização (WACKERNAGEL e REES, 1996).

A vantagem desse método é que ele mostra o quanto da capacidade de carga do planeta foi excedida, ou não. A desvantagem é a complexidade que o método pode atingir se forem inseridas todas as energias e matérias consumidas, além de todos os resíduos gerados.

O método foi descrito por seus autores como uma abordagem da relação da sociedade com o meio ambiente. Existe consenso de que o ecossistema terrestre não é capaz de suportar o nível de atividade econômica e de consumo das últimas décadas. O método reafirma que uma natureza finita não pode sustentar um crescimento infinito.

A Pegada Ecológica foi adotada para aferir o estado do planeta, se diferenciando de outras alternativas de medição. A Pegada transmite a ideia da área física ocupada por uma economia. De fato, o tamanho da Pegada pode se alterar dependendo das novas tecnologias desenvolvidas, que podem ser mais ou menos consumidoras de recursos e geradoras de rejeitos.

3.2.3.1.

O Cálculo da Pegada Ecológica

O Método de cálculo desenvolvido por (WACKERNAGEL e REES, 1996) para dimensionar a Pegada Ecológica, apesar de facilmente intuitivo, é de difícil realização no que diz respeito ao levantamento de dados. O Brasil em especial não tem uma tradição de realização de pesquisa e divulgação de dados estatísticos, principalmente pontos que envolvam setores produtivos.

O cálculo da Pegada Ecológica incorpora: as receitas financeiras mais relevantes, valores culturais e tecnologia de uma dada área ou comunidade. Mas, não é possível determinar a demanda para todos os bens de consumo e serviços, restringindo os cálculos para as principais categorias individuais: alimentação, habitação, transporte, bens de consumo e serviços (WACKERNAGEL e REES, 1996). Essas categorias devem, ainda, ser subdivididas de modo que permitam analisar pontos mais específicos.

Em síntese o cálculo da área da Pegada Ecológica se divide em algumas etapas:

- I. calcular o consumo de itens particulares de dados agregados;
- II. determinar, ou estimar, a área apropriada para produzir cada um dos principais itens de consumo;
- III. determinar, ou estimar, a área apropriada para absorver os dejetos produzidos por certa produção de bens ou serviços, ou pelo consumo direto da uma dada comunidade.

Para estimar uma área apropriada pela produção de determinado item – construção de uma ponte por exemplo deve-se montar um fluxo de produção deste bem, relacionando o quanto de matéria prima é necessária para sua produção *input*. Na outra ponta da cadeia produtiva deve-se saber o quanto de dejetos foram gerados para produzir o bem e determinar a quantidade de área florestal necessária para que os gases nocivos produzidos durante a concepção do item sejam totalmente absorvidos *output*.

O fluxograma da Figura 3.2 mostra como é executado o passo-a-passo do cálculo da Pegada Ecológica de uma construção genérica.

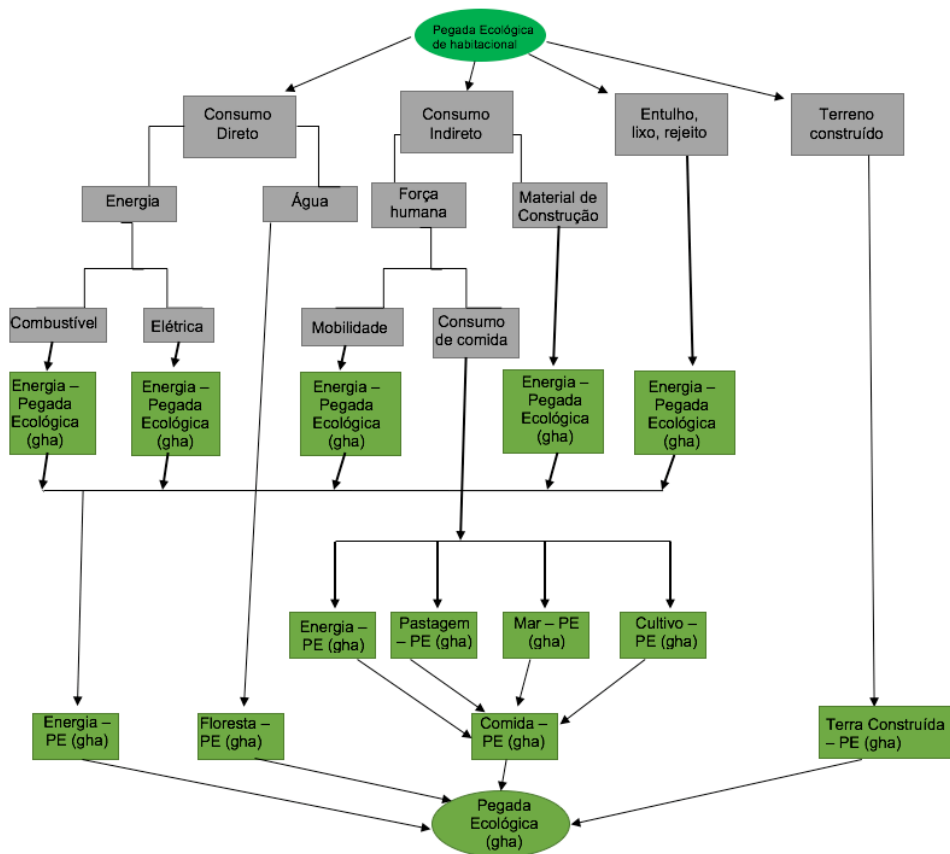


Figura 3.2 – Fluxograma para o cálculo da Pegada Ecológica de uma construção
 Fonte: BASTIANONI e colab., 2006.

Segundo o modelo de cálculo para a Pegada Ecológica em uma construção desenvolvido por (SOLÍS-GUZMÁN e colab., 2013), devem ser incluídas na “equação” a comida consumida, a locomoção dos trabalhadores de casa ao canteiro e a água utilizada no local. A determinação do tamanho da Pegada Ecológica de uma construção pode se tornar imprecisa quando a possibilidade de se pesquisar os dados que devem ser adicionados na equação são de difícil obtenção. Um bom exemplo desta limitação é determinar o “caminho” que a alimentação faz da produção até o local para alimentar os funcionários.

4. Estudo de Caso

O caso analisado neste trabalho tem como objetivo demonstrar a relação entre algumas falhas construtivas e o respectivo custo ambiental para corrigi-las. O intuito é determinar o tamanho da Pegada Ecológica para a correção de patologias que surgiram em um período anterior à aquele esperado de vida útil.

A mensuração de o quanto uma falha construtiva, que obrigue seu “refazimento” antes do esperado pela vida útil projetada, pode afetar a sustentabilidade de maneira genérica será “materializado” neste estudo.

O indicador de sustentabilidade Pegada Ecológica é o mais indicado para ser utilizado no estudo de caso em questão. Suas vantagens são:

- I. a fácil “visualização” de sua dimensão (área – metros ou quilômetros quadrados);
- II. a farta literatura disponível;
- III. a facilidade em determinar o quanto o retrabalho afetou na capacidade de carga no planeta;
- IV. a facilidade de comparar o tamanho da área que sofreu a intervenção com o tamanho que essa intervenção causou ao meio ambiente.

4.1. Condomínio Cores da Lapa

O empreendimento Cores da Lapa é um condomínio residencial composto por 688 apartamentos de sala quarto, sala e dois quartos e sala e três quartos. Todos esses apartamentos são distribuídos em 6 torres denominadas: Aquarela (bloco 1), Batuque (bloco 2), Melodia (bloco 3), Ritmo (bloco 4), Seresta (bloco 5) e Toada (bloco 6).

A área de lazer do condomínio é composta por piscinas, academia, espaço gourmet, atelier, lavanderias, *cyber* café, boliche, brinquedoteca, quadra poli esportiva, SPA, cinema, sauna, dentre outros equipamentos.



Figura 4.1 – Foto de parte das áreas comuns e fachadas do condomínio
Fonte: arquivo pessoal.

O condomínio tem uma área construída de aproximadamente 79.000,00 m².

O empreendimento foi um grande sucesso de vendas, sendo quase todas as unidades vendidas no primeiro dia de lançamento.

A obra do condomínio durou cerca de cinco anos, sendo sua certidão de habite-se datada de 22/05/2009.

Após a realização da Assembleia de Instalação (AI), momento em que a Incorporadora (dona do empreendimento) passa a administração do local para os moradores, inúmeras falhas construtivas foram detectadas.

Os maiores problemas encontrados logo após a entrega do empreendimento foram:

1. inundação constante da garagem do subsolo;
2. inundação constante de alguns poços de elevador;
3. transbordo de águas de esgoto nas tampas das caixas de inspeção da garagem G1 quando ocorrem chuvas moderadas ou fortes no G1;

4. transbordo de águas pluviais nas caixas de inspeção da garagem G1 quando ocorrem chuvas moderadas ou fortes;
5. elevadores para carros, construídos a fim de criar novas vagas, não estão funcionando devido à falta de infraestrutura elétrica;
6. aparecimento de infiltrações em inúmeros pontos pelo condomínio e em unidades autônomas;
7. infiltrações originadas das lajes de cobertura.
8. a falta de utilização do sistema de reuso de águas servidas, conforme vendido no lançamento;
9. ligação dos drenos de ar-condicionado no sistema de tubos de sabão;
10. manchas nas fachadas;
11. emboços de algumas varandas e em alguns pontos do vigamento desprendendo;
12. algumas plantas e projetos entregues à administração em desacordo com o projeto executado;
13. últimos andares apresentam baixa pressurização de água;
14. tubos de sabão com retorno, quando utilizados;
15. colapso estrutural em parte do piso da garagem;
16. inexistência de sistema de ventilação nos corredores e nas escadas;
17. sistema elétrico da lavanderia subdimensionado;
18. pontos da tubulação de incêndio apresentando oxidações;

Até o final do terceiro trimestre de 2018 vários problemas apontados foram corrigidos pelo próprio condomínio como: emboços de algumas varandas e vigamentos se desprendendo, substituição de trechos da tubulação de incêndio oxidando, sistema elétrico da lavanderia subdimensionado e as infiltrações originadas nas lajes da cobertura. Esse último item foi o que demandou maior intervenção e será objeto de estudo neste trabalho.

4.1.1. Obras de impermeabilização nas lajes de cobertura

As lajes de cobertura do condomínio foram concebidas como áreas técnicas. Nelas estão instaladas caixas d'água destinadas ao abastecimento dos blocos, sistemas de exaustão forçado, sistemas de pressurização hidráulico e as casas de máquinas dos elevadores. A área total das lajes é de aproximadamente 4.200 m² dividida em alguns níveis e com habitações logo abaixo.

A estrutura das coberturas é composta por lajes em concreto armado de 15 cm de espessura. O sistema de impermeabilização do local foi constituído originalmente por mantas asfálticas de 3 mm de espessura e contra piso, como proteção mecânica, com espessura variando de 10 cm até 18 cm. O contra piso era em concreto (cimento, areia e brita) e formado por placas quadradas de 1m de largura.

Um sistema de impermeabilização de coberturas utilizáveis, como a analisada, deve possuir uma vida útil projetada (NBR 15575 – Edificações Habitacionais) variando entre 20 e 30 anos ou seja, com as manutenções preventivas devidas (limpeza, correção de trincas, *etc.*) este sistema não poderia ter uma intervenção corretiva com menos de 20 anos de uso.

No ano de 2012, três anos após a inauguração do empreendimento, as lajes de cobertura apresentaram sérios problemas no sistema de impermeabilização, fixação e integridade do contra piso, além de falhas nos rodapés das muretas de guarda-corpo. Esses problemas se agravaram com o tempo até a necessidade de uma intervenção total para a recuperação das lajes iniciada no final de 2016. As Figuras 4.2 a 4.7 ilustram essas falhas.



Figura 4.2 – Contra piso de um dos blocos com trincas e desprendimento.



Figura 4.3 – Desprendimento do contra piso, expondo a manta.



Figura 4.4 – Desprendimento do contra piso, expondo a manta



Figura 4.5 – Desprendimento do rodapé, expondo sistema de impermeabilização.



Figura 4.6 – Desprendimento do rodapé, abrindo espaço para penetração de água.



Figura 4.7 – Desprendimento e levantamento do contra piso, expondo sistema de impermeabilização.

A intervenção realizada no condomínio teve início em novembro de 2016 e foi finalizada em agosto de 2018. Todo o sistema de impermeabilização, regularização de laje e contra piso foram refeitos. Os números resumidos da obra estão expostos na Tabela 4.1.

Item	Quantidade	Unidade
Área Total	4.200	m ²
Geração de entulho	800	m ³
Consumo de Cimento	250	m ³
Consumo de Areia	450	m ³
Consumo de manta asfáltica	5.000	m ²
Consumo de GLP	65	kg
Tempo de Obra	22	meses
Mão de Obra	45.760	Homens/ Hora
Custo	1.400.000,00	Reais
Custo Médio	333,33	R\$/m ²

Tabela 4.1 – Quadro resumo da obra.

Se essa intervenção tivesse ocorrido dentro dos parâmetros estabelecidos para a vida útil de projeto, deveria ter ocorrido entre os anos de 2029 e 2039, mas ocorreu em 2016, 13 anos antes da projeção mínima para tal.

4.1.2. Cálculo da Pegada Ecológica da obra realizada

Para estimar a Pegada Ecológica da obra de impermeabilização realizada no Condomínio Cores da Lapa é necessário separar os itens que compõem os *inputs* e *outputs* do fluxo de obra dentro de cada fase devendo-se, novamente, separar seus *inputs* e *outputs*, e assim sucessivamente até que se chegue à extração da matéria prima (*input*) e ao depósito dos rejeitos gerados (*output*).

Exemplificando como é realizada a análise dos componentes do sistema pode-se pensar no cimento, que é um input do sistema geral da obra. Para produzir esse material, resumidamente, deve-se extrair o calcário da natureza (*input*), processá-lo utilizando energia, e descartar seus rejeitos basicamente CO₂ e escória (*outputs*).

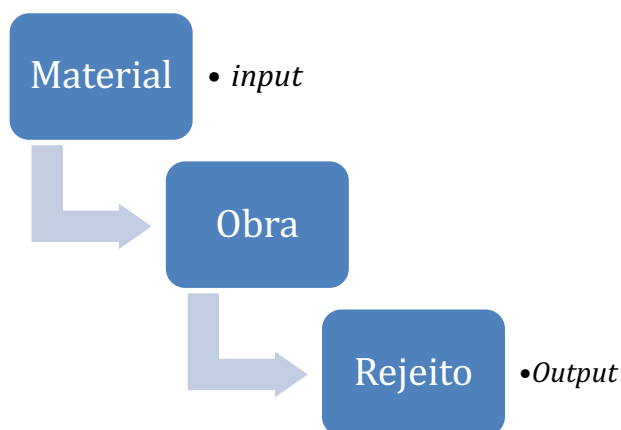


Gráfico 1 – Fluxo de obra.

Para que se determine precisamente a Pegada Ecológica da obra deveriam ser consideradas no sistema toda a energia empregada para transformação da matéria prima em material destinado ao uso, bem como a energia despendida no transporte do material da fábrica ao canteiro de obra. Deve-se considerar, também, a energia para realização da obra em si (remoção de material defeituoso, mistura de material que será empregado na obra, *etc.*), a energia necessária para transportar o rejeito gerado na obra ao seu local de disposição final e, fechando os ciclo, a energia necessária para que o rejeito seja reciclado ou transformado em um material menos nocivo à natureza. Como é praticamente impossível determinar toda a energia envolvida no sistema serão considerados os principais materiais envolvidos na intervenção.

Os *inputs* do sistema são os seguintes

- I. Cimento:
 - i) calcário;
 - ii) argila;
 - iii) escória siderúrgica;
- II. Manta Asfáltica:
 - i) cimento asfáltico de petróleo;
 - ii) polímeros;

Os *outputs* do sistema são os seguintes:

- I. entulho gerado pela intervenção direta;
- II. emissão de CO₂ gerado na fabricação do cimento utilizado;
- III. emissão de CO₂ gerado para instalação das mantas no local.

4.1.2.1. Componentes do Sistema

4.1.2.1.1. Cimento

O cimento, o primeiro componente que será analisado, é um material cerâmico que em contato com a água produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados aumentando a resistência mecânica. O cimento é produzido por meio do beneficiamento do calcário e argila (principais produtos de sua composição). A quantidade de calcário (CaCO₃) na composição do cimento varia entre 85% e 95%.

O processo de sua fabricação se inicia com a extração de matéria prima (calcário), passando pela britagem e moagem. Após a homogeneização da mistura ocorre seu aquecimento gerando o clínquer que finalmente é resfriado e moído gerando o cimento (CIMENTO MAUÁ, [S.d.]).

Segundo o Sindicato Nacional da Industria de Cimento (SNIC) em 2014, 2015 e 2016 o Brasil produziu, respectivamente, 71, 65 e 57 milhões de toneladas de cimento (SNIC, 2017).

Para cada tonelada de cimento produzido são necessárias 1,4 t ou 0,54 m³ de calcário (SILVA, José Otávio Da, 2007).

Segundo o Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM) em 2003 a indústria cimenteira consumiu 70% do calcário extraído no país. O calcário é uma das matérias primas mais abundantes no mundo.

Durante a produção do cimento são gerados gases do efeito estufa, principalmente o CO₂. O Sindicato Nacional da Industria de Cimento (SNIC)

afirma que são produzidas em média 857 kg de gás carbônico (CO₂) por tonelada de cimento fabricado.

Com esses números a indústria cimenteira brasileira consumiu nos anos de 2014, 2015 e 2016 aproximadamente 99, 91 e 80 milhões de toneladas de calcário e emitiu aproximadamente 61, 56 e 49 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂), respectivamente.

Em termos de volume, nos anos de 2014, 2015 e 2016 o Brasil produziu, respectivamente, 59,17; 54,17 e 47,5 milhões de metros cúbicos de cimento, consumindo 66,67; 60,66 e 53,33 metros cúbicos de calcário e emitindo 31; 28 e 25 trilhões de metros cúbicos de gás carbônico.

A tabela 4.2 ilustra estes valores.

Ano	Produção de cimento (milhões de toneladas)	Calcário consumido (milhões de toneladas)	Produção de dióxido de carbono produzido (milhões de toneladas)
2014	71	99	61
2015	65	91	56
2016	57	80	49

Tabela 4.2 – Produção de cimento, consumo de calcário e produção de dióxido de carbono no Brasil.

4.1.2.1.2. Manta Asfáltica

O segundo componente *input* do sistema é a manta asfáltica. A membrana asfáltica tem sua base composta principalmente por cimento asfáltico de petróleo e polímeros (ACRILEX, 2009).

Em entrevista dada à Revista Construção em Mercado número 20 da editora PINI o Professor Vanderley John afirma que, ao contrário do que se imagina, a produção de derivados de petróleo na maioria dos casos não emite CO₂. Isso porque o carbono estava no subsolo em forma de petróleo e é transformado em algum material de alta duração. Esses derivados podem ser considerados como depósitos de carbonos. Ainda na mesma entrevista o gestor-executivo do IBI (Instituto Brasileiro de Impermeabilizantes), Wilson Neves, esclarece que na indústria de

impermeabilização à base de petróleo (mantas asfálticas) tem seu maior impacto ambiental na deposição dos rejeitos gerados durante as atividades de instalação, já que a fabricação de mantas asfálticas não emite gases do efeito estufa e que a emissão desses componentes ocorre de forma praticamente insignificante quando são instalados utilizando-se maçaricos ou chamas.

Segundo (MACIEL, 2016) um maçarico para a instalação de mantas asfálticas emite 2,932 kg CO₂/kg.

4.1.2.1.3.

Entulho gerado pela construção civil

A construção civil tem um alto potencial poluidor, principalmente quando se analisa o material por ela dispensado: restos de tintas, pedaços de concreto, plásticos, metais e solventes têm grande potencial contaminante quando descartados diretamente na natureza. As tintas podem penetrar no solo degradando corpos hídricos, pedaços de concreto, se depositados diretamente no solo, tornam aquele local estéril a qualquer produção agrícola (MIRANDA e colab., 2016).

Segundo a Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (ABRECON), no Brasil os RCC (resíduos da construção civil) são responsáveis por 2/3 dos resíduos sólidos urbanos (ABRECON, 2018).

Ao mesmo tempo em que os resíduos da construção civil são muito poluentes, boa parte deles têm grande potencial de reciclagem: restos de concreto podem ser triturados e reutilizados como agregados em futuras concretagens, plásticos podem ser reaproveitados e utilizados, depois de transformados em novos componentes. No entanto, para toda esta transformação se faz necessária a utilização de energia. Segundo a ABRECON (ABRECON, 2018), no Brasil apenas 21% do resíduo da construção civil é reciclado ou reutilizado. Em 2015 havia no Brasil 310 usinas de reciclagem de RCC, sendo que essas usinas operavam com apenas 42% de sua capacidade máxima. O RCC não reaproveitado deve ser descartado em aterros ou depósitos próprios. Quanto maior a quantidade de material dispensado por um determinado setor industrial, maior a redução de vida útil dos depósitos de resíduos.

As resoluções do CONAMA dividem os resíduos sólidos em quatro classes (A, B, C e D) ilustradas pela Tabela 4.2.

Classe	Definição	Resolução
A	são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;	Resolução CONAMA nº 307/2002
B	são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;	Resolução CONAMA nº 431/11
C	são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação	Resolução CONAMA nº 431/11
D	são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde	Resolução CONAMA nº 348/04

Tabela 4.3 – Divisão do CONAMA dos resíduos sólidos.

A prefeitura do Rio de Janeiro realizou no ano de 2015 estudo para diagnosticar os principais geradores de resíduos sólidos e seus quantitativos produzidos no município. Esse estudo diagnosticou que o setor da construção civil seria o principal gerador de resíduos sólidos participando com 46,8% do total gerado na cidade, o que equivale a uma média de 9.100 t/dia (CERVI, 2010).

O estudo também concluiu que a cidade tinha no ano de 2015 capacidade de processar 4.700 t por dia de resíduos da construção civil (RCC), mas não mencionou quanto do material descartado foi reaproveitado.

Os números apontados no estudo mostram que metade dos resíduos da construção civil não são processados nos depósitos, e que da parcela que é processada não há informações precisas de quanto é destinado à reciclagem.

Infelizmente, na prática, muitos resíduos sólidos (incluindo os de obra) são descartados em locais inapropriados, sem qualquer controle ou preocupação. Esses locais se tornam inférteis e insalubres, não permitindo que sejam utilizados como áreas produtoras de alimentos, por exemplo. Muitas vezes os descartes são realizados próximos de corpos hídricos, causando contaminação, assoreamento e enchentes.

4.1.2.1.4. Absorção do dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO_2) é uma molécula composta por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. Esse gás é essencial para a vida no planeta, responsável pela fotossíntese (processo em que organismos fotossintetizantes transformam energia solar em energia química que é transferida para todos seres vivos através da cadeia alimentar (PENNA, 1999).

Após a entrada da humanidade na denominada Era Industrial a quantidade de dióxido de carbono lançada na atmosfera vem crescendo ano após ano (Gráfico 4.1).

A taxa de absorção de um ser fotossintetizante varia com sua idade e espécie. (Solis-Guzman, 2015), fornece Tabela 4.4 que ilustra o quanto cada espécie pode absorver por hectare a cada ano de dióxido de carbono.

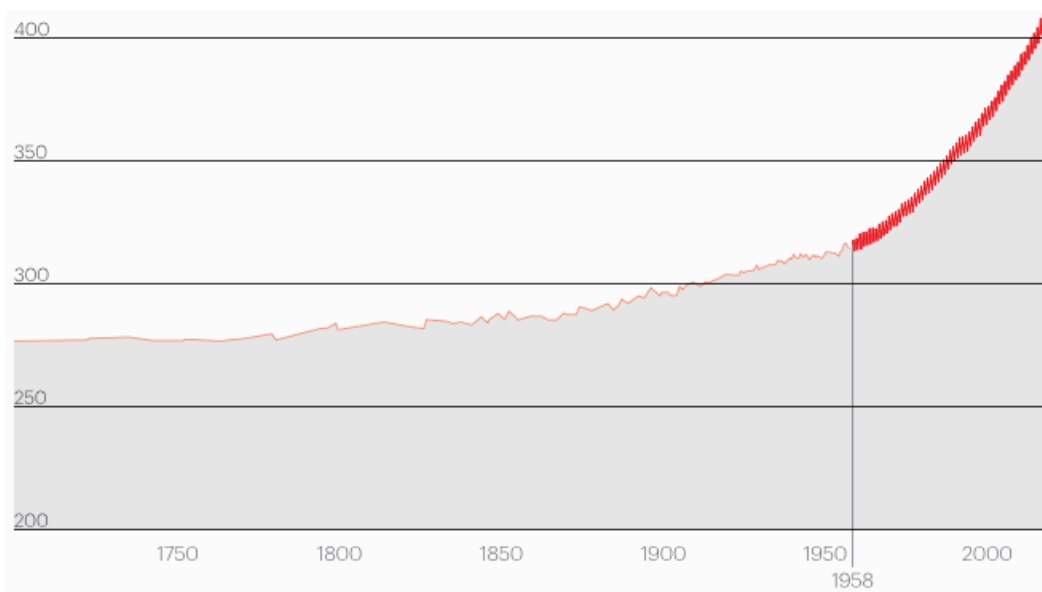


Gráfico 4.1 – Concentração de dióxido de carbono na atmosfera ao longo dos anos.

Fonte: ARCHER e colab., 2008.

O sistema natural de assimilação de dióxido de carbono (seres fotossintetizantes) não tem capacidade de absorver quantidade de CO₂ lançada na atmosfera.

A existência de um excesso de dióxido de carbono na atmosfera, segundo vários pesquisadores, um dos principais responsáveis pelo aquecimento global.

Espécie Vegetal	Absorção [tonelada de CO₂/hectare.ano]
Laranjeira	0,55
Jacarandá	1,83
Carvalho	5,04
Gramma	0,0015
Oliveira	0,57
Pinheiro	27,18
Palmeira	0,04

Tabela 4.4 – Taxa de absorção de dióxido de carbono de algumas espécies.

4.1.2.2. Cálculo da Pegada Ecológica da Obra

Conforme já descrito, a Pegada Ecológica é um método que transforma o consumo de matéria-prima, produção de bens e a assimilação de dejetos de um sistema econômico, ou de uma população humana, em área correspondente de terra ou água produtiva. A Pegada Ecológica é dimensionada como sendo o somatório da quantidade de terra (ou água) necessária para produzir e/ou absorver um determinado item de maneira eterna.

Para determinar o tamanho da Pegada Ecológica gerado pelos resíduos da obra estudada algumas premissas foram adotadas:

1. dos 800m³ de entulho gerados na obra, 90% era composto por concreto não estrutural de massa específica de 2,4 t/m³ originado do contra piso de proteção mecânica demolida;
2. os demais rejeitos gerados (80 m³) são compostos por diversos materiais (manta asfáltica, barras de aço, papeis, plásticos, *etc.*) tendo em média uma massa específica de 1,5t/m³;
3. a reciclagem dos resíduos de construção civil ocorre em 21% do material processado pelos aterros (2.350 toneladas/dia), ou seja, 79% do RCC gerado não é reciclado ou reaproveitado, simplesmente depositado;
4. os depósitos de entulho têm uma altura máxima de 2 m (MUNICIPAL e AMBIENTE, 2015);
5. uma floresta absorve em média 1,8 t de dióxido de carbono (CO₂) por hectare a cada ano (WACKERNAGEL e REES, 1996).

A obra de impermeabilização estudada consumiu 190 m³ de cimento, o que equivale a 570 t desse material (equação 1). Para produzir este quantitativo foram consumidos 308 m³ de calcário, o equivalente a 728 t (equação 2).

Na produção desta quantidade de cimento foram emitidas 488 t de CO₂ (equação 3). A instalação da manta asfáltica gerou 191 kg de CO₂, um valor insignificante se comparado à quantidade de gás carbônico gerado na produção de cimento.

Segundo (SANCHEZ e NERI, 2009) desde meados das décadas de 1970 as minas de extração de calcário no Brasil começaram a dispor de licenças ambientais com obrigações específicas exigindo planos de recuperação de áreas degradadas. Com isso a degradação gerada por uma mina de calcário passou a ser pontual e temporária.

Partido das premissas adotadas e dos dados coletados é possível se calcular a Pegada Ecológica da obra realizada.

Volume de cimento consumido × *massa específica do cimento* =

$$\text{Peso consumido de cimento} \rightarrow 190[m^3] \times 3 \left[\frac{t}{m^3} \right] = 570[t]$$

Eq.1

Quantidade de cimento × *consumo de calcário* = *Quantidade de calcário*

→

$$570[t] \times 1,4 = 728[t] \quad \text{Eq. 2}$$

Quantidade de cimento × *taxa de produção de dióxido de carbono* =

$$\text{Quantidade de dióxido de carbono produzida} \rightarrow 570[\text{ton.}] \times 0,86 \left[\frac{t}{t} \right] =$$

$$488 [t] \quad \text{Eq. 3}$$

Consumo de cimento (m³)	Consumo de cimento (t)	Consumo de calcário (t)	Produção de Dióxido de Carbono Produzido (t)
190	570	798	488

Tabela 4.5 – Consumo de cimento da obra e consumo de calcário e produção de dióxido de carbono para esta quantidade.

A quantidade de 1.850 t de entulho foi gerada durante a intervenção (equação 4).

volume de entulho × *massa específica do entulho* = *peso do entulho*

$$\rightarrow 720[m^3] \times 2,4 \left[\frac{t}{m^3} \right] = 1.728[t]$$

$$\rightarrow 80[m^3] \times 1,5 \left[\frac{t}{m^3} \right] = 120[t] \quad \text{Eq.4}$$

Uma vez que foram produzidos 800[m³] de entulho, e apenas 21% do RCC é reciclado ou reaproveitado, foram depositados e aterros sanitários 632 [m³] de material (equação 5). Esse material ocupa uma área de 316 [m²] (equação 6).

volume de entulho produzido × *% de material não reciclado* =

$$\textit{volume de entulho depositado} \rightarrow 800[m^3] \times 79\% = 632[m^3]$$

Eq. 5

volume de material depositado × *altura do depósito* =

$$\textit{área de depósito} \rightarrow 632[m^3] \times 2[m] = 316[m^2]$$

Eq. 6

No total da obra foram produzidas 488 t de dióxido de carbono em dois anos, para absorver esta quantidade de gás serão necessários 136 hectares, ou, 1.360.000 m² de floresta (equação 7).

quantidade de CO₂ gerada por ano ÷

taxa média de absorção de CO₂ por uma floresta =

$$\textit{área de floresta necessária para absorção do CO}_2 \rightarrow \frac{244 \left[\frac{t}{ano} \right]}{1,8 \left[\frac{t}{he.ano} \right]} =$$

$$136[\textit{hectares}] \quad \text{Eq. 7}$$

Uma vez que após os anos de 1970 a legislação ambiental passou a obrigar que as regiões das minas de extração de calcário fossem recuperadas da degradação, essa exploração passou a não contribuir para o cálculo da Pegada Ecológica, pois o dano ao local passou a ser pontual e temporário.

O resumo dos valores da Pegada Ecológica da obra consta da Tabela 4.6.

Produto	Descrição	Subproduto	Quantidade Produzida / Consumida (t)	Área Necessária para produzir	Área Necessária para absorver (hectares)
Cimento	Input	Calcário	798	0	
	Output	CO2	488		136
Manta	Input	Asfalto base petróleo	15	0	
	Output	CO2	0,191		0,107
Resíduos da Construção Civil	Output	Entulho	1850		0,0316
			Total	136,138	

Tabela 4.6 – Tabela resumo do cálculo da Pegada Ecológica.

5. Análise dos resultados

Analisando-se os resultados da Tabela 4.6 percebe-se que apenas os *outputs* contribuem para o cálculo da Pegada Ecológica da Obra. Esse resultado ajuda a quebrar o paradigma criado sobre o impacto ambiental causado na extração das matérias primas, desde que seja realizada a recuperação correta no local. Devido a legislação vigente, que obriga às indústrias produtivas a recuperar os locais de extração degradados, esse impacto ambiental se torna pontual e temporário.

O grande “vilão” da obra estudada foi a emissão de gases do efeito estufa (em especial o CO₂). A produção do cimento produzido para a intervenção foi o responsável por 99,9% do tamanho da Pegada Ecológica desta obra. A geração de entulho e o CO₂ produzido pela instalação das mantas contribuiu para apenas 0,1% da dimensão da pegada.

A área necessária para absorver o impacto ambiental gerado pela intervenção em uma área de 4.200 m² é de 1.360.000 m², ou seja, uma área 324 vezes maior que a área sob correção.

6. Conclusões

O custo do refazimento do sistema de impermeabilização dos terraços do condomínio custou R\$ 1.400.000,00, segundo a Lei de Sitter, se os problemas percebidos fossem corrigidos durante a execução da obra eles teriam custado 25 vezes menos, ou seja, R\$ 56.000,00.

Analisando-se pelo ângulo da sustentabilidade, os dados analisados demonstram que o consumo ambiental da intervenção “custou” um tamanho 324 vezes maior que a área que sofreu a intervenção.

A dimensão da Pegada Ecológica gerada pela obra de intervenção se deu exclusivamente pelos *outputs* do sistema. Isso mostra um certo avanço, baseado na legislação, da conscientização do processo de extração das matérias primas do meio ambiente e, comprova um atraso tecnológico, normativo, e de conscientização no controle dos rejeitos gerados na produção, principalmente em gases do efeito estufa.

Perceber o “descompasso” existente entre a produção de dióxido de carbono pela ação humana e a absorção natural desse gás demonstra o quanto dessas moléculas estão “soltas” na atmosfera.

Apenas a indústria cimenteira brasileira emitiu, nos anos de 2014, 2015 e 2016, **165 milhões de toneladas** de dióxido de carbono na atmosfera (SNIC, 2017). Só para absorver a emissão de cada ano foi necessária uma área equivalente a aproximadamente 5,5% da floresta amazônica.

Ano	Dióxido de Carbono Produzido (milhões de toneladas)	Área necessária para absorção (milhões de hectare por ano)	Percentual de área da floresta amazônica
2014	61	33,80	6,15%
2015	56	30,95	5,63%
2016	49	27,14	4,93%

Tabela 5.1 – Área necessária para absorção do dióxido de carbono produzido pela indústria cimenteira no Brasil.

Uma construção mal executada eleva o nível de consumo humano até níveis desnecessários, e esses valores só confirmam a quantidade de planetas necessários para suportar a população mundial com o seu nível de consumo atual.

É inadmissível para uma população que se preocupa com o meio ambiente realizar uma obra que impacte no ambiente uma área 324 vezes maior que a área que sofreu a intervenção.

Diferentemente da Lei de Sitter, o custo ambiental não cresce dependendo do momento da vida útil do empreendimento, o custo ambiental para uma correção será constate, uma vez que essa depende, quase que exclusivamente, dos rejeitos gerados pela produção do material que será empregado na intervenção.

Uma vez que a Lei de Sitter cresce ao longo da vida do empreendimento, se compará-la com o custo ambiental conclui-se que o custo financeiro é menor que o custo ambiental 2,6 se corrigido por manutenções corretivas, e 13 vezes se corrigido durante a construção do empreendimento.

Ter uma obra bem planejada e bem executada vai muito além dos desperdícios financeiros, refazer uma construção em um prazo de vida útil muito menor que o planejado representa um custo ambiental altíssimo. É preciso que todos os agentes envolvidos em todas as cadeias produtivas tenham consciência do atual nível de degradação que a população impõe ao planeta. Tentar otimizar ao máximo os recursos naturais é o ponto fundamental da sustentabilidade.

7. Referências

ABNT. **NBR 15575-1**. Edificações Habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. [S.l: s.n.], 2013a

ABNT. **NBR 15575 - Edificações Habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro. [S.l: s.n.], 2013b

ABRAMOVAY, Ricardo. **Muito Além da Economia Verde**. São Paulo: [s.n.], 2012.

ABRECON. **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - Mercado**.

ACRILEX. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos LEPECID 1 – Identificação do produto e da empresa LEPECID 2 – Composição e informações sobre os ingredientes Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. p. 1–10, 2009.

ARCHER, Frederick I. e HENRY, Annette E. e BALLANCE, Lisa T. **NOAA Technical Memorandum NMFS**. NOAA Technical Memorandum NMFS, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT e 14040, NBR ISO. **ABNT NBR ISO 14040 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l: s.n.], 2001. p. 10.

BASTIANONI, S. e colab. **The ecological footprint of building construction**. WIT Transactions on Ecology and the Environment, v. 93, p. 345–356, 2006.

BELLEN, Hans Michael Van. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa**. 2004, [S.l: s.n.], 2004.

BLOMQUIST, Linus e colab. **Depuis aujourd’hui, l’humanité vit à crédit**. Le Monde, v. 11, n. 11, p. e1001700, 5 Nov 2013. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pbio.1001700>>. Acesso em: 3 jul 2018.

BOSSEL, Hartmut. **Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications**. [S.l: s.n.], 1999.

BUENO, Cristiane. **Avaliação de Ciclo de Vida na Construção Civil : Análise de Sensibilidade**. p. 266, 2014.

CERVI, Jaison Luís. **A Pegada Ecológica do Município do Rio de Janeiro**. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 15, p. 15–29, 2010. Disponível em: <<http://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/viewArticle/200510/0>>. Acesso

em: 20 jul 2019.

CIB W86. **Building Pathology: A State-of-the-Art Report**. [S.l: s.n.], 2013.

CIMENTO MAUÁ. **Como é feito o cimento, sua composição e nomenclatura no mercado**. Disponível em: <<https://cimentomaua.com.br/blog/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/>>. Acesso em: 26 nov 2018.

DE FREITAS, Vasco Peixoto e ANGELIS, Enrico De. **A State-of-the-Art Report on Building Pathology**. Vasco Peix ed. [S.l: s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.fe.up.pt/~lfc-scc>>. Acesso em: 19 dez 2018

DE SITTER W R. **“Costs for Service Life Optimization: The ‘Law of Fives’”**. Comité Euro-International du Béton Bulletin d’Information, p. 152, 1983.

ELADIO ALBUQUERQUE, Costa Neto e ALINE DA SILVA RAMOS, Barboza e ADRIANA DE OLIVEIRA, Santos. **Análise da Relação de Causa e Efeito de Manifestações Patológicas Encontradas em Habitações de Interesse Social da Cidade de Maceió**. 2010, [S.l: s.n.], 2010.

FENG, Chao e colab. **Green development performance and its influencing factors: A global perspective**. Journal of Cleaner Production, v. 144, p. 323–333, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.005>>.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira e NETO, Jerônimo Cabral P. Fagundes e GUILO, Marcos Antonio. **Engenharia diagnóstica em edificações**. 2 Edição ed. São Paulo: PINI, 2015.

GROSSMAN, M. The human capital model. Handbook of Health Economic Volume I. [S.l: s.n.], 2000. .

IBGE. **Pesquisa Anual Da Indústria**. . [S.l: s.n.], 2018.

MACIEL, Marco Aurélio Diniz Levantamento. **DE EFEITO ESTUFA EM OBRA DA INDÚSTRIA DA**. . Maringá: [s.n.], 2016.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na Construção Civil**. 1 edição ed. São Paulo: PINI, 2007.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias e ANDRADE, Jairo José de Oliveira e HELENE, Paulo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Concreto: ciência e tecnologia, v. 1, p. 773–808, 2011.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback e colab. **PANORAMA ATUAL DO SETOR DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NO BRASIL**. XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016.

MUNICIPAL, Secretaria e AMBIENTE, D E Meio. **Diagnóstico Preliminar de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro**. 2015.

NETO, Omar da Silveira. **Manifestações Patológicas Em Condomínios Habitacionais De Interesse Social Do Município De Porto Alegre: Levantamento E Estudo Sobre a Recorrência.** p. 170, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10157/000524854.pdf?sequence=1>>.

PARNHAM, Phil. **Review of Building Pathology: Principles and Practice.** Structural Survey, 2014.

PENNA, Carlos Gabaglia. **O Estado do Planeta.** Rio de Janeiro: Record, 1999. Disponível em: <www.record.com.br>.

PRESCOTT-ALLEN, Robert. **Barometer of · Sustainability Measuring and communicating wellbeing and sustainable development.** [S.l: s.n.], 1997. Disponível em: <<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/54761/IDL-54761.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 07 jan 2019

SANCHEZ, Luis Enrique e NERI, Ana Claudia. **GUIA DE BOAS PRÁTICAS DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL EM PEDREIRAS E MINAS DE CALCÁRIO.** Associação ed. São Paulo: [s.n.], 2009.

SILVA, José Otávio Da. **Ministério De Minas E Energia – Mme Produto Rt 38 Perfil Do Calcário.** v. 00315517, 2007.

SILVA, Manoel lapa e colab. **Relatório do Grupo de Trabalho, Instotuído pelo CREA-RJ, Portaria 010/2017 - Processo 0249149-17.2016.8.19.0001.** . [S.l: s.n.], 2017.

SNIC. **Relatório Anual da Indústria do Cimento.** p. 40, 2017. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2019

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime e MARRERO, Madelyn e RAMÍREZ-DE-ARELLANO, Antonio. **Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain).** Ecological Indicators, 2013.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects.** . New York: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_Volume-II-Demographic-Profiles.pdf>. Acesso em: 19 out 2018

WACKERNAGEL, Mathis e REES, William E. **Our Ecological Footprint.** 1996. 1996.

ZHANG, Lu e colab. **Validity and utility of ecological footprint accounting: A state-of-the-art review.** Sustainable Cities and Society, v. 32, n. September 2016,

p. 411–416, Jul 2017. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.016>>. Acesso em: 20 nov 2018